

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

**ADUBAÇÃO FOSFATADA COM POLÍMEROS EM
SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITO DA
LABILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO E NA
PRODUTIVIDADE**

Clayton Luís Baravelli de Oliveira

Dracena - SP

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

**ADUBAÇÃO FOSFATADA COM POLÍMEROS EM
SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITO DA
LABILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO E NA
PRODUTIVIDADE**

Clayton Luís Baravelli de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Reges Heinrichs

Co-orientador: Prof. Dr. Gustavo do Valle Polycarpo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Câmpus de Dracena, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Animal.

Dracena - SP

2019

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação
Campus de Dracena

O482a

Oliveira, Clayton Luís Baravelli de.

Adubação fosfatada com polímeros em soqueira de cana-de-açúcar: efeito da labilidade de fósforo no solo e na produtividade / Clayton Luís Baravelli de Oliveira. -- Dracena: [s.n.], 2020.

76 f. : il.


Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena. Área do conhecimento: Produção Animal, 2020.

Orientador: Reges Heinrichs

Co-orientadora: Gustavo do Valle Polycarpo

Inclui bibliografia.

1. Fertilidade do solo. 2. Saccharum spp. 3. Nutrição mineral. 4. Cana-de-açúcar. Título.



Bibliotecário Fábio Sampaio Rosas
CRB 8/6665

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Adubação fosfatada com polímeros em soqueira de cana-de-açúcar: efeito na labilidade do fósforo no solo e produtividade

AUTOR: CLAYTON LUIS BARAVELLI DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: REGES HEINRICHS

COORIENTADOR: GUSTAVO DO VALLE POLYCARPO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIA E TECNOLOGIA ANIMAL, área: Produção Animal pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. REGES HEINRICHS 
Curso de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena

Prof. Dr. CARLOS SÉRGIO TIRITAN 
Produção Vegetal / Universidade do Oeste Paulista

Prof. Dr. PAULO SÉRGIO PAVINATO 
Ciência do Solo / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Dracena, 03 de dezembro de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Clayton Luís Baravelli de Oliveira, nascido em 17 de agosto de 1987 no município de Dracena, São Paulo. Graduado em Engenharia Ambiental pela Faculdade Adamantina Integrada – FAI, Campus 2, dezembro de 2013. Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Universidade Candido Mendes, dezembro 2017. Ingressou no curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Animal em março de 2018, na área de produção de não ruminantes. Membro do GENAP – Grupo de Experimentação em Nutrição e Adubação de Plantas, certificado junto ao CNPq.

“Cuidado, vão dizer que você tem sorte!”

Autor desconhecido.

Á minha mãe Shirley, meu pai Bianor, meu filho Iago e todos os amigos que me proporcionaram incentivo, amor, carinho, pela paciência, apoio e força, DEDICO.

A Deus, por me iluminar e me dar a oportunidade todos os dias de aprender e evoluir. A ti minha eterna GRATIDÃO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas oportunidades de crescimento diárias, saúde e proteção concedidas durante esses 32 anos de vida, a Jesus por ser o mestre por toda sua bondade e ensinamentos.

À Universidade Estadual Paulista, em especial à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – FCAT, Campus de Dracena.

Ao Prof. Dr. Reges Heinrich, pela oportunidade ímpar de orientação, confiança, compreensão, dedicação, apoio e conhecimentos transmitidos. Manifesto minha eterna gratidão pela grande contribuição em minha vida acadêmica, pessoal, a você professor, meu muito OBRIGADO!

Aos professores/pesquisadores que aceitaram compor as bancas de qualificação e defesa. A todos os docentes do programa de mestrado em Ciência e Tecnologia Animal.

Aos técnicos de laboratório, em especial à Andreia e aos profissionais de campo pela contribuição na execução das coletas e análises do experimento.

Aos alunos e amigos do mestrado em Ciência e Tecnologia Animal e PRINCIPALMENTE aos membros do GENAP (Grupo de Experimentação em Nutrição e Adubação de Plantas), pelo companheirismo e ajuda na execução dos trabalhos, cito aqui em especial os amigos Maikon Vinicius da Silva Lira, que além de toda ajuda já dito contribuiu em muito com conhecimentos agrônômicos e de vida, às amigas Ariele Boni, Natália Donato, Juliana Bonfim que fizeram dos mínimos detalhe uma grande diferença nessa conquista.

Aos meus familiares em especial a minha mãe que por ter tido toda compreensão para enfrentar esta etapa, ao meu filho Iago que por muitas vezes serviu como plateia em meus ensaios, aos amigos por fazerem parte da minha vida e tornarem os meus dias mais leves.

E por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa. MUITÍSSIMO obrigado!

ADUBAÇÃO FOSFATADA COM POLÍMEROS EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITO DA LABILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO E NA PRODUTIVIDADE

RESUMO - A cultura da cana-de-açúcar é exigente em relação a fertilidade do solo, sendo o fósforo um elemento essencial para as plantas, entretanto, se encontra em baixa disponibilidade nos solos brasileiros junto com os baixos teores de matéria orgânica e solos ácidos. Com isso o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da adubação com fertilizante fosfatado protegido com polímeros em soqueira de cana-de-açúcar, na dinâmica do fracionamento de fósforo no solo, estado nutricional das plantas, qualidade tecnológica e colmos. O experimento foi conduzido a campo, em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, com baixo teor de fósforo disponível, na região Oeste do Estado de São Paulo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial $2 \times 4 + 1$, composto por duas fontes de fósforo (fosfato monoamônio e fosfato monoamônio protegido por polímeros) e quatro doses de fósforo (20, 40, 60, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅), acrescido de um tratamento controle de dose zero de fósforo. A adubação com fosfato monoamônio com e sem polímeros na soqueira de cana-de-açúcar contribuiu para o aumento de fósforo disponível no solo. O extrator P-resina quantificou a presença do polímero no fertilizante fosfatado, enquanto pelo método Mehlich 1 não foi observado diferença entre as fontes. O fertilizante fosfatado com polímeros apresentou maior disponibilidade de fósforo nas frações lábil e moderadamente lábil em relação a ausência do polímero no fertilizante. A adubação fosfatada aumentou 13 t ha⁻¹ na produção de colmos e não alterou as concentrações de macro e micronutrientes foliares. A qualidade tecnológica da cana-de-açúcar no terceiro corte não variou com a adubação fosfatada.

Palavra-chave: Fertilidade do solo, Fracionamento de P, Fertilizante fosfatado, *Saccharum spp.*

PHOSPHATE FERTILIZATION WITH POLYMERS IN SUGARCANE SUGAR: EFFECT OF PHOSPHORUS LABILITY ON SOIL AND ON PRODUCTIVITY

ABSTRACT - The sugarcane crop is demanding in relation to soil fertility, and phosphorus is an essential element for plants, however, it is in low availability in Brazilian soils along with low levels of organic matter and acidic soils. Thus the objective of this work was to evaluate the fertilization with phosphate fertilizer protected with polymers in sugarcane ratoon, in the availability and fractionation of phosphorus in the soil, nutritional status of plants, technological quality and forage production and Culms. The experiment was conducted in a field, in a ultisol, with low phosphorus content, in the western region of the state of São Paulo. The experimental design was randomized blocks with four replications. The treatments were arranged in a 2x4 + 1 factorial scheme, consisting of two phosphorus sources (monoammonium phosphate and polymer-protected monoammonium phosphate) and four phosphorus doses (20, 40, 60, 80 kg ago⁻¹ of P₂O₅), plus a dose control treatment Zero phosphorus. The fertilization with monoammonium phosphate with and without polymers in the sugar cane ratoon contributed to the increase of available phosphorus in the soil. The P-resin extractor quantified the effect of the polymer presence on the phosphate fertilizer, while the Mehlich 1 method did not observe any difference between the sources. The phosphate fertilizer with polymers showed higher phosphorus availability in the labile and moderately labile fractions in relation to the absence of the polymer in the fertilizer. The phosphate fertilization increased 13 t ha⁻¹ in the production of stalks and did not alter the concentrations of leaf macro and micronutrients. The technological quality of sugarcane in the third cut did not varied with phosphate fertilization.

Keywords: Soil Fertility, P Fractionation, Phosphate Fertilizer, *Saccharum spp.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2.1	Importância da cana-de-açúcar	11
2.1.1	Cana-de-açúcar para alimentação animal.....	11
2.1.2	Variedades e produtividade.....	12
2.1.3	Cana de soqueira.....	12
2.2	Fósforo no solo e na planta	14
2.3	Fertilizantes fosfatados	15
2.4	Fracionamento de P	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1	Descrição da área experimental	18
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	19
3.3	Condução do experimento	19
3.4	Caracterização do solo avaliado	20
3.5	Avaliações	21
3.5.1	Solo	21
3.5.2	Plantas	25
3.6	Análise estatística	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Disponibilidade de fósforo no solo	27
4.2	Fracionamento de P no solo	30
4.2.1	Teor de P total no solo	30
4.2.2	Distribuição das frações de P de acordo com a labilidade	35
4.3	Estado nutricional da cana-de-açúcar	44
4.4	Produção de forragem e de colmos	46
4.5	Análise da qualidade tecnológica	48
5	Conclusão	50
	REFERÊNCIAS	51
	Anexos	62
	APÊNDICE A:	68
	APÊNDICE B:	70
	APÊNDICE C:	72
	APÊNDICE D:	73
	APÊNDICE E:	74
	APÊNDICE F:	75

1 INTRODUÇÃO

Na safra 2017/2018 a produção brasileira de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) atingiu 607 milhões de toneladas. O Estado de São Paulo lidera a produção com 366 milhões de toneladas, seguido de Goiás com 67 milhões de toneladas e Minas Gerais com 63 milhões de toneladas, sendo que estes estados são responsáveis pela produção de 36 milhões de toneladas de açúcar e 25 milhões de litros de etanol (UNICA, 2019).

Na produção animal, a cana-de-açúcar tem sido tradicionalmente recomendada como forrageira para alimentação de bovinos no período seco. Essa estratégia baseia-se na alta capacidade de produção de matéria seca por área e na manutenção do valor nutritivo dessa forrageira nesta época do ano (CARVALHO *et al.*, 2010; BEZERRA *et al.*, 2018).

O fósforo (P) é o macronutriente que frequentemente limita a produção e a produtividade das culturas (GONÇALVES *et al.*, 2008). Promove a formação inicial e o desenvolvimento da raiz, desempenhando função no metabolismo dos vegetais, particularmente na bioquímica das proteínas, atuando na divisão celular e nos processos fotossintéticos, bem como, possui papel fundamental no armazenamento de ATP (adenosina trifosfato) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MOREIRA; MALAVOLTA, 2001). Os solos brasileiros, de modo geral, apresentam deficiência na disponibilidade de P (SILVA *et al.*, 2015; DUARTE *et al.*, 2016). Conseqüentemente, o baixo P disponível representa grande prejuízo na produção de cana-de-açúcar (COSTA *et al.*, 2014; SIMÕES NETO *et al.*, 2015).

A deficiência de P reduz a absorção de nitrogênio e dificulta a clarificação do caldo durante o processo de industrialização (MAHADEVIAH *et al.*, 2007). O baixo teor no caldo prejudica a floculação, ou seja, a decantação de impurezas como bagacilho, argila, clorofila, entre outros, deixando como consequência um caldo turvo, o que implica uma produção de açúcar de baixa qualidade, proporcionando menor valor comercial (SANTOS *et al.*, 2011).

O objetivo deste trabalho foi identificar a dinâmica de fósforo no solo através do fracionamento de P, sendo assim, quantificando a melhor dose, fonte, se mostrando de fundamental importância para o melhor estado nutricional e na produção de cana-de-açúcar, conseqüentemente melhorando a fertilidade do solo.

2 REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

2.1 Importância da Cana-de-Açúcar

A cultura da cana-de-açúcar exerce um impacto econômico e social significativo no Brasil (MORAES; OLIVEIRA; DIAZ-CHAVEZ, 2015). Sendo uma das principais culturas brasileiras com extensas áreas de monocultivo e manejada de forma semelhante em anos subsequentes, provocando diversas modificações no ambiente natural e agrícola, os quais necessitam ser compreendidos para sustentabilidade do sistema (PISSARRA; POLITANO; FERRAUDO, 2004).

Por muitos anos, a cana-de-açúcar foi cultivada nos trópicos e sub-trópicos para a produção de açúcar bruto e outros produtos tradicionais à base de açúcar (SILVA *et al.*, 2017). O cultivo está em grande expansão no Brasil e no mundo, associado ao forte apelo a produção de energia renovável, tanto por meio do etanol como pela cogeração de energia (HEINRICHS *et al.*, 2017).

Para atender essa demanda de utilização, estudos sobre fatores bióticos e abióticos que afetam o desenvolvimento devem ser avaliados e quantificados, buscando potencializar a produtividade, qualidade nas características tecnológicas e aumento no número de cortes.

No processo de produção de açúcar e etanol, cogeração de energia e subprodutos gerados são reutilizados nos processos industriais ou agrícolas, reduzindo os custos de produção e conseqüentemente os impactos ambientais (SANTOS *et al.*, 2012). Recentemente, com o aumento frequente no preço do petróleo, as perspectivas de esgotamento das reservas, os riscos geopolíticos decorrentes da dependência do petróleo de países politicamente instáveis e os compromissos mais sólidos com a questão ambiental, desde a assinatura do Protocolo de Quioto, fizeram renascer a atenção nas fontes alternativas de energia. O biodiesel, a célula combustível de hidrogênio e principalmente, o etanol passaram a constar de forma definitiva da agenda dos governos e das políticas de praticamente todos os países (BASTOS, 2007).

2.1.1 Cana-de-açúcar para alimentação animal

A cana-de-açúcar apresenta grande produção de forragem por área, facilidade de cultivo e manejo, flexibilidade quanto às épocas de plantio e corte, o baixo custo por massa seca produzida, o que torna a cultura uma fonte de energia importante para alimentação animal (FREITAS *et al.*, 2006b; OLIVEIRA *et al.*, 2007; ROTH *et*

al., 2018), especialmente em períodos de estiagem (WANG *et al.*, 2018; REN *et al.*, 2019).

A qualidade da forragem refere-se a fatores que influenciam no valor nutritivo na alimentação dos animais, relacionados a digestibilidade e ao consumo de alimentos, que determinam o suprimento de nutrientes para os diferentes processos fisiológicos no metabolismo do animal (FREITAS *et al.*, 2006a; MACHADO *et al.*, 2009).

2.1.2 Variedades e produtividade

Segundo a Ridesa (2017), responsável pelo censo varietal de cana-de-açúcar 2017, foram identificadas as 20 principais variedades plantadas (ha) entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, entre elas estão as variedades: RB966928 (20,2%); RB867515 (15,3%); CTC-4 (13,8%); RB92579 (7,1%) e RB855156 (4,3%), juntas são responsáveis por 291,794 ha (60.7%) de todo plantio. Nas variedades cultivadas a RB867515 (23%) tem grande diferença para RB66928 (13,6%) que é a segunda segundo o senso, a RB92579 (7,5%), RB85156 (5,7%) e CTC-4 (5,6%), sendo que a RB (República Federativa do Brasil) representa diretamente por 58% das variedades plantadas e 65% do total cultivado no país.

A variedade utilizada no experimento foi a RB92579, que é o resultado de um cruzamento biparental, tendo variedade progenitora RB75126, fecundadas com pólen da variedade RB72199. A variedade tem como principais características: excelente produtividade agrícola, ótimo perfilhamento, bom fechamento da entrelinha, ótima brotação das soqueiras, garantindo longevidade dos canaviais; porte semi-ereto, ótimo teor de sacarose, recomendada para colheita do meio para o final de safra; florescimento baixo; tolerante em relação ao ataque da broca comum, resistente a ferrugem marrom e escaldadura das folhas e moderadamente resistente ao carvão (DAROS *et al.*, 2010).

2.1.3 Fósforo na cana de soqueira

A aplicação de fósforo na cultura promove aumentos significativos na produção de colmos (ALVAREZ *et al.*, 1991; MORELLI *et al.*, 1991). A amplitude de resposta para a adubação fosfatada no plantio e na soqueira de cana-de-açúcar é distinta, porém são observados ganhos de produtividade em relação à ausência da

reaplicação (CAMPOS, 2016). Esse padrão de resposta tem sido relacionado ao efeito residual do nutriente aplicado no plantio e à maior eficiência da cana-soca em acumular fósforo (KORNDÖRFER; FARIA; MARTINS, 1998).

De acordo com Fontes; Weed (1996) a adsorção do ânion fosfato na superfície dos minerais de argila e sua pequena mobilidade no solo, reduz o aproveitamento do nutriente pelas soqueiras. Embora, argumentos conservadores, relatam que as doses de P utilizadas no plantio seriam suficientes para atender as exigências da cultura durante vários ciclos de crescimento, a disponibilidade do nutriente diminui significativamente ao longo do tempo (KORNDÖRFER; ALCARDE, 1992; KORNDÖRFER; FARIA; MARTINS, 1998).

Possivelmente, o teor de fósforo no solo não seja compatível com a demanda da cana-de-açúcar para cortes sucessivos, objetivando o potencial máximo de produção em todos os ciclos da cultura. Esse processo pode ser exemplificado pelo estabelecimento de correlações positivas entre a produção de colmos no ciclo de segunda soqueira e o teor de P na camada subsuperficial (LANDELL *et al.*, 2003). Refletindo em resposta positiva da cana-soca aos incrementos na disponibilidade de P no solo, revelando a necessidade de avaliar os efeitos da reaplicação do nutriente (ZAMBROSI, 2012).

Weber *et al.* (2001) avaliaram a produtividade de colmos em terceira soqueira em um solo com baixo teor de fósforo e verificaram aumento de 4,9% com aplicação de P em cobertura, incorporado lateralmente à linha de plantio juntamente com o N e K, em relação aos tratamentos que receberam somente N e K. De forma semelhante, Costa *et al.* (2014) verificaram decréscimos na produtividade de colmos na terceira soqueira com ausência da aplicação de P, os autores atribuíram essa queda de produção a não reposição desse nutriente no segundo ciclo da cultura, comprovando que a adubação fosfatada de plantio não atende à demanda da cultura nos cortes sucessivos.

2.2 Fósforo no Solo e na Planta

A deficiência de fósforo é um problema mundial, especialmente em regiões de clima tropical com solos altamente intemperizados (TELES *et al.*, 2017). Em geral, os solos brasileiros apresentam baixo teor de fósforo disponível. A correção desse desequilíbrio envolve alta competição entre solo (fixação) e planta (absorção). O fósforo entra em contato com a raiz pelo processo de difusão. A fosfatagem propicia maior disponibilidade de fósforo no solo, aumento no volume de solo explorado pelas raízes e aumento na absorção de água e nutrientes (VITTI; MAZZA, 2002; VIÉGAS; NOVAIS; SCHULTHAIS, 2010).

No solo pode ocorrer a fixação do fósforo pela ligação formada com a argila e/ou a precipitação do mesmo junto ao ferro (Fe) e alumínio (Al). A utilização de fontes fosfatadas revestidas com polímeros pode promover a liberação gradual, reduzindo as perdas por fixação com óxidos de Fe e Al e a argila, diminuindo a formação de compostos estáveis que reduzem a disponibilidade do nutriente no solo (AGOSTINHO *et al.*, 2010)

O fósforo e o nitrogênio são os macronutrientes que mais limitam o crescimento vegetal. O fósforo promove a formação inicial e o desenvolvimento da raiz, faz parte da estrutura de ésteres de carboidratos, fosfolipídios, coenzimas e ácidos nucleicos. Auxilia em processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, sínteses, multiplicação e diferenciação celular, armazenamento e transferência de energia, transferência de gene, reprodução e na fixação biológica de nitrogênio (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; BATAGLIA; SANTOS, 1999; SOARES *et al.*, 2019)

Como as aplicações de fertilizantes fosfatados nas regiões subtropicais normalmente excedem a quantidade de P requerida pelas plantas, o solo atua como um acamamento para o P, competindo com as plantas pelo P na solução do solo. A solubilidade do fosfato aplicado, juntamente com o tipo de solo, o sistema de manejo e as espécies cultivadas alteram a dinâmica do P do solo, promovendo seu acúmulo no solo (CHIEN; MENON, 1995; CHIEN *et al.*, 2011). Portanto, é importante identificar as formas preferenciais de P retidas no solo e sua contribuição para o suprimento de P para a planta (GATIBONI *et al.*, 2007).

2.3 Fertilizantes Fosfatados

O fósforo elementar é muito reativo quimicamente, sendo assim, ele não é encontrado em estado puro na natureza, somente em combinações químicas com outros elementos. A maior parte do fósforo do solo é provinda da intemperização da apatita, um mineral que contém fósforo e cálcio. À medida que a apatita se desintegra e libera o fósforo no solo, vários compostos de fósforo são formados, incluindo-se os dois ortofosfatos, que são absorvidos pelas raízes das plantas. Estas formas geralmente são solúveis e podem ser encontradas dissolvidas em pequenas quantidades na solução do solo (LOPES, 1998).

Os fosfatos originados de rochas naturais são a matéria prima para o processamento industrial dos fertilizantes com alta solubilidade em água. Essa reação degrada a estrutura cristalina com a reação de ácidos fortes. O ácido sulfúrico é utilizado no processamento do superfosfato simples. Já o ácido fosfórico utilizado para obtenção do superfosfato triplo, ou mesmo sofrendo a elevação da temperatura no seu processamento, origina os termofosfatos. A combinação do do ácido fosfórico com amônia produz os fosfatos de monoamônio (MAP) e diamônio (DAP), com alta concentração de nutrientes (BENEDITO, 2007; TOMAZ, 2010; NASCIMENTO, 2016).

O fertilizante fosfatado com a presença de polímeros tem sua formulação sob sigilo industrial, porém o idealizador do adubo diz que o princípio é o do revestimento do grânulo com polímeros que contém cargas negativas, sendo assim quando aplicado ao solo essas cargas se ligam as cargas positivas e deixando o nutriente disponível para absorção. A utilização de fontes fosfatadas de liberação gradual pode trazer diminuição no custo de produção e menores impactos ambientais, reduzindo as perdas por fixação (VALDERRAMA *et al.*, 2009).

Figueiredo *et al.* (2012) testaram fosfato monoamônio com a presença e ausência de polímeros na produção de milho e verificaram maior produtividade, produção de massa da matéria seca total e altura de planta com a utilização de fertilizante revestido em relação ao convencional sem revestimento. Pelá *et al.*, (2019) verificaram que a fertilização com fosfato revestido com polímero promoveu um aumento de 30,2% no acúmulo da raiz de milho em comparação à adubação convencional.

2.4 Fracionamento de P

O fracionamento de P no solo utilizando diferentes extratores tem sido uma boa ferramenta para compreender a disponibilidade e solubilidade de P total no solo. É uma técnica que permite avaliar, além do P disponível quantificado por métodos de rotina, as formas do nutriente no solo e sua distribuição, de modo a identificar possíveis mudanças na dinâmica do nutriente no solo (RODRIGUES, 2013).

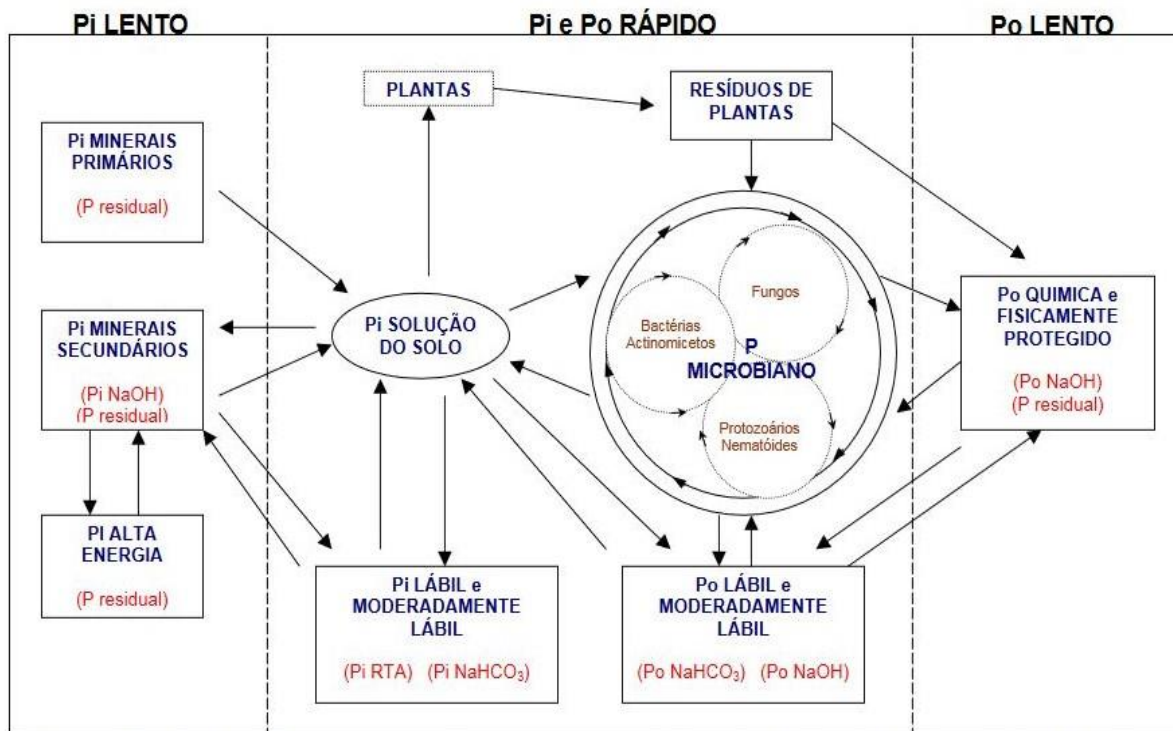
No Brasil os trabalhos desenvolvidos tem sido mais utilizado o método de fracionamento proposto por Hedley; Stewart; Chauhan (1982) (GATIBONI *et al.*, 2007; GONÇALVES; MEURER, 2009; PAVINATO; MERLIN; ROSOLEM, 2009). Considera-se que com este método, é possível estimar a labilidade das frações extraídas, uma vez que ocorre remoção progressiva das frações mais disponíveis até as mais estáveis, tanto do P inorgânico quanto do P orgânico, de uma mesma amostra. Os extratores utilizados neste método originalmente são: Resina Trocadora de Ânions, NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 8,5; NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$; NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ + ultrasonificação; HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e digestão com $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$.

As formas de P do fracionamento de Hedley, Stewart e Chauhan (1982), com modificações de Condron, Goh e Newman (1985) seriam então, sequencialmente: P extraído com resina trocadora aniônica (P_{RTA}), P_i e P_o extraídos com NaHCO_3 1 mol L^{-1} (P_{IBIC} e P_{OBIC}), P_i e P_o extraídos com NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ($P_{\text{IHID-0,1}}$ e $P_{\text{OHID-0,1}}$), P_i extraído com HCl , P_i e P_o extraídos com NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ($P_{\text{IHID-0,5}}$ e $P_{\text{OHID-0,5}}$), além do P residual (P_{Residual}), obtido após digestão do solo ao final de todas as extrações. Este esquema do Fracionamento com as modificações supracitadas pode ser observado na Figura 1.

As formas de P do fracionamento de Hedley por si só não dizem respeito às formas de P do solo. Entretanto, a partir do trabalho de Cross; Schlesinger, (1995), as formas de P do solo puderam ser explicadas pelo fracionamento de Hedley. Assume-se a partir de então que, de maneira geral, a RTA extrai formas lábeis de P_i , assim como o NaHCO_3 , o qual extrai formas inorgânicas e orgânicas de P lábil. O P moderadamente lábil compreende o P extraído na etapa do NaOH ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) e ao P extraído com HCl . O NaOH extrai o P quimiossorvido à óxidos de Fe e Al, além do P orgânico de labilidade moderada, enquanto o HCl remove o P ligado a fosfatos de Ca (fortemente adsorvido, porém considerado na maioria das situações como moderadamente lábil). Por sua vez, as frações não-lábeis de P são compostas pela fração extraída com NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, acrescida do P_{residual} . Essa segunda extração

com NaOH remove Pi e Po que estariam quimicamente ou fisicamente protegidos, enquanto que a digestão residual extrai o P remanescente no solo

Figura 1 – O ciclo do fósforo no solo: seus componentes e correspondência com as frações estimadas pelo fracionamento.



Fonte: Hedley, Stewart e Chauhan (1982). Adaptado de Stewart & Sharpley (1987).

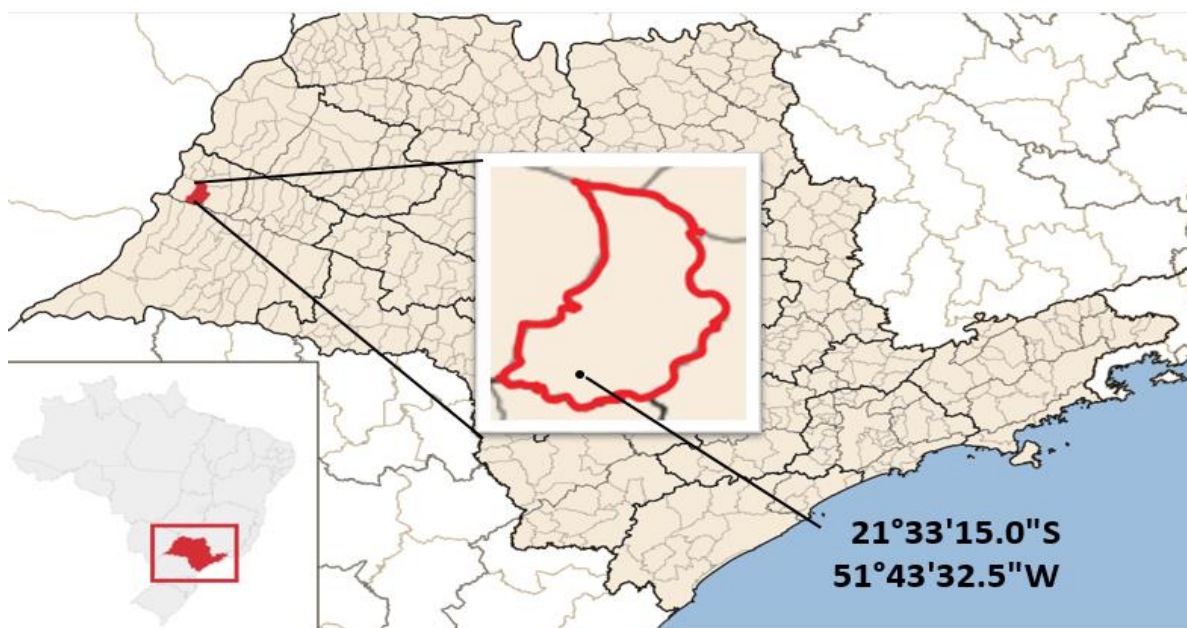
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área experimental

O experimento foi realizado na unidade produtora da Usina sucroenergética Glencane, localizada na região Oeste do Estado de São Paulo, latitude 21° 33'S, longitude 51° 43'W e altitude 420 m, conduzido entre outubro de 2018 a junho de 2019 (Figura 2).

O clima local, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cwa (ALVARES *et al.*, 2013), caracterizado pelas estações de clima quente de inverno seco, com maiores índices pluviométricos entre os meses de outubro a fevereiro. As médias anuais de temperatura, precipitação são respectivamente, 24°C, 1300 mm com temperatura média mensal máxima de 30°C e média mínima de 19°C.

Figura 2 – Localização geográfica do experimento com cana-de-açúcar adubada com fontes e doses de fósforo. Ouro Verde – SP.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

3.2 Delineamento experimental e Tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 04 repetições, arranjado em esquema fatorial $2 \times 4 + 1$, composto por duas fontes de fósforo (fosfato monoamônio sem e com proteção por polímeros) e quatro doses de fósforo (20, 40, 60, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅), acrescido de um tratamento controle com dose zero de fósforo (Tabela 1).

Tabela 1 – Descrição da aplicação de fertilizantes em cobertura na cana-soca 3º corte, variedade RB 92579, Ouro Verde – SP, 2019.

Fertilizante Fosfatado	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
	kg ha ⁻¹			
Controle	120	0	120	40
Sem Polímeros	120	20	120	40
Sem Polímeros	120	40	120	40
Sem Polímeros	120	60	120	40
Sem Polímeros	120	80	120	40
Com Polímeros	120	20	120	40
Com Polímeros	120	40	120	40
Com Polímeros	120	60	120	40
Com Polímeros	120	80	120	40

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

3.3 Condução do Experimento

O experimento foi instalado em área com cana-de-açúcar, variedade RB92579. As parcelas experimentais foram compostas por 144 m², com seis linhas de cana-de-açúcar, com espaçamento combinado de 0,9 e 1,5 m nas entre linhas e 20 m de comprimento. Entre as parcelas foram destinados 2,0 m e entre blocos 2,4 m. Os fertilizantes foram aplicados em 16/10/2018, sobre a linha de cana-de-açúcar, sem incorporação, na qual foi realizado o segundo corte.

A dose de nitrogênio foi de 120 kg ha⁻¹. Para as fontes atingirem a dose de nitrogênio, além do fosfato monoamônio, foram utilizados 167 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, para atender a demanda de enxofre, e o restante da dose de nitrogênio foi complementada com nitrato de amônio. O fornecimento de potássio foi por meio de cloreto de potássio na dose de 120 kg ha⁻¹.

Verificou-se após 60 dias da implementação do experimento que o fungo Carvão (*Ustilago scitaminea*) estava se proliferando, para isso toda as plantas que apresentavam sinais do fungo foram retiradas manualmente com auxílio de saco plástico para não contaminação das demais plantas. Em 18/01/2019 aplicou-se 38 L ha⁻¹ de Certero registrado para controle de cigarrinha e ferrugem.

A determinação da quantidade de falhas, número de colmos, massa de forragem e produção de colmos foram realizados em 18/06/2019. A massa de forragem e produção foi realizada por biometria, mediante o corte de 15 plantas seguidas nas quatro linhas centrais. Para quantificação de forragem foi realizada a pesagem das plantas sem despalha com os ponteiros. Em seguida a cana-de-açúcar foi despalhada e retirado o ponteiro no ponto de quebra do palmito. A partir dessas informações e o número de colmos foi calculada a produção por hectare.

3.4 Caracterização do Solo Avaliado

Na implantação do experimento foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0–0,10, 10–0,20 e 0,20–0,40 m. As análises químicas foram as seguintes: P, K, Ca e Mg utilizando-se o método da resina trocadora de íons; S-SO₄²⁻ pela extração com solução de fosfato de cálcio; pH em CaCl₂; matéria orgânica por colorimetria; H + Al com solução tampão SMP; e Al extraído em KCl. Em relação aos micronutrientes, o boro foi extraído via água quente e Cu, Fe, Mn e Zn em DTPA (RAIJ *et al.*, 2001).

Os resultados das análises estão apresentados na Tabela 2. O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (SANTOS *et al.*, 2018) com baixos teores de fósforo, sendo os recomendados para cultura acima de 16mg dm⁻³.

Tabela 2 - Atributos físico e químicos do solo na instalação do experimento. Ouro Verde, 2018.

Camada m	pH CaCl ₂	MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca mmolc dm ⁻³	Mg mmolc dm ⁻³	Al mmolc dm ⁻³	H+Al mmolc dm ⁻³	SB mmolc dm ⁻³	CTC mmolc dm ⁻³	
0-0,10	4,99	10	5,19	1,03	10,91	3,82	1	15	15,76	30,76	
0,10-0,20	4,86	7,02	7,02	0,36	9,98	3,92	1	15	14,26	29,26	
0,20-0,40	5,59	7,23	6,97	0,08	10,65	6,23	0	12	16,96	28,96	
Camada m	Areia g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹	V %	m %	S %	B %	Cu mg dm ⁻³	Fe mg dm ⁻³	Mn mg dm ⁻³	Zn mg dm ⁻³
0-0,10	822	46	132	51.2	5,97	3,88	0,18	0,77	34,62	8,50	0,58
0,10-0,20	846	32	122	48.7	6,55	5,28	0,17	0,81	43,98	8,91	0,69
0,20-0,40	804	73	123	65.6	0	5,62	0,12	0,81	27,20	5,66	0,53

P, Ca, Mg e K: resina; S-SO₄: Ca (H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹; B: BaCl₂.2H₂O 0,125% microondas. Cu, Fe, Mn e Zn: DTPA, TEA. Fonte: Própria (2019)

3.5 Avaliações

3.5.1 Solo

Após a colheita foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0–0,10, 0,10–0,20 m. As amostragens foram realizadas a 0,20 m da linha de cana-de-açúcar em 6 pontos por parcela para formação de uma amostra composta. Foram realizadas as seguintes análises:

a) Resina trocadora de íons

Para as determinações de P disponível empregando-se a Resina trocadora de íons (Mista), 2,5 cm³ de TFSA, foram colocados em frascos plásticos cônicos de 80ml, acrescentando-se 25ml de H₂O deionizada e uma esfera de vidro de tamanho médio, tipo gude, deixando-se em agitação circular horizontal por 15 min, a 220 rpm, para desagregar o solo. Após esse período, a esfera de vidro foi retirada e

acrescentados 2,5 cm³ RM, tratada com NaHCO₃ 1 mol L⁻¹ pH 8,5. Esta mistura contendo a RM mais H₂O e solo foi submetida à agitação circular horizontal, a 220 rpm, por 16h após esse período de agitação, as resinas foram separadas do solo acondicionando-as em peneiras com malha de poliéster de 0,4 mm e lavadas com água deionizada, sendo transferidas, individualmente, para frascos de 100 mL, nos quais foram adicionados 50ml de solução de NH₄Cl 0,8 mol L⁻¹ em HCl 0,2 mol L⁻¹, deixando-as em repouso por 30 min para eliminação do CO₂, para evitar acidificação do meio. Decorrido esse período, os frascos foram fechados, procedendo-se à agitação circular horizontal, a 220 rpm, por uma hora. O P contido na solução-extrato da Resina foi determinado por colorimetria. (RAIJ *et al.*, 2001 p.181)

b) Mehlich 1

É a fração extraída por uma solução composta pela mistura de ácido clorídrico (0,05 mol L⁻¹) e ácido sulfúrico (0,0125 mol L⁻¹), conhecida como solução de Mehlich-1. O teor obtido representa o P na solução, o P adsorvido na superfície de óxidos e hidróxidos de Fe e de Al e, em menor quantidade, o P ligado ao Ca. A determinação é feita por colorimetria, empregando molibdato de amônio e uma solução redutora. Os teores são expressos em mg dm⁻³. Na análise usam-se 3 cm³ de solo (TEDESCO *et al.*, 2004).

c) Fracionamento do fósforo

A determinação das frações inorgânicas e orgânicas e a dinâmica de P no solo, para isso foi realizado o fracionamento do P (Figura 3) em todas as unidades experimentais, seguindo metodologia proposta por Hedley; Stewart; Chauhan (1982), com modificações de Condron; Goh; Newman, (1985). Para a sequência do fracionamento de P foi utilizada uma amostra de 0,5 g de solo, submetida a diferentes extratores, em ordem sequencial (relação solo: solução de 1:20), conforme descrito a seguir:

Resina de troca aniônica – RTA (P_{RTA}): extrai P inorgânico lábil prontamente difundindo em solução (2,0 cm² de área);

0,5 mol L⁻¹ NaHCO₃ a pH 8,5 (P_{Bic}): extrai P inorgânico lábil (P_{iBic}) adsorvido fracamente na superfície de compostos cristalinos e compostos de P (P_{oBic})

orgânicos lábeis com baixa recalcitrância como ácido ribonucleico e glicerofosfato (TIESSEN; MOIR, 1993);

0,1 mol NaOH L⁻¹ (P_{HID-0,1}): remove P inorgânico moderadamente lábil (P_{iHID-0,1}) fortemente adsorvido em Fe e Al e minerais argilosos e P orgânico moderadamente lábil (P_{OHID-0,1}), principalmente associado aos ácidos fúlvicos e húmicos adsorvidos nas superfícies mineral e matéria orgânica do solo (LINQUIST; SINGLETON; CASSMAN, 1997);

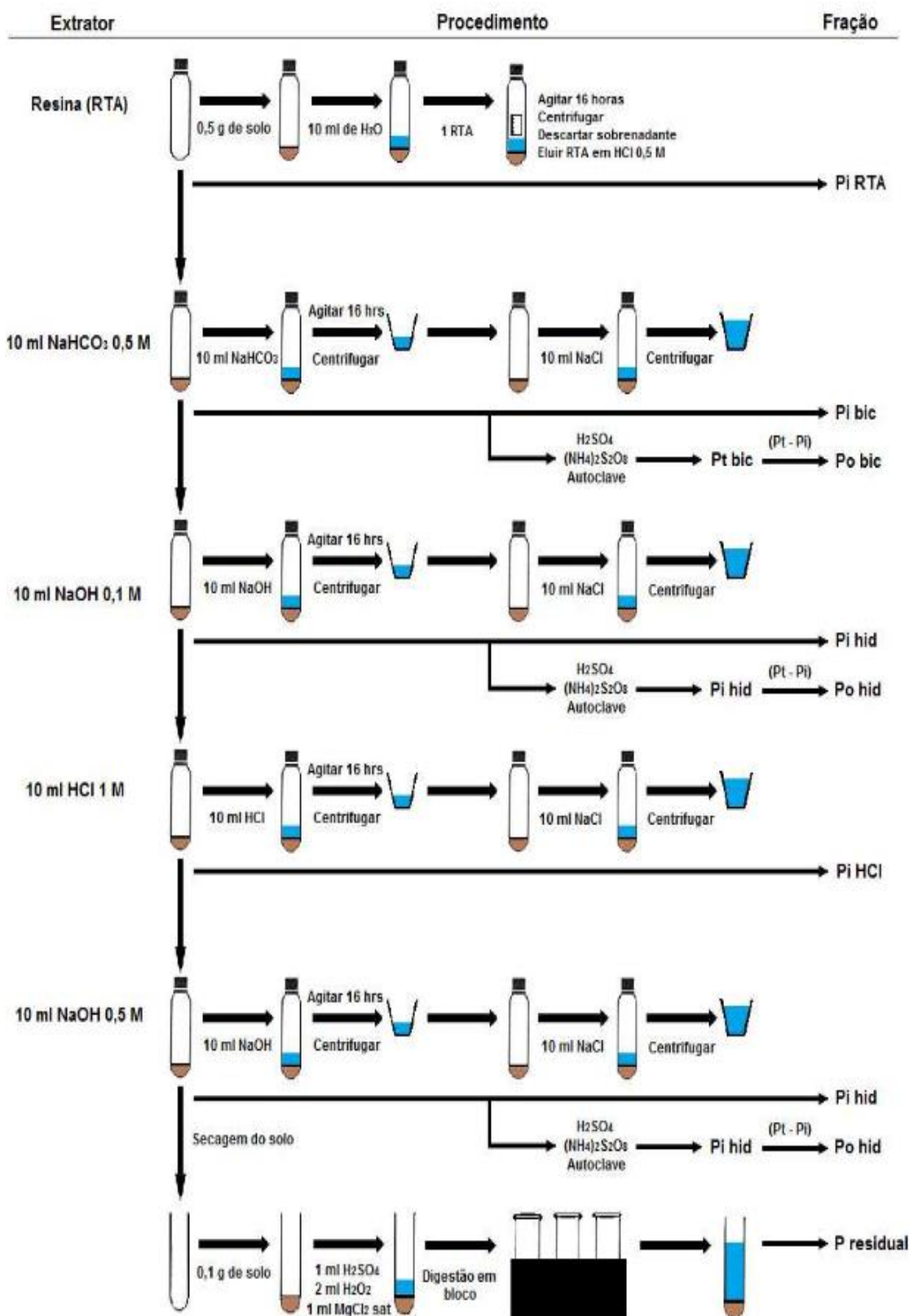
1,0 mol HCl (P_{HCl}): extrai P inorgânico moderadamente lábil associado com apatita, outros compostos de Ca-P moderadamente solúveis ou superfícies de óxido carregadas negativamente (GATIBONI *et al.*, 2007);

0,5 mol NaOH L⁻¹ (P_{HID-0,5}): extrai formas mais recalcitrantes de P inorgânico (P_{iHID-0,5}) associadas a Fe, Al, minerais argilosos e formas não lábeis de P orgânico (P_{OHID-0,5}) associado com ácidos fúlvicos e húmicos dentro de agregados (CONDRON; GOH; NEWMAN, 1985);

P residual (P_{Residual}): obtido depois do solo seco a 50 ° C, moído e digerido com H₂SO₄ + H₂O₂ na presença de MgCl₂ saturado (OLSEN; SOMMERS, 1982).

As leituras dos extratos obtidas nas frações foram feitas em espectrofotômetro de absorção, seguindo a metodologia de Murphy; Riley, (1962) para os extratos ácidos e segundo Dick; Tabatabai, (1977) para os extratos alcalinos. Os compartimentos estimados com as respectivas frações foram: lábil (P_{iRTA}, P_{iBIC}, P_{OBIC}), moderadamente lábil (P_{iHID-0,1}, P_{OHID-0,1} e P_{iHCl}) E não lábil (P_{iHID-0,5}, P_{OHID-0,5} e P_{residual}).

Figura 3 - Esquema da técnica do fracionamento de fósforo proposto por Hedley; Stewart; Chauhan (1982) , com as modificações propostas por Condrón, Goh e Newman (1985).



3.5.2 Plantas

a) Estado nutricional das plantas

Para avaliar o estado nutricional da cana-de-açúcar foi coletada a folha diagnose (folha +1) e determinou-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Para análise utilizou-se os 20 cm centrais excluindo a nervura central, colhidas na fase de maior desenvolvimento vegetativo (02/02/2019).

b) Numero de Colmos

A contagem de colmos, foi realizada em três metros centrais das quatro linhas do meio da parcela antes da colheita.

c) Produção de forragem, colmos e palhada

A massa de forragem e colmos foi quantificada mediante o corte de 15 plantas seguidas nas quatro linhas centrais, excluindo-se as extremidades da parcela, totalizando 60 plantas. Para determinação da massa de forragem, as plantas foram cortadas e imediatamente pesadas sem despalha e com ponteiro, em seguida as mesmas plantas foram despalhadas, quebradas na altura do palmito e pesadas novamente para obtenção do peso de colmos. Por diferença entre a massa de forragem e de colmos foi obtida a quantidade de palhada.

d) Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

Para análise tecnológica foram retirados doze colmos das 4 linhas centrais, excluindo a bordadura, foram analisados:

Brix (B_j): 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 da cana foi calculada através da equação: $F = 0,08 * PBU + 0,876$.

Onde: PBU = Peso úmido do bagaço da prensa.

Umidade % (U): foi calculada através da equação: $U = \frac{Pmu - Pms}{Pmu} * 100$. Onde: Pmu= peso da massa úmida; Pms= peso da massa seca.

Pol do caldo (S): foi determinada através de sacarímetro digital automático. A pol do caldo (teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo) foi calculada pela seguinte equação: $S = LPol * (0,26047 - 0,0009882 * B_j)$. Onde: $LPol$ = Leitura sacarimétrica do caldo clarificado; e, B_j = 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 no 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) por ser definida como a porcentagem de pol em relação ao brix, foi calculada pela equação: $Q = 100 * \frac{S}{Bj}$.

Onde: S= Pol do caldo; Bj= Brix no caldo.

Açúcares redutores do caldo % (AR): O teor de açúcares redutores (AR) por cento, em peso, de caldo foi calculado pela equação: $AR = 3,641 - 0,0343 * Q$.

Onde: Q = pureza no caldo

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

As análises foram realizadas no laboratório da usina Glencane, segundo a metodologia padrão citada por (FERNANDES, 2011).

3.6 Análise estatística

Os dados foram testados quanto à normalidade dos erros e homogeneidade de variância e as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2001). Os resultados foram submetidos à ANOVA, constatado significância, as médias das fontes de P foram comparadas entre si pelo teste de F e as doses por equações de regressão (PIMENTEL-GOMES, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Disponibilidade de fósforo no solo

O teor de P no solo variou em função das fontes e doses fosfatadas aplicadas na cana-soca. A extração pelo método da resina trocadora de íons (P-resina) apresentou interação dos fatores em ambas as profundidades (0-0,10 e 0,10-0,20 m). Enquanto com o extrator Mehlich 1 a fonte com presença de polímeros diferenciou significativamente do fertilizante sem polímeros na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 4).

Pelo método P-resina observou-se que os teores de fósforo nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m apresentaram resposta linear com o aumento da dose aplicada (Figura 4a; 4b). Na ausência da aplicação de fósforo, os teores do nutriente permaneceram na faixa de baixa disponibilidade (9,80 e 10,16 mg dm⁻³) segundo Raji *et al.* (1996). Na camada 0-0,10 m, com a aplicação de 60 e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, os teores aumentaram para média disponibilidade, respectivamente, 19,82 e 22,16 mg dm⁻³. Por sua vez, na camada de 0,10-0,20 m, a variação da faixa de interpretação ocorreu com a aplicação de 40, 60 e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, os teores aumentaram para média disponibilidades, respectivamente, 20,20; 17,61 e 26,90 mg dm⁻³ (Figura 4a; 4b).

Tabela 3 - Faixa de interpretação de teores de fósforo em solos pelos métodos Resina (P-resina) e Mehlich 1.

Método	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	----- mg dm ⁻³ -----				
P-resina	0 - 6	7 - 15	16 - 40	41 - 80	> 80
Mehlich 1 (Classe 4)	<7,0	7,1 - 14,0	14,1 - 21	21,1 - 42	>42

Teores de argila: classe 4 = ≤ 20%. Fonte: Adaptado de Raji *et al.*, (1996); Tedesco *et al.*, (2004).

Pelo método Mehlich 1, os valores de fósforo no solo, nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m, seguiram uma tendência linear com o incremento das doses de P₂O₅ (Figura 4c; 4d). Semelhante ao observado com o extrator P-resina, na ausência da aplicação de fósforo, os teores do nutriente no solo estão na faixa de baixa disponibilidade (13,75 mg dm⁻³). Na camada de 0-0,10 m observou-se média disponibilidade com aplicação das doses 20, 40 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente 15,31, 17,79 e 19,89 mg dm⁻³ e alta disponibilidade na aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (22,81 mg dm⁻³) (TEDESCO *et al.* 2004).

Tabela 4 - Teores de fósforo no solo pelos extratores P-resina e Mehlich 1, nas camadas de 0-0,10 m e de 0,10-0,20 m, em função de fontes e doses de fósforo, na presença e na ausência de polímeros em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, Ouro Verde - SP 2019.

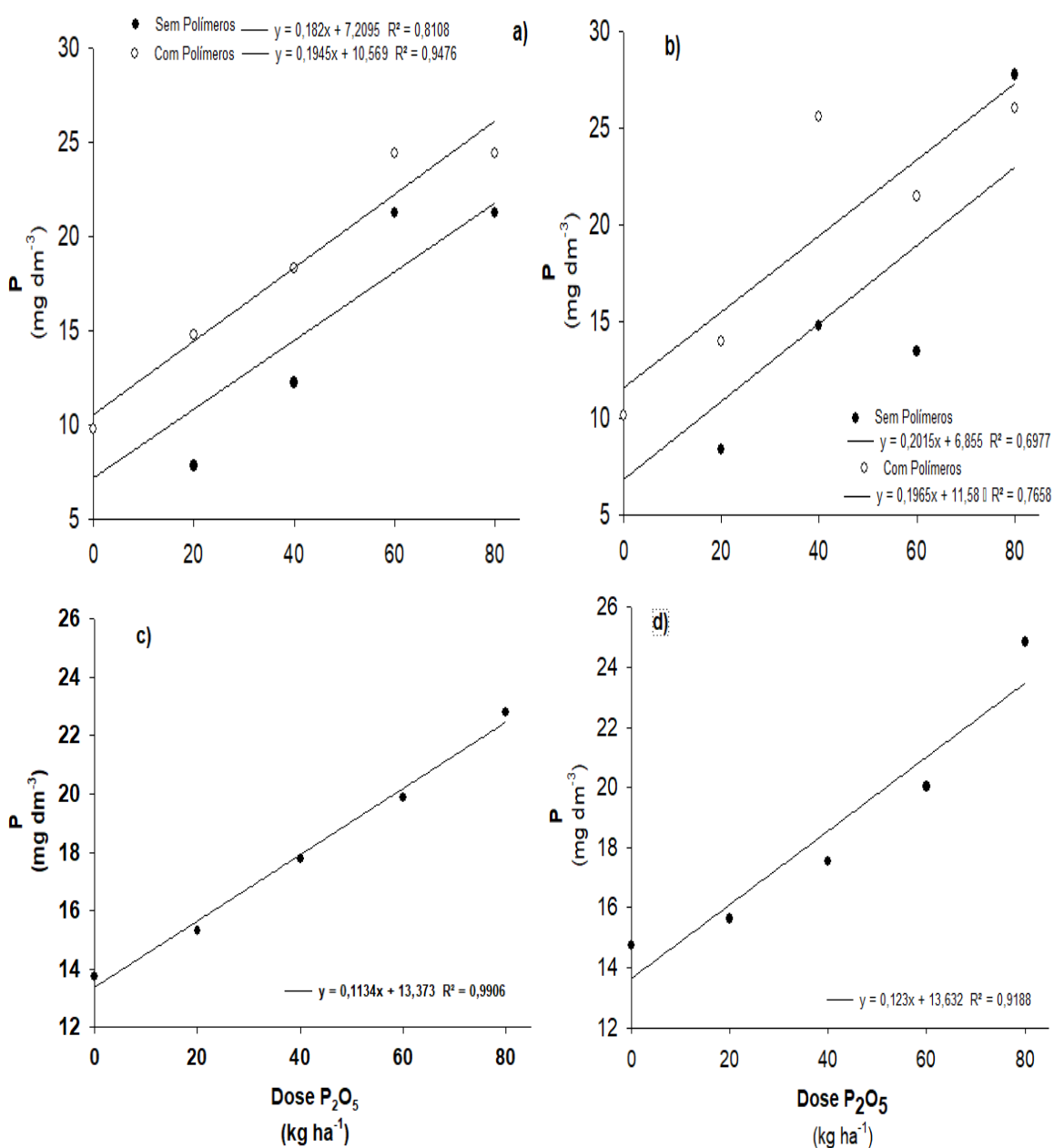
Dose P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	P-resina		Mehlich 1	
	Camadas (m)			
	0-0,10	0,10-0,20	0-0,10	0,10-0,20
	-----mg dm ⁻³ -----			
0	9,80	10,16	13,75	14,74
20	11,30	11,11	15,31	15,62
40	13,03	20,20	17,79	17,53
60	19,82	17,61	19,89	20,03
80	22,16	26,90	22,81	24,84
Polímeros				
Ausência	14,48	14,90	17,00	17,36b
Presença	16,44	19,49	18,46	19,90a
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0017	0,0001
Fonte	0,0546	0,0002*	0,3320	0,018**
Dose	0,001**	0,0001**	0,0001**	0,0001**
Fonte*Dose	0,0377*	0,0041**	0,6523	0,6398
MÉDIA	15,45	17,17	17,91	18,55
C.V.(%)	19	43	20	40

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey.

*significativo a 5%, ** significativo a 1%. Fonte: Própria (2019).

A interação entre fontes e doses observada com a utilização do método P-resina (Figura 4a; 4b) pode ser explicada pelo princípio de funcionamento do polímero. O mesmo satura as cargas positivas no solo para aumento na disponibilidade do elemento e reduzir a fixação do mesmo aos coloides. A determinação de fósforo no solo pelo método da resina trocadora de íons ocorre pelo princípio da troca iônica, o método se torna mais adequado para avaliação da disponibilidade de fósforo em fontes com tecnologias que atuam no complexo de cargas. Resultados estes que vão contra os de Gazola *et al.*, (2013) que ao estudar o efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros não verificaram diferença entre os fertilizantes, que pode ser devido ao tipo de solo, cultura, manejo ou ao próprio fertilizante.

Figura 4 - Teor de fósforo com e sem polímeros, no teor de P disponível (P-resina) no solo, na profundidade de 0,0,10 m (a) e na profundidade de 0,10-0,20 m (b), pelo extrator Mehlich 1 no solo, na profundidade de 0-0,10 m (c) e na profundidade de 0,10-0,20 m (d) em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O extrator Mehlich 1 não apresentou interação entre fonte e doses, sendo significativo apenas para doses (Figura 4c; 4d). Comparando ao P-resina pode ser pelo fato dele extrair, preferencialmente, as formas de P ligadas a cálcio, superestimando a disponibilidade de P em solos recentemente adubados com fosfatos (BORTOLON; GIANELLO, 2010) e sua capacidade de extração em solos mais argilosos (FREITAS *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Existem diversas pesquisas comparando a capacidade de extração pelo método Mehlich 1 e P-resina, de modo geral a quantificação de P no solo não varia muito pelos extratores, as concentrações variam de acordo com os teores de Argila, Ca, Fe, Al e MO no solo (GATIBONI; KAMINSKI; SANTOS, 2005; GATIBONI *et al.*, 2008; SCHLINDWEIN; GIANELLO, 2008; BORTOLON; GIANELLO, 2010; CHIEN *et al.*, 2014; ERIKSSON; GUSTAFSSON; HESTERBERG, 2015; MUMBACH *et al.*, 2018).

Não houve diferença entre os extratores, o que diverge de Mumbach *et al.*, (2018) estudando a quantificação de fósforo por Resina trocadora de íons e Mehlich 1, constatando que em solos com teores de argila menores que 20%, o extrator P-Resina extraem em média entre 11 e 12% a mais de P do solo que o extrator Mehlich 1.

4.2 Fracionamento de P no solo

4.2.1 Teor de P total no solo

Os teores de P total é a soma de todas as frações analisadas (lábil, moderadamente lábil e não lábil) nos tratamentos com fertilizante fosfatado com e sem a presença de polímeros (Tabela 5). Os tratamentos apresentaram interação na camada de 0-0,10 m com aumento linear no P_{Total} (Figura 5a), a concentração máxima de P foi na dose de 80 kg ha⁻¹ (696 mg dm⁻³) no fertilizante sem polímeros e de 561 mg dm⁻³ no adubo com polímeros (Figura 5a).

Tabela 5 – Teor de fósforo total no solo, em função das fontes e doses dos fertilizantes fosfatados cultivado com cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.

Dose P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	P _{Total}	
	Camadas (m)	
	0-0,10	0,10-0,20
	-----mg dm ⁻³ -----	
0	467,45	468,43
20	507,40	491,01
40	537,86	526,40
60	574,08	563,80
80	627,26	633,13
Polímeros		
Ausência	564,82	542,53
Presença	520,80	530,57
Pr > F	0,0001	0,0001
Fonte	0,0001**	0,2208
Dose	0,0001**	0,0001**
Fonte*Dose	0,0002**	0,0023**
MÉDIA	542,81	536,55
C.V.(%)	5	5

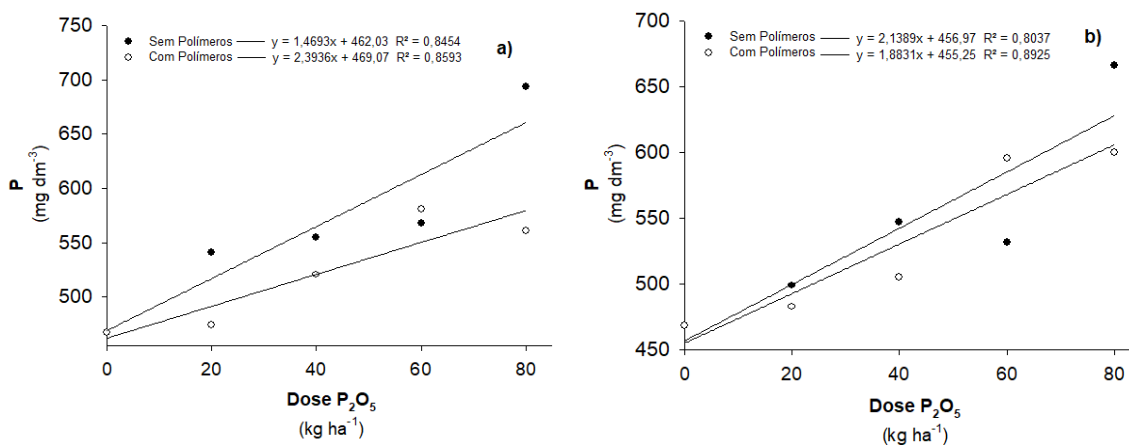
Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey.

*significativo a 5%, ** significativo a 1%. Fonte: Própria (2019).

Na camada de 0,10-0,20 m, os teores de P_{Total} responderam aos tratamentos de forma linear, atingindo a maior concentração na maior dose (80 kg ha⁻¹) de P₂O₅, atingindo 666 mg dm⁻³ e 600mg dm⁻³, respectivamente, sem polímeros e com polímeros (Figura 5b).

O aumento na concentração de P no solo é devido a aplicação de fertilizante P₂O₅ com e sem polímeros, outros autores estudando variadas fontes de fósforo, culturas e tipos de solo também obtiveram aumento nos teores do nutriente no solo (RODRIGUES *et al.*, 2016; SOLTANGHEISI *et al.*, 2019; ARRUDA *et al.*, 2019).

Figura 5 - Teor de P total no solo com e sem polímeros nas profundidades de 0-0,10 m (a) e de 0,10-0,20 m (b), em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Própria (2019).

Na Figura 6a está demonstrada a distribuição do nutriente com e sem polímeros nas frações lábeis, moderadamente lábil e não lábil do solo, na camada de 0-0,10 m. Nas frações lábeis e moderadamente disponíveis o fertilizante com polímeros se apresentaram mais eficiente. Esse resultado pode ser explicado pelo princípio de funcionamento do polímero, o qual satura as cargas positivas no solo para aumento na disponibilidade do elemento e reduzir a fixação do mesmo aos colóides, sendo que a camada não lábil seja correspondente pela alta adsorção do P com Fe, e Al. Os dados evidenciam que o efeito dos polímeros foi positivo por deixar o P mais disponível (lábil e moderadamente lábil) para as plantas.

O efeito dos fertilizantes fosfatados com e sem polímeros seguem a mesma tendência na camada de 0,10-0,20 m (Figura 6b), nas doses de 40 e 60 kg ha⁻¹ P₂O₅ a distribuição pelas frações lábeis e moderadamente lábeis foram melhores ao fertilizante com polímeros. Com as doses de 20 e 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ as maiores concentrações de disponibilidade foram para o adubo sem polímeros.

Figura 6a - Esquema da distribuição em porcentagem das frações de fósforo no solo após a aplicação do fertilizante fosfatado com e sem polímeros, camada de 0-0,10 m, no 3º corte da cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.

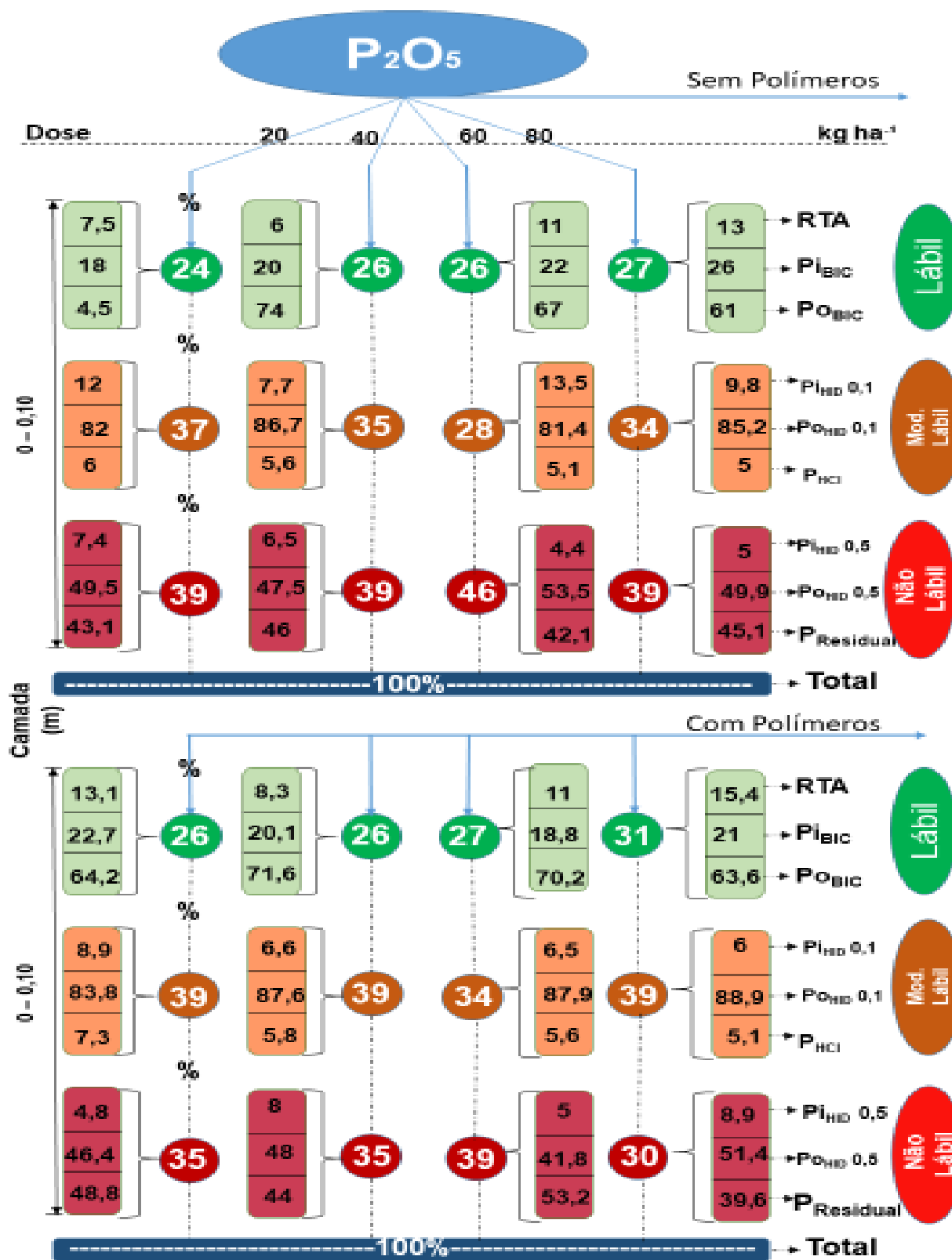


Figura 6b - Esquema de distribuição em porcentagem das frações de fósforo no solo após a aplicação do fertilizante fosfatado com e sem polímeros, camada de 0,10-0,20 m, no 3º corte da cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Própria (2019).

4.2.2 Distribuição das frações de P de acordo com a labilidade

A labilidade do P, na fertilidade do solo, independentemente de sua natureza química, o P é dividido de acordo com a facilidade com que repõe a solução do solo. As formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis podem ser entendidas como as formas extraídas pelo fracionamento, numa sequência de forças de extração proporcional potencial de retenção de P no solo, partindo de frações mais solúveis e, portanto, teoricamente mais biodisponíveis, a formas mais recalcitrantes, consideradas indisponíveis.

De forma geral, verificou-se aumento nos teores de P nas frações lábeis (P_{RTA} , P_{iBIC} E P_{oBIC}) em função das fontes e doses fosfatadas aplicadas na cana-soca, tanto nas camadas de 0-0,10 m quanto na de 0,10-0,20 m (Tabela 6).

Tabela 6 - Frações lábeis de P Inorgânico e orgânico no solo extraídas por resina de troca aniônica (P_{RTA}) e por bicarbonato de sódio 0.5 mol L^{-1} (P_{iBIC} E P_{oBIC}), em função das fontes e doses dos fertilizantes fosfatados cultivado com cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.

Dose P_2O_5 (kg ha^{-1})	P_{RTA}		P_{iBIC}		P_{oBIC}	
	Camadas (m)					
	0-0,10	0,10-0,20	0-0,10	0,10-20	0-0,10	0,10-0,20
	-----mg dm^{-3} -----					
0	5,56	7,20	13,41	13,18	54,91	55,75
20	5,24	5,73	14,59	14,39	53,11	54,54
40	9,07	8,04	16,67	14,11	56,18	57,70
60	13,38	11,63	22,05	19,60	58,20	59,79
80	14,00	10,93	22,34	21,91	71,35	72,89
Polímeros						
Ausência	9,32	8,74	19,36	17,87a	59,28	58,58a
Presença	9,58	8,67	16,27	15,41b	58,22	61,69b
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Fonte	0,4632	0,9155	0,0001**	0,014*	0,4486	0,0323
Dose	0,0001**	0,0001**	0,0001**	0,0001**	0,0001**	0,0001**
Fonte*Dose	0,0045**	0,3905	0,0002**	0,006**	0,2043	0,6549
MÉDIA	9,45	8,71	17,81	16,64	58,75	60,13
C.V.(%)	12	23	19	20	8	12

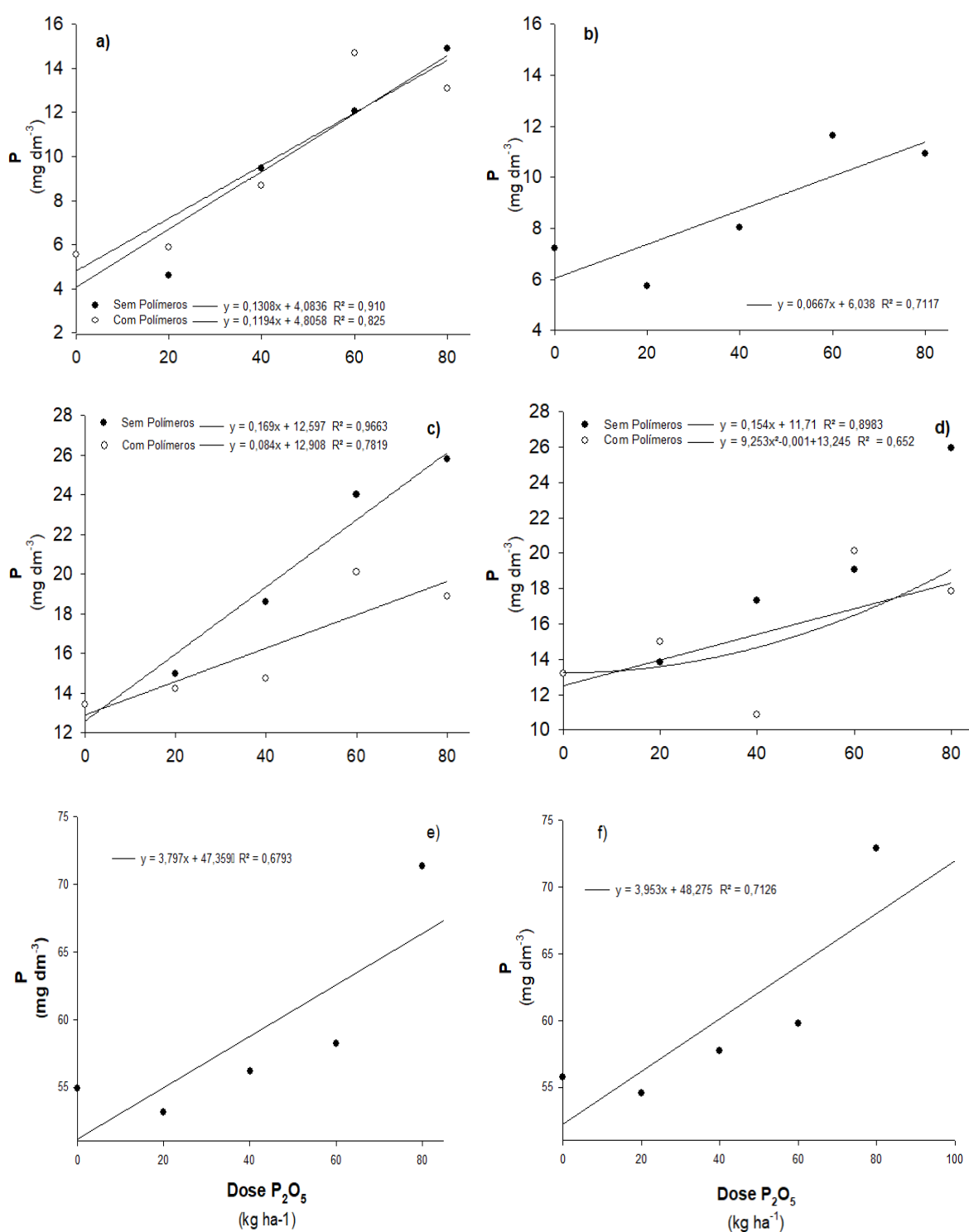
Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey.

*significativo a 5%, ** significativo a 1%. Fonte: Própria (2019).

A extração de P prontamente disponível pelo P_{RTA} apresentou interação dos fatores na profundidade de 0-0,10 m (Figura 7a), observa-se que o teor de fósforo na camada apresentou resposta linear com o aumento da dose. No fertilizante sem polímeros a maior concentração de P ($14,9 \text{ mg dm}^{-3}$) foi na dose 80 kg ha^{-1} , já na fonte com polímeros a dose 60 kg ha^{-1} obteve a maior concentração de P ($14,6 \text{ mg dm}^{-3}$).

Na fração lábil extraída pelo P_{RTA} na camada de 0,10-0,20 m, não houve interação entre os fatores, porém há diferença significativa para o fator dose isoladamente, mostrando relação do teor de P com a aplicação do fertilizante fosfatado (Figura 7b).

Figura 7 - Teor de fósforo com e sem polímeros disponível (P_{RTA}) no solo, nas profundidades de 0-0,10 m (a) e de 0,10-0,20 m (b), P inorgânico (P_{IBIC}) nas profundidades de 0-0,10 m (c) e de 0,10-0,20 m (d), P orgânico (P_{OBIC}) na profundidade de 0-0,10 m (e) e de 0,10-0,20 m (f) em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O fósforo inorgânico extraído por NaHCO_3 mol L^{-1} (Pi_{BIC}), corresponde a uma fração também disponível e, portanto, sensível a mudanças na solução do solo pela absorção pelas plantas, tanto na camada de 0-0,10 m quanto na de 0,10-0,20 m houve uma interação entre os fatores, sendo que nas duas profundidades o maior teor de P (25,79 e 25,96 mg dm^{-3}) foi do fertilizante sem polímeros, em ambos a maior concentração foi na dose 80 kg ha^{-1} (Figura 7c; 7d).

Os teores de P orgânico (Po_{BIC}) nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m não apresentaram interação entre doses e fontes, porém em ambas as profundidades houve uma resposta linear á adubação fosfatada com e sem polímeros (Figura 7e 7f), as maiores concentrações do nutriente foram de 142,69 e 145,78 mg dm^{-3} . Na camada inferior o fertilizante com polímero diferenciou do adubo na ausência de polímeros (Tabela 6).

A fração lábil de P no solo é extraída pelos métodos de P_{RTA} , Pi_{BIC} e Po_{BIC} , verifica-se que de modo geral houve um aumento nos teores de P no solo com a aplicação do fertilizante fosfatados, seja ele com a presença de polímeros quanto na ausência do mesmo, a única dose que divergiu das demais foi a de 20 kg ha^{-1} , que não diferenciou do controle e em algumas frações até esteve abaixo, o que pode ser atribuído ao deslocamento para outras frações do solo (moderadamente lábil ou não lábil) ou pela absorção radicular. Os resultados obtidos do grupo lábil vão de acordo com outros autores que estudando fontes diversas obtiveram aumento nas concentrações de P no solo (GATIBONI *et al.*, 2007; NASCIMENTO, 2016; SOLTANGHEISI *et al.*, 2019).

Os teores de P considerado moderadamente disponíveis ($\text{Pi}_{\text{HID-0,1}}$, $\text{Po}_{\text{HID-0,1}}$ e P_{HCl}) estão descritos na Tabela 7, apresentaram inteiração entre as fontes em todas as frações analisadas, seja na camada superficial (0-0,10 m) quanto na profundidade inferior (0,10-0,20 m).

Tabela 7 - Frações moderadamente lábeis de P Inorgânico e orgânico no solo extraídas por hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹ (P_{iHID-0,1} e P_{oHID-0,1}) e por ácido clorídrico (P_{HCl}), em função das fontes e doses dos fertilizantes fosfatados cultivado com cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.

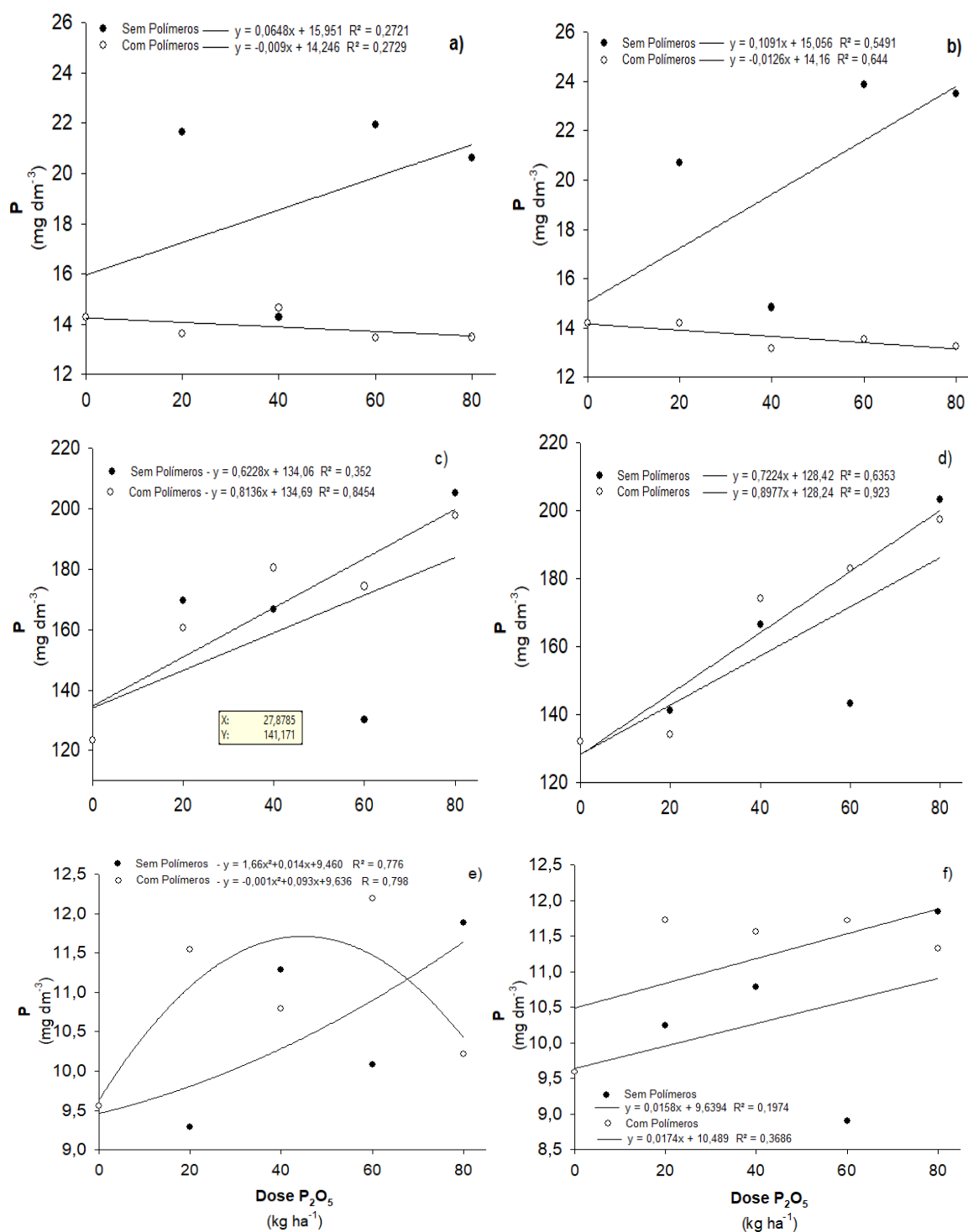
Dose P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	P _{iHID-0,1}		P _{oHID-0,1}		P _{HCl}	
	Camadas (m)					
	0-0,10	0,10-0,20	0-0,10	0,10-0,20	0-0,10	0,10-0,20
	-----mg dm ⁻³ -----					
0	14,27	14,18	123,25	132,13	9,55	9,59
20	17,63	17,44	165,01	137,64	10,42	10,98
40	14,46	13,99	173,54	170,35	11,04	11,17
60	17,68	18,70	152,28	163,20	11,14	10,31
80	17,04	18,38	201,44	200,35	11,05	11,59
Polímeros						
Ausência	18,54	19,42	158,97	157,31	10,42	10,27
Presença	13,89	13,66	167,24	164,15	10,86	11,18
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Fonte	0,0001**	0,0001**	0,0496	0,1425	0,0933	0,0001**
Dose	0,0014**	0,004**	0,0001**	0,0001**	0,001**	0,0001**
Fonte*Dose	0,0001**	0,002**	0,0012**	0,0167**	0,0001**	0,0001**
MÉDIA	16,22	16,54	163,10	160,73	10,64	10,73
C.V.(%)	12	18	8	14	10	6

*significativo a 5%, ** significativo a 1%. Fonte: Própria (2019).

A diferença entre os fertilizantes fosfatados com e sem polímeros (Figura 8a; 8b) nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m evidenciaram o princípio de funcionamento do polímero. Conforme descrito anteriormente, o mesmo satura as cargas positivas no solo para aumento na disponibilidade do elemento e reduzir a fixação do mesmo aos colóides. A fração do solo extraída pelo P_{iHID-0,1} é composta prioritariamente de fosfatos ligados aos oxi-hidróxidos de Fe e Al, minerais de carga positiva.

Observa-se que em ambas as profundidades com o aumento das doses de P₂O₅ sem polímeros aumentam as concentrações de P, o mesmo não ocorre com o fertilizante com polímeros, ocorre justamente ao contrario conforme aumentam as doses diminui o teor de P no solo (Figura 8a; 8b).

Figura 8 - Teor de fósforo na fração moderadamente disponível, inorgânico ($P_{iHID-0,1}$), nas camadas de 0-0,10 m (a) e de 0,10-0,20 m (b), P orgânico ($P_{oHID-0,1}$) nas camadas de 0-0,10 m (c) e de 0,10-0,20 m (d), P ligado ao Ca (P_{HCl}) nas camadas de 0-0,10 m (e) e de 0,10-0,20 m (f), em função da adubação fosfatada com e sem polímeros em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A fração $P_{\text{OHID-0,1}}$ refere-se ao P orgânico do solo, e verifica-se uma variação entre os valores do nutriente, porém pode se notar aumento nas concentrações de P nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, tendo os maiores valores na dose 80kg ha⁻¹ (Figura 8c; 8d)

Apesar dos teores de P na fração P_{HCl} mostrarem interação entre as fontes (Tabela 7), tais resultados não demonstram grandes variações com a aplicação dos adubos, o que ocorre pelo princípio dos fertilizantes que tem NH_4^+ em sua composição que dificulta a adsorção do Ca^{2+} presente no solo (Figura 8e 8f) valores que se assemelham aos de Rheinheimer; Gatiboni; Kaminski (2008); Nascimento (2016).

Tabela 8 - Frações não lábeis de P Inorgânico e orgânico no solo extraídas por hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹ ($P_{\text{HID-0,5}}$ e $P_{\text{OHID-0,5}}$) e o residual (P_{Residual}), em função das fontes e doses dos fertilizantes fosfatados cultivado com cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.

Dose P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	$P_{\text{HID-0,5}}$		$P_{\text{OHID-0,5}}$		P_{Residual}	
	Camadas (m)					
	0-0,10	0,10-0,20	0-0,10	0,10-0,20	0-0,10	0,10-0,20
	-----mg dm ⁻³ -----					
0	13,34	13,43	95,23	95,63	83,01	71,58
20	10,96	11,94	87,10	93,94	90,24	89,86
40	15,44	13,85	93,14	92,28	92,14	87,19
60	8,86	10,35	100,93	104,58	131,36	105,85
80	15,30	15,21	94,50	113,42	108,90	95,57
Polímeros						
Ausência	11,98	12,84	108,92	107,08a	108,75	91,84
Presença	13,58	13,08	79,44	92,85b	93,52	88,18
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	0,0248	0,0002	0,0017
Fonte	0,0001**	0,6789	0,0001**	0,0054	0,0217*	0,5044
Dose	0,0001**	0,0001**	0,2613	0,0428*	0,0002**	0,007**
Fonte*Dose	0,0001**	0,0001**	0,0024**	0,5739	0,0313*	0,004**
MÉDIA	12,78	12,96	94,18	99,97	101,13	90,01
C.V.(%)	7	14	12	15	19	19

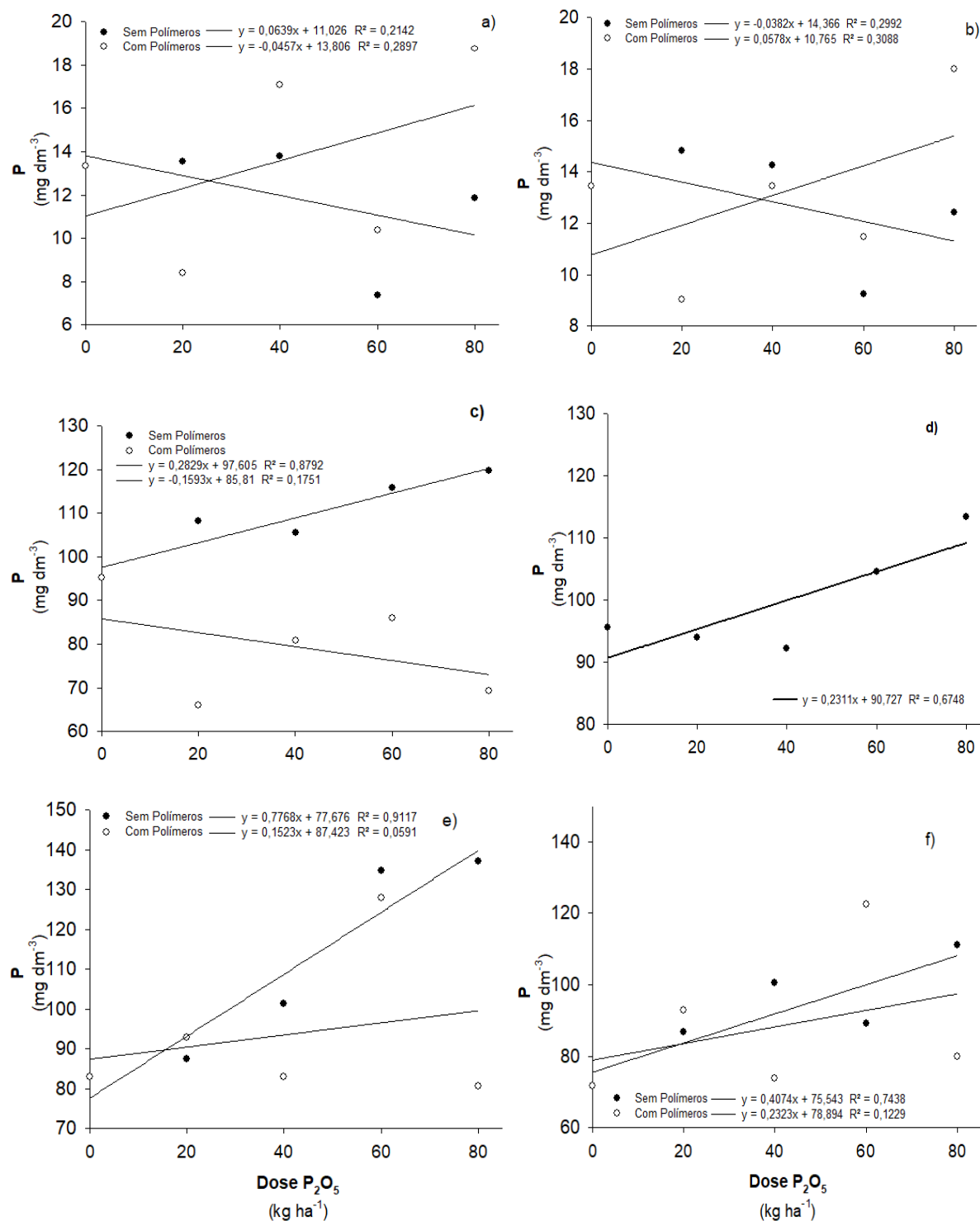
Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey.
*significativo a 5%, ** significativo a 1%. Fonte: Própria (2019).

Os teores de P não lábil ($P_{\text{HID-0,5}}$, $P_{\text{OHID-0,5}}$ e P_{Residual}) apresentadas na Tabela 8, de modo geral, todas as frações mostraram interação entre os fertilizantes fosfatados, o que divergiu foi o $P_{\text{OHID-0,5}}$ na camada de 0,10-0,20 m.

Na Figura 9a identificou-se diferença entre os tratamentos, enquanto o fertilizante fosfatado sem polímeros há resposta linear positiva, na presença do polímero o efeito foi linear negativa para o P inorgânico não lábil. Observa-se aumento nas concentrações de P no solo com aplicação dos fertilizantes (Figura 9b).

Os teores de P_{Residual} corresponde todo o P que não fora retirado pelas outras frações. Compreende-se que ele está não disponível para ser absorvido. Observou-se que em ambas as profundidades (0-0,10 e 0,10-0,20 m) houve elevação na concentração do nutriente com aplicação dos fertilizantes fosfatados (Figura 9d; 9e).

Figura 9 – Teor de fósforo na fração não lábil do solo, P inorgânico ($P_{iHID\ 0,5}$) nas profundidades de 0-0,10 m (a) e de 0,10-0,20 m (b), P orgânico ($P_{oHID\ 0,5}$) nas profundidades de 0-0,10 m (c) e de 0,10-0,20 m (d), e P ($P_{residual}$) nas profundidades de 0-0,10 m (e) e de 0,10-0,20 m (f) em função das doses e fontes com e sem polímeros em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Própria (2019).

4.3 Estado Nutricional da Cana-de-Açúcar

As faixas dos valores de macro e micronutrientes considerados adequados para diagnose foliar para cana-soca estão apresentadas na Tabela 8 de acordo com Raij *et al.* (1996); Malavolta; Vitti; Oliveira (1997).

Os resultados das análises foliares de macro e micronutrientes na cana-de-açúcar estão compilados nas Tabelas 10 e 11. De acordo com os valores de referência citados, o teor de S está inferior ao considerado adequado. No entanto, o valor de 1,08g kg⁻¹ Tabela 10 é superior ao verificado por Calheiros *et al.* (2011) em cana-de-açúcar na primeira rebrota, variedade RB92579 (1,04g kg⁻¹ de S). A deficiência de enxofre ou a variação nos resultados podem ocorrer por vários fatores, dentre eles solos arenosos que apresentam baixo teor de matéria orgânica e baixa retenção de água, podendo ocorrer lixiviação bem como, devido características varietais da cultura. Os demais macronutrientes estão dentro da faixa de interpretação considerada adequada (RAIJ *et al.*, 1996; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; CARNEIRO *et al.*, 2017; ORNDORFF *et al.*, 2018).

Tabela 9 - Teores de macro e micronutrientes considerados adequados na diagnose foliar (folha +1) para cana-de-açúcar.

N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----					
18 – 26	1,5 – 3,0	10 - 18	2,0 - 10	1,0 – 3,5	1,4 – 3,0
B	Cu	Fe	Mn	Zn	
----- mg kg ⁻¹ -----					
10 - 30	6 - 15	40 - 250	25 -250	10 - 50	

Fonte: Raij *et al.* (1996); Malavolta; Vitti; Oliveira (1997).

Tabela 10 - Teores de macronutrientes na folha diagnose (folha +1) da cana-de-açúcar, 107 dias após a adubação, ano agrícola 2018/2019, Ouro Verde – SP.

Dose P ₂ O ₅ (kg há ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
0	17,69	1,74	14,84	6,93	1,47	1,08
20	18,10	1,86	14,77	6,62	1,56	1,09
40	17,92	1,76	14,75	6,32	1,34	1,12
60	17,48	1,73	14,27	6,14	1,37	1,05
80	17,69	1,74	14,84	6,93	1,47	1,08
Polímeros						
Ausência	17,98	1,73	14,17	5,58	1,37	1,09
Presença	17,93	1,80	15,00	7,95	1,49	1,09
Pr > F	0,86	0,23	0,95	0,08	0,58	0,58
Fonte	0,89	0,15	0,09	0,12	0,15	0,97
Dose	0,88	0,12	0,89	0,20	0,43	0,71
Fonte*Dose	0,69	0,97	0,93	0,70	0,98	0,19
MÉDIA	17,87	1,68	14,62	6,98	1,43	1,08
C.V.(%)	10	17	12	40	19	9

Fonte: Própria (2019).

Na concentração de micronutrientes, apenas o teor de B está inferior ao considerado adequado, que pode ser atribuído ao baixo teor de matéria orgânica do solo e alta mobilidade do nutriente no perfil do solo. Os demais micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) não apresentaram diferença significativa e estão dentro da faixa de interpretação considerada adequada (RAIJ *et al.*, 1996; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; GUIMARÃES *et al.*, 2015; ORNDORFF *et al.*, 2018). Os valores de boro encontrados são semelhantes aos citados por Calheiros *et al.*, (2011) utilizando a mesma variedade, podendo indicar que a RB92579 apresenta concentrações inferiores as citadas como referência na literatura (RAIJ *et al.*, 1996).

Tabela 11 - Teores de micronutrientes na folha diagnose (folha +1) da cana-de-açúcar, ano agrícola 2018/2019, Ouro Verde – SP.

Dose P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0	3,16	13,23	89,53	36,82	7,74
20	6,35	9,63	94,53	36,51	9,04
40	2,61	9,33	89,97	39,39	7,13
60	2,05	14,05	87,36	43,00	8,31
80	3,93	12,14	83,58	38,44	8,74
Polímeros					
Ausência	4,34	12,09	92,08	38,16	8,29
Presença	2,90	11,26	85,92	39,50	8,09
Pr > F	0,27	0,44	0,94	0,67	0,91
Fonte	0,17	0,51	0,31	0,55	0,85
Dose	0,12	0,14	0,77	0,42	0,77
Fonte*Dose	0,52	0,77	0,91	0,54	0,58
MÉDIA	3,67	11,50	88,93	39,05	8,24
C.V.(%)	10	39	24	19	47

Fonte: Própria (2019).

4.4 Produção de Forragem e de Colmos

A produção de forragem não apresentou interação entre fontes e doses (Tabela 12), pode se observar que houve aumento linear com as doses de P, tendência que também foi verificada por Lisboa; Heinrichs; Figueiredo (2017) sobre efeito residual de doses e fontes de fósforo.

Em relação a produção de colmos, observou-se acréscimo de 13 t ha⁻¹ com aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, comparando com a ausência da adubação. No entanto, essa diferença não foi o suficiente para apresentar efeito significativo na análise estatística (Tabela 12). De modo quantitativo a maior produção com fertilizante sem polímeros foi na dose de 80 kg ha⁻¹ (106 t ha⁻¹), enquanto o adubo fosfatado com polímeros atingiu a maior média na dose 60kg ha⁻¹ (107 t ha⁻¹). Valores que vão de encontro com os de Gava et al., 2011; Abreu *et al.* (2013) e diferenciando dos de Ahmed (2017).

Os teores de açúcar total recuperável (ATR) variaram entre 12,20 e 13,91t ha⁻¹ não diferenciando significativamente entre si, semelhante aos resultados de Ahmed (2017); Campos (2016); Cordeiro *et al.* (2018).

A produção de palhada não diferiu em função da adubação fosfatada (Tabela 12). Observou-se uma tendência de maior produção de palha na ausência de fósforo na adubação, que pode ser explicado pela deficiência nutricional, sendo o fósforo um nutriente móvel na planta, a sua carência promove a redistribuição das folhas mais velhas para as mais novas para compensar a menor nutrição, causando a senescência das folhas mais velhas.

Tabela 12 - Produtividade de massa de forragem e de colmos, palhada, açúcar total recuperável e número de colmos de cana-de-açúcar adubada com fontes e doses de fósforo. No ano agrícola 2018/2019, Ouro Verde – SP.

Dose P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Forragem	Colmos	Palhada	ATR	N° colmos
0	159,25	91,90	67,34	12,27	107.268
20	157,47	100,11	57,36	13,41	113.652
40	164,03	102,03	62,00	13,62	105.560
60	168,4	102,95	65,49	13,06	107.793
80	171,45	104,68	66,76	13,71	112.868
Polímeros					
Ausência	161,99	99,53	62,45	13,12	108.875
Presença	165,74	100,945	64,80	13,34	111.744
Pr > F	0,97	0,84	0,99	0,89	0,15
Fonte	0,80	0,74	0,75	0,65	0,10
Dose	0,69	0,91	0,83	0,92	0,17
Fonte*Dose	0,97	0,76	0,98	0,68	0,53
MÉDIA	164,68	101,28	63,40	13,32	109.668
C.V.(%)	15	13	35	15	6

Fonte: Própria (2019).

4.5 Análise da Qualidade Tecnológica

Na Tabela 13 estão descritos os valores médios de AR, Brix, Fibra, Umidade, POL Caldo, POL Cana (PC), Pureza e ATR que compõem a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar na colheita. Todos os valores estão dentro da faixa citada por Ripoli; Ripoli (2004). Para todos parâmetros avaliados não foi encontrada significância entre as médias dos tratamentos.

Lira (2018) estudando cana-de-açúcar no segundo corte observou teores de Brix superiores aos encontrados neste trabalho, podendo ser justificado devido o teor de umidade menor que o avaliado no experimento citado, uma vez que a baixa umidade está diretamente correlacionada com a concentração de Brix.

De acordo com Ripoli; Ripoli (2004), a matéria prima deve apresentar teores de AR menor que 0,8%. Neste estudo, pode-se verificar que foram inferiores, pois variam de 0,61% a 0,49% (Tabela 13). Resultados semelhantes foram também verificado por Garcia *et al.* (2013), em cana-de-açúcar da variedade RB867515, cultivada com diferentes adubações, variando de 0,46% e 0,47%.

Tabela 13 - Análise tecnológica da cana-de-açúcar variedade RB92579. Ano agrícola 2018/2019, Ouro Verde – SP.

Dose P₂O₅ (kg ha ⁻¹)	AR	Brix	Fibra	Umidade	POL Caldo	POL Cana	Pureza	ATR
	-----%-----							--kg--
0	0,51	14,99	11,35	73,67	15,53	13,31	88,74	132,8
20	0,55	15,33	11,78	72,90	15,74	13,38	87,39	133,87
40	0,57	15,38	11,68	72,95	15,67	13,34	86,72	133,66
60	0,58	14,61	11,52	73,88	14,75	12,59	86,18	126,59
80	0,56	14,98	11,86	73,16	15,32	13,01	86,82	130,44
Polímeros								
Ausência	0,57	15,03	11,77	73,20	15,34	13,04	86,78	130,81
Presença	0,54	15,08	11,50	73,42	15,46	13,21	87,56	132,16
Pr > F	0,41	0,28	0,25	0,16	0,39	0,37	0,38	0,36
Fonte	0,28	0,76	0,15	0,39	0,61	0,41	0,27	0,45
Dose	0,80	0,08	0,73	0,11	0,08	0,10	0,81	0,09
Fonte*Dose	0,23	0,43	0,11	0,21	0,77	0,72	0,22	0,71
MÉDIA	0,56	15,06	11,67	73,27	15,39	13,10	87,00	131,3
C.V.(%)	13	4	5	1	5	5	2	4

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5 CONCLUSÃO

A adubação com fosfato monoamônio com e sem polímeros na soqueira de cana-de-açúcar contribuiu para o aumento de fósforo disponível no solo. O extrator P-resina se diferenciou do método Mehlich 1 e quantificou melhor o efeito do fertilizante fosfatados com polímeros.

O fertilizante fosfatado com polímeros apresentou maior disponibilidade de fósforo nas frações lábil e moderadamente lábil em relação a ausência do polímero no fertilizante.

A adubação fosfatados aumentou em 13 t ha^{-1} na produção de colmos e não alterou as concentrações de macro e micronutrientes foliares, não deferindo entre as fontes com e sem polímeros.

A qualidade tecnológica da cana-de-açúcar no terceiro corte não variou com a adubação fosfatada.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L. ; SILVA, M. A.; TEODORO, I.; HOLANDA, L. A.; SAMPAIO NETO, G. D. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, [s. l.], v. 72, n. 3, p. 262–270, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052013000300009&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 13 set. 2019.
- AGOSTINHO, F. B.; BORGES, É. A.; REZENDE, W. S.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Efeito do uso de MAP revestido com polímeros de liberação gradual em atributos de solo e produtividade de matéria seca no milho. **Congresso nacional de milho e sorgo**, [s. l.], v. 28, p. 6, 2010.
- AHMED, A. Response of three sugar cane varieties to phosphorus bio fertilization. **Egyptian Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 149–158, 2017. Disponível em: http://journal2.journals.ekb.eg/article_3709.html. Acesso em: 26 fev. 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. Acesso em: 19 nov. 2019.
- ALVAREZ, R.; WUTKE, A. C. P.; ARRUDA, H. V. De; VAN RAIJ, B.; GOMES, A. C.; ZINK, F. Adubação da cana-de-açúcar: XIV. Adubação NPK em latossolo roxo. **Bragantia**, [s. l.], v. 50, n. 2, p. 359–374, 1991. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0006-87051991000200014&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 11 out. 2019.
- ARRUDA, B.; RODRIGUES, M.; GUMIERE, T.; RICHARDSON, A. E.; ANDREOTE, F. D.; SOLTANGHEISI, A.; GATIBONI, L. C.; PAVINATO, P. S. The impact of sugarcane filter cake on the availability of P in the rhizosphere and associated microbial community structure. **Soil Use and Management**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 334–345, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrarywiley-com.ez87.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1111/sum.12484>. Acesso em: 19 set. 2019.
- BASTOS, V. D. **Etnanol, álcoolquímica e biorrefinarias**. [s. l.], n. 25, p. 34, 2007.
- BATAGLIA, O. C.; SANTOS, W. R. Efeitos da adubação NPK na fertilidade do solo, nutrição e crescimento da seringueira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 881–890, 1999. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831999000400015&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 11 out. 2019.
- BENEDITO, D. da S. **Eficiência agrônômica de fontes alternativas de fósforo e modelo de predição do uso de fosfatos naturais**. 2007. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-08112007-095724/>. Acesso em: 11 out. 2019.

BEZERRA, J. D. C.; FERREIRA, G. D. G.; OLIVEIRA, M. W.; CAMPOS, J. M. de S.; ANDRADE, A. P.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. R. S. . Cana-de-açúcar: Melhoramento genético e suas finalidades forrageiras. **Nucleus Animalium**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 131–147, 2018. Disponível em:

<http://nucleus.feituverava.com.br/index.php/animalium/article/view/3518>. Acesso em: 7 out. 2019.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Simultaneous multielement extraction with the Mehlich-1 solution for Southern Brazilian soils determined by ICP-OES and the effects on the nutrients recommendations to crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 125–132, 2010. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832010000100013&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 24 set. 2019.

CALHEIROS, A.; OLIVEIRA, M.; FERREIRA, V.; BARBOSA, G.; COSTA, J.; LIMA, G.; ARISTIDES, E. Acúmulo de Nutrientes e Produção de Sacarose de Duas Variedades de Cana-de-Açúcar na Primeira Rebrotas, em Função de Doses de Fósforo. **STAB**, [s. l.], v. 29, p. 4, 2011.

CAMPOS, C. N. S. **Efeito residual de doses e fontes de fósforo associado a torta de filtro na cana-de-açúcar**. 2016. Jaboticabal: UNESP, , 2016.

CARNEIRO, F. M.; FURLANI, C. E. A.; ORMOND, A. T. S.; KAZAMA, E. H.; SILVA, R. P. Da. Mechanized fertilization: individual application of nitrogen, phosphorus and potassium in sugarcane. **Revista Ciência Agrônômica**, [s. l.], v. 48, n. 2, 2017.

Disponível em: <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1806-6690.20170032>. Acesso em: 26 fev. 2019.

CARVALHO, M. V.; RODRIGUES, P. H. M.; LIMA, M. L. P.; ANJOS, I. A.; LANDELL, M. G. A.; SANTOS, M. V.; SILVA, L. F. P. E. Composição bromatológica e digestibilidade de cana-de-açúcar colhida em duas épocas do ano. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, [s. l.], v. 47, n. 4, p. 298–306, 2010. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/bjvras/article/view/26829>. Acesso em: 7 out. 2019.

CHIEN, S. H.; EDMEADES, D.; MCBRIDE, R.; SAHRAWAT, K. L. Review of Maleic–Itaconic Acid Copolymer Purported as Urease Inhibitor and Phosphorus Enhancer in Soils. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 106, n. 2, p. 423–430, 2014. Disponível em: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/106/2/423?access=0&view=pdf>. Acesso em: 24 set. 2019.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application | SpringerLink. **Fertilizer research**, [s. l.], v. 41, n. 3, p. 227–234, 1995. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00748312>. Acesso em: 11 out. 2019.

CHIEN, S.; PROCHNOW, L.; TU, S.; SNYDER, C. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: An update review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 89, p. 229–255, 2011.

CONDRON, L. M.; GOH, K.; NEWMAN, R. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ^{31}P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, [s. l.], v. 36, p. 199–207, 1985.

CORDEIRO, R. F.; BRUNINI, M. A.; CURY, T. N.; PEREIRA, M.; DE OLIVEIRA, A. L.; SEGATO, S. V.; KANESIRO, A.; KANESIRO, J. C. Atributos tecnológicos de soqueira, de segundo corte, da cana-de-açúcar variedade rb 85-5453 em função da adubação. **Convibra**, [s. l.], p. 10, 2018.

COSTA, D. B. D.; NETO, D. E. S.; FREIRE, F. J.; DE, E. C. A. Adubação fosfatada em cana planta e soca em argissolos do nordeste de diferentes texturas. **Revista Caatinga**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 10, 2014.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, [s. l.], v. 64, n. 3/4, p. 197–214, 1995.

DA SILVA, L. M. A.; PEDROSA, E. M. R.; DA SILVA VICENTE, T. F.; DE OLIVEIRA CARDOSO, M. S.; CASTRO, D. B.; ROLIM, M. M. Seasonal variation of plant-parasitic nematodes and relationship with nutritional and growth properties of sugarcane plantations. **Tropical Plant Pathology**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 132–136, 2017. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s40858-017-0129-5>. Acesso em: 16 set. 2019.

DAROS, E.; DE OLIVEIRA, R. A.; ZAMBON, J. L. C.; FILHO, J. C. B. Catálogo nacional de variedades “rb” de cana-de-açúcar. [s. l.], p. 140, 2010.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. Determination of Orthophosphate in Aqueous Solutions Containing Labile Organic and Inorganic Phosphorus Compounds 1. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 82–85, 1977. Disponível em: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/6/1/JEQ0060010082?access=0&view=pdf>. Acesso em: 24 set. 2019.

DUARTE, C. F. D.; PAIVA, L. M.; FERNANDES, H. J.; CASSARO, L. H.; BREURE, M. F.; PROCHERA, D. L.; BISERRA, T. T. Capim-piatã adubado com diferentes fontes de fósforo. **Investigação**, [s. l.], v. 15, n. 4, 2016. Disponível em: <http://publicacoes.unifran.br/index.php/investigacao/article/view/1198>. Acesso em: 7 out. 2019.

ERIKSSON, A.; GUSTAFSSON, J.; HESTERBERG, D. Phosphorus speciation of clay fractions from long-term fertility experiments in Sweden. **Geoderma**, [s. l.], v. 241–242, p. 68–74, 2015.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 3. ed. Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2011. Disponível em: http://www.stab.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=61. Acesso em: 7 out. 2019.

FIGUEIREDO, C. C.; BARBOSA, D. V.; OLIVEIRA, S. A.; FAGIOLI, M.; SATO, J. H. Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. **Revista Ciência Agrônômica**, [s. l.], v. 43, n. 3, p. 446–452,

2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902012000300005&lng=pt&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 1 mar. 2019.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, [s. l.], v. 72, n. 1, p. 37–51, 1996. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016706196000109>. Acesso em: 11 out. 2019.

FREITAS, A. W. P.; PEREIRA, J. C.; ROCHA, F. C.; COSTA, M. G.; LEONEL, F. de P.; RIBEIRO, M. D. Avaliação da qualidade nutricional da silagem de cana-de-açúcar com aditivos microbianos e enriquecida com resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 38–47, 2006. a. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982006000100005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 7 out. 2019.

FREITAS, A. W.; ROCHA, F. C.; DETMANN, E.; BARBOSA, M. H. P.; RIBEIRO, M. D.; COSTA, M. G.; PEREIRA, J. C. Avaliação da divergência nutricional de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 35, 2006. b. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982006000100029. Acesso em: 7 out. 2019.

FREITAS, I. F.; NOVAIS, R. F.; VILLANI, E. M. A.; NOVAIS, S. V. Fósforo extraído com resinas trocadoras de íons e mehlich-1 de latossolos submetidos a fontes e doses de fósforo e tempos de contato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 667–677, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832013000300013&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 17 set. 2019.

GARCIA, J. C.; VITORINO, R.; AZANIA, C. A. M.; SILVA, D. M.; BELUCI, L. R. Inoculação de bactérias diazotróficas no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar, variedade rb 867515. **Nucleus**, [s. l.], v. 10, n. 1, 2013. Disponível em: <http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/828>. Acesso em: 13 set. 2019.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Soil phosphorus forms after successive pig slurry application in a native pasture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 1753–1761, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832008000400040&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 24 set. 2019.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 691–699, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832007000400010&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 24 set. 2019.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. Modificações nas formas de fósforo do solo após extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 e resina trocadora de ânions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 363–371, 2005.

Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832005000300006&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 24 set. 2019.

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 250–255, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1415-43662011000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 13 set. 2019.

GAZOLA, R. N.; BUZETTI, S.; DINALLI, R. P.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; CELESTRINO, T. S. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, [s. l.], v. 60, n. 6, p. 876–884, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2013000600016&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 1 mar. 2019.

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J. Frações de fósforo no solo e sua relação com a absorção pelas plantas de arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 357–362, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832009000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 11 out. 2019.

GONÇALVES, V.; MEURER, E.; TATSCH, F.; CARVALHO, S.; NETO, O. Biodisponibilidade de cádmio em fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo**, [s. l.], v. 32, 2008.

GUIMARÃES, F. C. N.; SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; ENSINAS, C.; ALTOMAR, P. H. Nutrients optimum range (NOR) based on DRIS method to assess the nutritional status of the first ratoon sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, [s. l.], p. 8, 2015.

HEDLEY, M.; STEWART, J.; CHAUHAN, B. Changes in organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], p. 46, 1982.

HEINRICH, R.; OTTO, R.; MAGALHÃES, A.; MEIRELLES, G. Importance of sugarcane in Brazilian and world bioeconomy. *In*: SPRINGER nature. Switzerland: S. Dabber, 2017.

KORNDÖRFER, G. H.; ALCARDE, J. C. Aplicação de fósforo e rendimento de cana soca e resoca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 183–186, 1992.

KORNDÖRFER, G. H.; FARIA, R. J.; MARTINS, M. Efeito do fósforo na produção da cana-de-ano e cana-soca em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 33, n. 10, p. 1667–1673, 1998.

LANDELL, M. G. A.; PRADO, H. Do; VASCONCELOS, A. C. M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDOIA, M. A. P.; SILVA, M. A.; XAVIER, M. A. Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 60, n. 4, p. 741–745, 2003. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0103-90162003000400020&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 11 out. 2019.

LINQUIST, B. A.; SINGLETON, P. W.; CASSMAN, K. G. Inorganic and organic phosphorus dynamics during a build-up and decline of available phosphorus in an ultisol. **Soil Science**, [s. l.], v. 162, n. 4, p. 254, 1997. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/1997/04000/Inorganic_and_Organic_Phosphorus__Dynamics_During.3.aspx?trendmd-shared=0. Acesso em: 24 set. 2019.

LIRA, M. V. S. **Adubação de plantio e foliar com micronutrientes na produção da cana-de-açúcar**. 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena, 2018.

LISBOA, L. A. M.; HEINRICHS, R.; FIGUEIREDO, P. A. M. Efeitos da fosfatagem nos atributos químicos do solo e produção de cana-de-açúcar para forragem. **Boletim de Indústria Animal**, [s. l.], v. 74, p. 213–220, 2017. Disponível em: <http://www.iz.sp.gov.br/bia/index.php/bia/article/view/556>. Acesso em: 26 fev. 2019.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1998.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 44, n. 12, p. 1575–1582, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2009001200003&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 7 out. 2019.

MAHADEVIAH; KUMAR, M. S. Y.; GALIL, M. S. A.; SURESHA, M. S.; SATHISH, M. A.; NAGENDRAPPA, G. **A Simple Spectrophotometric Determination of Phosphate in Sugarcane Juices, Water and Detergent Samples**. Research article. 2007. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2007/576560/abs/>. Acesso em: 7 out. 2019.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997.

MORAES, M. A. F. D.; OLIVEIRA, F. C. R.; DIAZ-CHAVEZ, R. A. Socio-economic impacts of Brazilian sugarcane industry. **Environmental Development**, [s. l.], v. 16, p. 31–43, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464515000627>. Acesso em: 7 out. 2019.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 36, n. 12, p. 1519–1527, 2001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-204X2001001200009&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 7 out. 2019.

MORELLI, J. L.; NELLI, E. J.; BAPTISTELLA, R. J.; DEMATTE, J. L. I. Termofosfatos na produtividade da cana-de-açúcar e as propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 57–

61, 1991. Disponível em:

<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=354147&biblioteca=va zio&busca=autoria:%22MORELLI,%20J.%22&qFacets=autoria:%22MORELLI,%20J.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 11 out. 2019.

MUMBACH, G. L.; OLIVEIRA, D. A.; WARMLING, M. I.; GATIBONI, L. C.

Quantificação de fósforo por Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Ânions em solos com diferentes teores de argila. **Revista Ceres**, [s. l.], v. 65, n. 6, p. 546–554, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-737X2018000600546&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 12 set. 2019.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, [s. l.], v. 27, p. 31–36, 1962. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267000884445>. Acesso em: 24 set. 2019.

NASCIMENTO, C. A. C. **Frações de fósforo no solo e aproveitamento de fosfatos pela cana-de-açúcar**. 2016. ESALQ-USP, Piracicaba, 2016.

OLIVEIRA, A. S.; CAMPOS, J. M. S.; TEIXEIRA, R. M. A. T.; VALADARES, R. F. D.; PINA, D. dos S.; OLIVEIRA, G. S. Substituição do milho por casca de café ou de soja em dietas para vacas leiteiras: consumo, digestibilidade dos nutrientes, produção e composição do leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 36, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982007000500026&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 7 out. 2019.

OLIVEIRA, C. M. B.; GATIBONI, L. C.; ERNANI, P. R.; BOITT, G.; BRUNETTO, G. Capacidade de predição da disponibilidade de fósforo em solo com aplicação de fosfato solúvel e natural. **Científica**, [s. l.], v. 43, n. 4, p. 413–419, 2015. Disponível em: <http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/668>. Acesso em: 8 out. 2019.

OLSEN, S.; SOMMERS, L. Chemical and microbiological properties. **Soil Science Society of America(Second)**, [s. l.], v. 2, p. 403–430, 1982.

ORNDORFF, S. G.; LANG, T. A.; BHADHA, J. H.; MCCRAY, J. M.; DAROUB, S. H. Sugarcane by-products used as soil amendments on a sandy soil: Effects on sugarcane crop nutrition and yield. **Journal of Plant Nutrition**, [s. l.], v. 41, n. 7, p. 928–942, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2018.1428750>. Acesso em: 26 fev. 2019.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A. [UNESP; ROSOLEM, C. A. [UNESP. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. **Soil & Tillage Research**, [s. l.], p. 149–155, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/5605>. Acesso em: 11 out. 2019.

PELÁ, A.; BENTO, R. U.; CRISPIM, L. B. R.; REIS JR, R. dos A. Enhanced efficiency of phosphorus fertilizer in soybean and maize. **Australian Journal of Crop Science**, [s. l.], v. 13, n. 10, p. 1638–1642, 2019.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 297–305, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832004000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 7 out. 2019.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. [s.l.] : Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, Â. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. [S.l.: s.n.], 1996. p. 88.

REN, F.; HE, R.; ZHOU, X.; GU, Q.; XIA, Z.; LIANG, M.; ZHOU, J.; LIN, B.; ZOU, C. Dynamic changes in fermentation profiles and bacterial community composition during sugarcane top silage fermentation: A preliminary study. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 285, p. 121315, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419305280>. Acesso em: 7 out. 2019.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 576–586, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0103-84782008000200049&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 10 out. 2019.

RIDESA. **Censo varietal 2017**. 2017. Disponível em: <https://www.ridesaufscar.com.br/censo-varietal>. Acesso em: 7 out. 2019.

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

RODRIGUES, M. **Sistemas de manejo e a dinâmica das formas de fósforo e da fertilidade em solos de Cerrado**. 2013. Piracicaba: ESALQ-USP, , 2013.

RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S.; WITHERS, P. J. A.; TELES, A. P. B.; HERRERA, W. F. B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 542, p. 1050–1061, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969715306197>. Acesso em: 3 dez. 2018.

ROTH, A. P. T. P.; SIQUEIRA, G. R.; RABELO, C. H. S.; MORETTI, M. H.; HÄRTER, C. J.; RESENDE, F. D.; REIS, R. A. Effect of days postburning and calcium oxide on the fermentation, aerobic stability and nutritional characteristics of sugarcane silage for finishing Nellore steers. **Grass and Forage Science**, [s. l.], v. 73, n. 3, p. 671–684, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrarywiley->

com.ez87.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1111/gfs.12377. Acesso em: 7 out. 2019.

ROTTA, L. R. **Fracionamento e disponibilidade de fósforo em uma cronossequência de cultivos sob plantio direto**. 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí - GO, 2012.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 15, n. 5, p. 443–449, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000500002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 7 out. 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. ; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. ; ARAUJO FILHO, J. C. ; OLIVEIRA, J. B. ; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. [s.l.] : Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1094003>. Acesso em: 14 ago. 2019.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 1004–1010, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-40422012000500025&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 7 out. 2019.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Nível de suficiência e índice de equivalência entre o fósforo determinado pelos métodos da resina de troca iônica e mehlich-1. **Current Agricultural Science and Technology**, [s. l.], v. 14, n. 2, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/1916>. Acesso em: 24 set. 2019.

SILVA, M. C. ; COSTA, F. R. ; LEANDRO, W. M.; JUNIOR, A. F. L.; BRITO, G. S.; SILVA, L. R. Da. Eficiência de uso de termofosfato de alumínio como fonte de fósforo na produção de feijão, em solo incubado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, [s. l.], v. 9, n. 1, 2015. Disponível em: <http://revista.fmb.edu.br/index.php/fmb/article/view/161>. Acesso em: 7 out. 2019.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C. De; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. dos S.; OLIVEIRA, E. C. A. De; ROCHA, A. T. Da. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 50, n. 1, p. 73–81, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-204X2015000100073&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 23 set. 2019.

SOARES, M. R. S.; JOSÉ, A. R. S.; NUNES, R. T. C.; SILVA, R. A.; CAETANO, A. P. O.; OLIVEIRA, D. S. ; NOLASCO, C. A.; RAMPAZZO, M. C. Períodos de interferência de plantas infestantes na cultura da mandioca, submetida ou não à adubação NPK, em Vitória da Conquista-Ba. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 231–240, 2019. Disponível em:

http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0871-018X2019000100025&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 11 out. 2019.

SOLTANGHEISI, A.; SANTOS, V. R. ; FRANCO, H. C. J.; KOLLN, O.; VITTI, A. C.; DIAS, C. T. S.; HERRERA, W. F. B.; RODRIGUES, M.; SOARES, T. M.; WITHERS, P. J. A.; PAVINATO, P. S.; SOLTANGHEISI, A.; SANTOS, V. R. ; FRANCO, H. C. J.; KOLLN, O.; VITTI, A. C.; DIAS, C. T. S.; HERRERA, W. F. B.; RODRIGUES, M.; SOARES, T. M.; WITHERS, P. J. A.; PAVINATO, P. S. Phosphate sources and filter cake amendment affecting sugarcane yield and soil phosphorus fractions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 43, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832019000100519&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 16 set. 2019.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A.; CAMARGO, F. A. O.; WIETHÖLTER, S. **Manual de Adubação e Calagem**. 10. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2004.

TELES, A. P. B.; RODRIGUES, M.; BEJARANO HERRERA, W. F.; SOLTANGHEISI, A.; SARTOR, L. R.; WITHERS, P. J. A.; PAVINATO, P. S. Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers? **Soil Use and Management**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 34–44, 2017. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/sum.12327>. Acesso em: 3 dez. 2018.

TIESSEN, H.; MOIR, J. Fracionamento de P: characterization of available P by sequential extraction. **Soil Sampling and Methods of Analysis Canadian Society of Soil Science**, [s. l.], p. 75–86, 1993. Disponível em: <https://www.doccity.com/pt/fracionamento-de-p/4718696/>. Acesso em: 24 set. 2019.

TOMAZ, H. V. Q. **Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo na cana-de-açúcar**. 2010. Mestrado em Fitotecnia - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111136/tde-24022010-093150/>. Acesso em: 11 out. 2019.

UNICA. **União da indústria de cana-de-açúcar**. 2019. Disponível em: <http://unicadata.com.br/>. Acesso em: 7 out. 2019.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; DE SÁ, M. E. **Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto**. [s. l.], v. 39, n. 3, p. 7, 2009.

VIÉGAS, R. A.; NOVAIS, R. F.; SCHULTHAIS, F. Availability of a soluble phosphorus source applied to soil samples with different acidity levels. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 1126–1136, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000400012&lng=en&tlng=en. Acesso em: 8 out. 2019.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar**. [s. l.], 2002. p. 16.

WANG, S.; ZANG, N.; DENG, K.; JIANG, C.; DIAGO, Q. Feeding Value Assessment of Sugarcane Tops and Leaves in Mutton Sheep. **Chinese Journal of Animal**

Nutrition, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 1146–1154, 2018. Disponível em: <http://www.chinajan.com/CN/abstract/abstract13466.shtml>. Acesso em: 7 out. 2019.

WEBER, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; BARELA, J. D. Recuperação da produtividade de soqueiras de cana de açúcar com adubação NPK. **Scientia Agraria**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 73–77, 2001. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/980>. Acesso em: 11 out. 2019.

ZAMBROSI, F. C. B. Adubação com fósforo em cana-soca e sua interação com magnésio. **Bragantia**, [s. l.], v. 71, n. 3, p. 400–405, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052012000300013&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 11 out. 2019.

Anexos

Figura 10 – Fertilizantes utilizados no experimento com cana-soca; AS (Sulfato de Amônio); KCl (Cloreto de Potássio); NA (Nitrato de Amônio); P Prot (Fertilizante fosfatado protegido por polímeros) e MAP (Fertilizante fosfatado sem polímeros), Unesp, Dracena – SP, 2018.



Fonte: Própria (2018).

Figura 11 – Amostragem inicial para fins de fertilidade do solo, Ouro Verde – SP, 2018.



Fonte: Própria (2018).

Figura 12 – Adubação de cana-soca com fertilizantes fosfatados com e sem polímeros, Ouro Verde – SP, 2018.



Fonte: Própria (2018).

Figura 13 – Adubação de cana-soca com fertilizantes fosfatados com e sem polímeros, Ouro Verde – SP, 2018.



Fonte: Própria (2018).

Figura 14 – Identificação de fungos, pragas e doenças no experimento com adubos fosfatados com e sem polímeros, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Própria (2019).

Figura 15 – Controle fitossanitário no experimento com adubos fosfatados com e sem polímeros, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Própria (2019).

Figura 16 – Identificação de fungos, pragas e doenças no experimento com adubos fosfatados com e sem polímeros, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Própria (2019).

Figura 17 – Controle fitossanitário no experimento com adubos fosfatados com e sem polímeros, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Própria (2019).

Figura 18 – Colheita da cana-de-açúcar com fertilizantes fosfatados com e sem polímeros, Ouro Verde – SP, 2019.



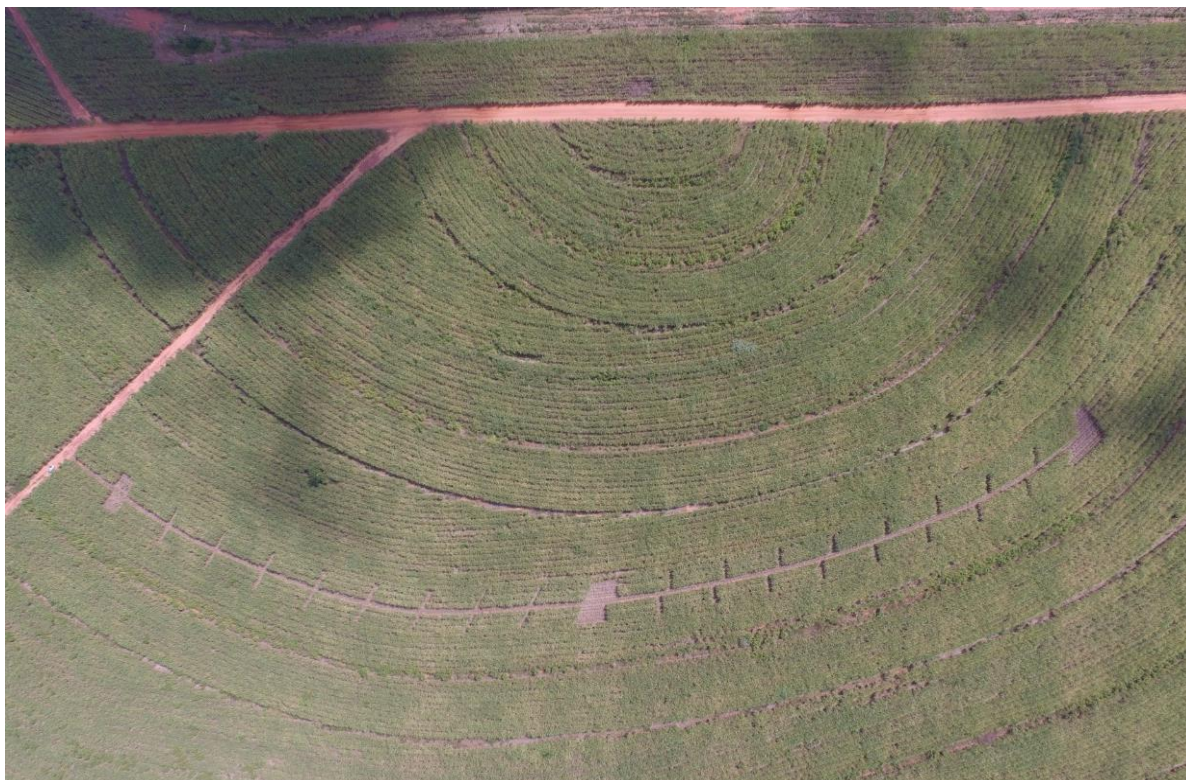
Fonte: Própria (2019).

Figura 19 – Colheita da cana-de-açúcar com fertilizantes fosfatados com e sem polímeros, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Própria (2019).

Figura 20 – Vista aérea do experimento com fertilizantes fosfatados com e sem polímeros, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Própria (2019).

Figura 20 – Vista aérea do experimento com fertilizantes fosfatados com e sem polímeros, Ouro Verde – SP, 2019.



Fonte: Própria (2019).

**APÊNDICE A:
FRACIONAMENTO DO FÓSFORO DO SOLO**

(Hedley et al., 1982 com modificações de Condrón et al., 1985)

SOLUÇÕES EXTRATORAS:

Resina: 1 lâmina de RTA (1,0 x 2,0 cm) carregada conforme o apêndice B

NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹: Pesar 42,00 g de NaHCO₃ para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada. Ajustar o pH a 8,5 com o uso de NaOH ou HCl. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume. **Preparar a solução imediatamente antes do uso.**

NaCl 0,5 mol l⁻¹: Pesar 29,25 g de NaCl para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

NaOH 0,1 mol l⁻¹: Pesar 4,00 g de NaOH para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

HCl 1 mol l⁻¹: Adicionar 84 ml de HCl concentrado em Becker de 1000 ml contendo 700 ml de H₂O destilada Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

NaOH 0,5 mol l⁻¹: Pesar 20,00 g de NaOH para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

PROCEDIMENTO:

- 1) pesar 0,5 gramas de solo para tubo de centrífuga com tampa rosca;
- 2) adicionar 10 ml de água destilada;
- 3) adicionar 1 lamina de RTA preparada segundo apêndice B;**
- 4) agitar por 16 horas no "end-over-end" (rotação de 33 rpm);
- 5) preparar recipiente com tampa, adicionando a ele 10 ml de HCl 0,5 mol L⁻¹
- 6) retirar a RTA do tubo (após 16 horas de agitação) com auxílio de uma pinça;
- 7) lavar o excesso de solo da RTA com H₂O (pisceta);

- 8) **colocar a RTA em recipiente preparado (passo 5);**
- 9) deixar em repouso no HCl por 90 min (com a tampa aberta);
- 10) tampar e agitar por 30 min em agitador horizontal (150 rpm, garantindo movimentação constante com RTA);
- 11) retirar a RTA com auxílio de pinça e recuperá-la conforme Apêndice B;
- 12) determinar Pi no extrato de HCl 0,5 mol l⁻¹ (Apêndice C);
- 13) centrifugar o tubo (solo + água) à 3.000 rpm por 15-20 min e descartar o sobrenadante;
- 14) **adicionar 10 ml de NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹;**
- 15) agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;
- 16) agitar por 16 horas no "end-over-end" (rotação 33 rpm);
- 17) centrifugar à 3000 rpm por 15 - 20 min;
- 18) reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E);
- 19) adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ para lavagem (com cuidado para não mexer o solo);
- 20) centrifugar à 3000 rpm por 5 -10 min e descartar o sobrenadante;
- 21) **adicionar 10 ml de NaOH 0,1 mol l⁻¹;**
- 22) agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;
- 23) agitar por 16 horas no "end-over-end"(rotação 33 rpm);
- 24) centrifugar à 3000 rpm por 15 - 20 min;
- 25) reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E);
- 26) adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ para lavagem (com cuidado para não mexer o solo);
- 27) centrifugar à 3000 rpm por 5 - 10 min e descartar o sobrenadante;
- 28) **adicionar 10 ml de HCl 1,0 mol l⁻¹;**
- 29) agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;
- 30) agitar por 16 horas no "end-over-end"(rotação 33 rpm);
- 31) centrifugar à 3000 rpm por 15 - 20 min;
- 32) reservar o sobrenadante para análise de Pi (**Apêndice C**) e Pt (**Apêndice E**);
- 33) adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ para lavagem (com cuidado para não mexer o solo);
- 34) centrifugar à 3000 rpm por 5 - 10 min e descartar o sobrenadante;
- 35) **adicionar 10 ml de NaOH 0,5 mol l⁻¹;**
- 36) agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;

- 37) agitar por 16 horas no "end-over-end" (rotação 33 rpm);
- 38) centrifugar à 3000 rpm por 15 - 20 min;
- 39) reservar o sobrenadante para análise de Pi (**Apêndice D**) e Pt (**Apêndice E**);
- 40) adicionar 10 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ para lavagem (com cuidado para não mexer o solo);
- 41) centrifugar à 3000 rpm por 5 - 10 min e descartar o sobrenadante;
- 42) secar o solo em estufa à 50°C (aproximadamente 48 horas) e digerir o solo conforme Apêndice F.**

**APÊNDICE B:
SATURAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE RESINAS TROCADORAS DE ÂNIONS**

(adaptado de Gatiboni, 2003)

1) PREPARO DA RTA (adicionadas em recipiente próprio, possibilitando isolamento das laminas em células individuais, conforme a Figura 1)

a) Lavagem com HCl 0,5 mol l⁻¹ (volume suficiente para cobrir recipiente);

- contato com HCl 0,5 mol l⁻¹ por **10** min (agitação constante a 70 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;
- contato com HCl 0,5 mol l⁻¹ por **30** min (agitação constante a 70 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;
- contato com HCl 0,5 mol l⁻¹ por **30** min (agitação constante a 70 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;

b) Lavagem com água destilada (volume suficiente para cobrir recipiente);

- lavar com H₂O destilada em abundância e descartar o líquido;
- contato com H₂O destilada por **30** min (agitação constante a 70 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;
- contato com H₂O destilada por **30** min (agitação constante a 70 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;
- contato com H₂O destilada por **30** min (agitação constante a 70 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;

c) Saturação com NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹ (volume suficiente para cobrir recipiente);

- contato com NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹ por **10** min, (agitação constante a 50 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;
- contato com NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹ por **30** min (agitação constante a 50 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;

- contato com NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ por **120** min (agitação constante a 50 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;

d) Lavagem do excesso de NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ com água destilada (volume suficiente para cobrir recipiente);

- lavar com bastante H_2O destilada e descartar o líquido;

- contato com H_2O destilada por **10** min (agitação constante a 50 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;

- contato com H_2O destilada por **30** min (agitação constante a 50 rpm), lavar 3x antes de descartar o líquido;

2) EXTRAÇÃO DO FÓSFORO DO SOLO

- Passos "1" a "11" do fracionamento de fósforo do solo (Apêndice A).

3) RECUPERAÇÃO DA RTA

- submeter a RTA aos passos **1a** e **1b** do preparo da RTA;

- estocar a RTA em água destilada

Observações:

a) a RTA pode ser recuperada em dia anterior

b) o NaHCO_3 deve ser preparado na hora do uso e o pH deve ser regulado à 8,5 com uso de NaOH ou HCl .

Figura 1. Caixa “box” para acondicionamento de RTA durante o processo de saturação. (A) Box imersa em recipiente com solução para carga de RTA. (B) Vista lateral mostrando furos para livre caminamento da solução. (C) Vista inferior, mostrando fundo vazado, permitindo passagem e escoamento de solução.

**APÊNDICE C:
DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO EM EXTRATOS ÁCIDOS DO SOLO**

(Murphy & Riley, 1962)

SOLUÇÕES:

Solução A: dissolver **15,35** g de **(NH₄)Mo₇O₂₄.4 H₂O** com 200 ml de H₂O destilada em Becker de 500 ml. Dissolver **0,2743** g de **K(SbO)C₄O₆. ½ H₂O** com 100 ml de H₂O destilada em Becker de 200 ml.

Colocar 300 ml de H₂O destilada em Becker de 1000 ml (condicioná-lo em recipiente com gelo) e adicionar lentamente **178** ml de **H₂SO₄** (ácido sulfúrico concentrado). Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml, adicionar as soluções de molibdato de amônio e o tartarato de antimoniato e potássio e ajustar o volume com H₂O destilada.

Solução B: dissolver **1,356** g **C₆H₈O₆** (ácido ascórbico) com 100 ml de **solução A** em balão volumétrico. **Esta solução deve ser preparada no momento do uso.**

NaOH 10 mol l⁻¹: dissolver **400** g de NaOH em 600 ml de H₂O destilada em Becker plástico de 1000 ml (acondicionar em gelo). Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com H₂O destilada. Armazenar em frasco plástico.

p-nitrofenol 0,25% (fazer na capela): pesar 0,25 g de p-nitrofenol e dissolver em 100 ml de H₂O destilada (esquentar por 50 segundos no micro-ondas) em balão volumétrico. Armazenar em geladeira em frasco escuro.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) preparar extrato em copo de café (alíquota do extrato + diluição com H₂O = 3 ml)
- b) adicionar uma gota de p-nitrofenol 0,25%;
- c) neutralizar a solução com NaOH 10 mol l⁻¹;
- d) adicionar 0,5 ml de **solução B**;
- fe) ler a absorvância em 882 nm após 30 minutos.

**APÊNDICE D:
DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO INORGÂNICO EM EXTRATOS ALCALINOS DO
SOLO**

(Dick & Tabatabai, 1977)

SOLUÇÕES:

Solução A: dissolver **8,80** g de **C₆H₈O₆** (ácido ascórbico) e **41,00** g de **ácido tricloroacético** (armazenado em geladeira) com 400 ml de H₂O destilada em Becker de 500 ml. Transferir para balão volumétrico de 500 ml e ajustar o volume com H₂O destilada. **Esta solução deve ser preparada no momento do uso.**

Solução B: dissolver **6,20** g de **(NH₄)Mo₇O₂₄.4 H₂O** com 400 ml de H₂O destilada em Becker de 500 ml. Transferir para balão volumétrico de 500 ml e ajustar o volume com H₂O destilada.

Solução C: dissolver **29,40** g de **citrato de sódio** e **26,00** g de **arsenito de sódio** com 800 ml de H₂O destilada em Becker de 1000 ml. Adicionar **50** ml de **ácido acético glacial (99%)**. Transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com H₂O destilada.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) preparar extrato em copo de café (2 ml alíquota + 2 ml H₂O = 4 ml);
- b) adicionar 5 ml de **solução A** em copo de cafezinho;
- c) adicionar +/- 5 segundos após 1 ml de **solução B**;
- d) adicionar imediatamente 2,5 ml de **solução C**;
- e) completar o volume até 12,5 ml;
- f) ler a absorvância no fotocolorímetro em 700 nm após 15 minutos.

Observações: preparar padrões obedecendo os mesmos procedimentos adotados para as amostras (fundamental obedecer o tempo e a sequência de adição das soluções)

Bicarbonato (total 6,25 ml)

- 2 ml do extrato (1 ml alíquota + 1 ml H₂O = 2 ml);
- 2,5 ml da solução A
- 0,5 ml da solução B
- 1,25 ml da solução C

NaOH 0,1 mol L⁻¹ e NaOH 0,5 mol L⁻¹ = volumes são iguais (12,5 ml)

APÊNDICE E:
DIGESTÃO DOS EXTRATOS ALCALINOS DO SOLO (extraídos com NaOH e NaHCO₃) PARA ANÁLISE DO FÓSFORO TOTAL
(USEPA, 1971)

SOLUÇÕES:

H₂SO₄ 50%: Adicionar, vagarosamente, 500 ml de H₂SO₄ concentrado em 500 ml de H₂O destilada. Esperar esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume com H₂O destilada.

Persulfato de amônio 7,5% (m/v): Dissolver 75 g de persulfato de amônia (Merck) em em 800 ml de H₂O destilada. Transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume com H₂O destilada.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) Pipetar uma alíquota (de 1 ou 2 ml) do extrato alcalino para solo em tubo de digestão;
- b) adicionar 5 ml de persulfato de amônio 7,5%;
- c) adicionar 0,5 ml de H₂SO₄ 50%;
- d) cobrir o tubo com papel alumínio;
- e) colocar os tubos em recipiente maior e cobri-lo com papel alumínio;
- f) autoclavar à 121 °C e 103 kPa por 2 horas;
- g) deixar esfriar e completar o volume à 8 ml com água destilada.
- h) Determinar fósforo conforme **Apêndice C**.

**APÊNDICE F:
DIGESTÃO DO RESÍDUO DO SOLO PARA ANÁLISE DO FÓSFORO RESIDUAL
DO FRACIONAMENTO**

(Adaptado de Brookes & Powlson, 1982)

SOLUÇÕES:

Solução MgCl₂ saturado: adicionar MgCl₂ (Merck) em H₂O destilada até a saturação da solução.

H₂SO₄ concentrado.

H₂O₂ concentrado.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) pesar 0,10 g de solo em tubo de digestão;
- b) adicionar 1 ml de MgCl₂ saturado;
- c) adicionar 1 ml de H₂SO₄ concentrado;
- d) colocar funil de refluxo no tubo de digestão;
- e) aquecer por 1 hora no bloco digestor à 200 °C;
- f) deixar esfriar e adicionar 2 ml de H₂O₂ concentrado;
- g) aquecer por 1 hora no bloco digestor à 100 °C (repetir passos “f” e “g”, CASO a amostra não tenha clarificado);
- h) deixar esfriar e completar o volume à 25 ml para solos arenosos e 50 ml para solos argilosos.
- i) Determinar fósforo conforme **Apêndice C**.

APÊNDICE G:

FÓSFORO ORGÂNICO TOTAL

(Olsen & Sommers, 1982)

SOLUÇÕES:

Solução H₂SO₄ 0,5 mol l⁻¹: Adicionar, vagarosamente, 27,75 ml de H₂SO₄ concentrado em um Becker de 1000 ml contendo 700 ml de água destilada. Após frio, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) pesar 1 g de solo em duplicata: Conjunto A para cadinho de porcelana e o Conjunto B para snap-cap de 100 ml;
 - b) levar o Conjunto A para mufla e ignificar a 550 °C por 2 horas (elevar a temperatura gradualmente);
 - c) transferir o solo ignificado para snap-cap de 100 ml e adicionar 50 ml de H_2SO_4 0,5 mol l⁻¹;
 - d) adicionar 50 ml de H_2SO_4 0,5 mol l⁻¹ ao Conjunto B;
 - e) agitar os conjuntos A e B por 2 horas em agitador horizontal;
 - f) centrifugar o sobrenadante a 3000 rpm por 10 minutos;
 - g) Determinar fósforo conforme **Apêndice C**.
- Obs: Fósforo orgânico total = P ignificado – P não ignificado

**APÊNDICE H:
DIGESTÃO DO SOLO PARA QUANTIFICAÇÃO DO FÓSFORO TOTAL**

(Modificado de Olsen & Sommers, 1982)

SOLUÇÕES:

Solução MgCl₂ saturado (Merck): adicionar MgCl₂ em H₂O destilada até a saturação da solução.

H₂SO₄ concentrado.

H₂O₂ concentrado.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) pesar 0,05 g de solo para tubo de digestão;
- b) adicionar 1 ml de MgCl₂ saturado;
- c) adicionar 4,0 ml de H₂SO₄ concentrado;
- d) aquecer por 1:30 horas no bloco digestor à 200 °C;
- e) deixar esfriar e adicionar 3 ml de H₂O₂ concentrado;
- f) aquecer por 1 hora no bloco digestor à 100 °C (repetir passos “f” e “g”, CASO a amostra não tenha clarificado);
- g) deixar esfriar e transferir para balão de 100 ml e completar o volume
- h) Determinar fósforo conforme **Apêndice C**.