

CIRO POZZI GARCIA

**EFEITOS DO PREPARO PROFUNDO DO SOLO E DA CALAGEM NA
COMPACTAÇÃO DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Botucatu

2018

CIRO POZZI GARCIA

**EFEITOS DO PREPARO PROFUNDO DO SOLO E DA CALAGEM NA
COMPACTAÇÃO DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Juliano Carlos Calonego

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C216e Garcia, Ciro Pozzi, 1987-
Efeitos do preparo profundo do solo e da calagem na compactação do solo e na produtividade da cana-de-açúcar / Ciro Pozzi Garcia. - Botucatu: [s.n.], 2018
96 p.: il., color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Juliano Carlos Calonego
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Cultivo. 2. Solos - Manejo. 3. Solos - Compactação. 4. Produtividade agrícola. I. Calonego, Juliano Carlos. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III Título.

Elaborada por Maria Lúcia Martins Frederico - CRB-8:5255

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

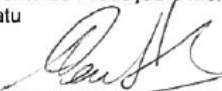
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITOS DO PREPARO PROFUNDO DO SOLO E DA CALAGEM NA COMPACTAÇÃO DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: CIRO POZZI GARCIA

ORIENTADOR: JULIANO CARLOS CALONEGO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO
Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP - Câmpus de Botucatu


Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP


Dra. GABRIELA FERRAZ DE SIQUEIRA
Pós-doutoranda - Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 12 de janeiro de 2018

*Aos meus pais,
Mariângela e Carlos,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus queridos pais pelo apoio incondicional.

À minha futura esposa Ana Cláudia Mesquita, pelo companheirismo e compreensão no decorrer dessa jornada.

Ao Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego, pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de professor.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pela confiança e pela oportunidade de participação no Projeto Temático relacionado à cana-de-açúcar.

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, por disponibilizar o laboratório para a avaliação dos dados coletados.

Ao Prof. Dr. Kleber Pereira Lanças por disponibilizar o laboratório para análise do solo e em especial ao técnico de laboratório Maury Torres da Silva.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura, pela formação de excelência.

Ao Grupo Zillor e às Agrícolas Tecnocana e Três Lagoas, pela parceria no desenvolvimento do estudo.

Aos funcionários do departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, pelo apoio no desenvolvimento do estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de mestrado.

Aos colegas de pós-graduação, em especial a Gabriela, Jorge, Murilo, Tiara, Erilene, Ana, pela parceria de trabalho nas árduas horas debaixo do sol.

“Querer ser bem sucedido sem trabalhar duro é como querer colher sem plantar.”

(David Bly)

RESUMO

O crescimento do setor sucroalcooleiro, aliado à busca por melhores rendimentos, tem propiciado o desenvolvimento de máquinas para todas as operações, desde o plantio até a colheita, aumentando assim o número de passadas dos mesmos na área de cultivo, especialmente durante a operação de colheita com transbordos e colhedoras, causando um acréscimo das forças aplicadas no solo e consequente compactação deste. Este impedimento físico, resultado do adensamento das partículas do solo, promove problemas para o estabelecimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, como por exemplo, o impedimento radicular, a redução da capacidade de armazenamento e infiltração da água e menor aeração. A longevidade do canavial está intimamente relacionada com a qualidade da soqueira, a qual, durante os anos, acaba sofrendo um desgaste natural e que é agravado pela qualidade do solo, onde a compactação influi diretamente em sua vida útil, afinal a reforma do canavial é uma operação altamente onerosa para o sistema, assim busca-se técnicas de preparos de solo as quais concedem a soqueira uma sobrevida. Os plantios em faixas ou canteiros (cultivo mínimo), bem como o tráfego controlado, vêm sendo adotado por parte do setor por apresentar redução da compactação na soqueira e consequente aumento de produtividade e longevidade da mesma. Outro desafio encontrado pela mudança no ambiente produtivo é a necessidade da dose de calcário para o desenvolvimento pleno da cultura. Este estudo teve como objetivo qualificar e quantificar a influência do preparo profundo e da calagem na cana-de-açúcar em solos com texturas diferentes (arenoso e argiloso). O delineamento experimental foi de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, onde as parcelas foram constituídas por três sistemas de preparo do solo, Preparo Convencional (PC) – padrão/controle, Preparo Profundo (PP), Preparo Profundo Modificado (PPM) (incorporação de calcário em profundidade) e as subparcelas por quatro doses de calcário (zero, uma, duas e três vezes a dose recomendada por Spironello e colaboradores - 1996, baseado nas amostras de solo das camadas de 0 - 20 e 20 - 40 cm). Foram avaliados os atributos físicos, o sistema radicular da cana-de-açúcar, parâmetros biométricos e produtividade de colmos e açúcar após a colheita. Os valores de resistência a penetração encontrados nas zonas de tráfegos foram limitantes ao desenvolvimento radicular, porém nos preparos profundos na zona de canteiro o

valor não foi limitante, havendo maior homogeneidade da distribuição espacial das raízes pelo perfil de solo, de modo que a mesma cresceu em direção ao canteiro paralelo, abaixo da camada compactada. A dose duas vezes a recomendada de calcário ocasionou a cana-de-açúcar, os maiores valores biométricos e produtivos às demais doses, independente do preparo de solo, contudo o PPM, que teve a incorporação de calcário em subsuperfície, apresentou resposta positiva quando a dose foi superestimada em três vezes a recomendada.

Palavras-chave: Sistema de manejo do solo. Cultivo Mínimo. Física de solo. Canteiro. Tráfego controlado. Sistema radicular. Produtividade.

ABSTRACT

The growth of the sugar and alcohol industry, coupled with the search for better yields, has led to the development of machines for all operations, from planting to harvesting, thus increasing the number of plant passes in the growing area, especially during the harvesting operation with load transshipment and harvesters, causing an increase of the applied forces in the soil and consequent compaction of this one. This physical impediment, as a result of the soil particles, causes problems for the establishment and development of sugarcane, such as root obstruction, reduction of water storage and infiltration capacity and less aeration. The longevity of cane fields is closely related to the quality of the ratoon, which, over the years, has suffered a natural wear and tear that is aggravated by soil quality, where compaction directly influences its useful life. a highly costly operation for the system, thus seeking techniques of soil preparation which give the rake a survival. The plantations in strips or beds (minimum cultivation), as well as controlled traffic, have been adopted by the sector due to the reduction of compaction in the ridge and consequent increase of productivity and longevity of the same. Another challenge encountered by the change in the productive environment is the need of the dose of limestone for the full development of the crop. This study aimed to characterize and quantify the influence of deep soils and liming on sugarcane in soils with different textures (sandy and clayey). The experimental design was a randomized complete block design, with four replications, where the plots consisted of three systems of soil preparation, standard preparation / control, deep preparation (PP), modified soil preparation (PPM) (limestone incorporation in depth) and the subplots by four limestone doses (zero, one, two and three times the dose recommended by Spironello et al., 1996, based on soil samples from the 0-20 and 20 40 cm). The physical attributes, the sugarcane root system, the biometric parameters, and yield of stalks and sugar after harvest were evaluated. The values of resistance to penetration found in the areas of traffic were limiting to the root development, but in the deep preparation in the zone of the bed, the value was not limiting, having greater homogeneity of the spatial distribution of the roots by the soil profile, so that it grew towards the parallel bed, below the compacted layer. The twice-recommended dose of limestone resulted in sugarcane, the highest biometric and productive values at the other doses, regardless of the soil preparation, but the PPM, which had the incorporation of limestone in subsurface,

presented a positive response when dose was overestimated by three times the recommended dose.

Key words: Soil management system. Minimal Cultivation. Soil Physics. Construction site. Controlled traffic. Root system. Productivity.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização da área experimental. Território Sul-Americano; Estado de São Paulo; Cidade de Macatuba..... 37
- Figura 2 - Localização da área experimental. Território Sul-Americano; Estado de São Paulo; Cidade de Borebi38
- Figura 3 - Representação da quantidade de chuva (mm) e temperatura média do local do experimento, em Macatuba-SP, correspondente ao período de janeiro de 2015 a junho de 201739
- Figura 4 - Representação da quantidade de chuva (mm) e temperatura média do local do experimento, em Borebi-SP, correspondente ao período de janeiro de 2015 a junho de 2017.....39
- Figura 5 - Umedecimento das amostras de solo em bandeja (a). Amostra de solo compactada é retirada do extrator(b)45
- Figura 6 - Retirada o solo da parte superior e inferior da amostra cilíndrica (a). Amostras colocadas em estufas a 105oC por 48h (b)45
- Figura 7 - Pesagem do solo dentro do Balão Volumétrico para posterior adição de álcool anidro46
- Figura 8 - Penta Hidro 3, conjuga cinco funções operacionais em uma única máquina 48
- Figura 9 - Grade utilizada no preparo de solo da área com profundidade operacional de 35 cm (a). Subsolador de três hastes com profundidade operacional de 55 cm (b)49
- Figura 10 - Aplicação de calcário em área total (a); Implemento Penta acoplado no trator (b)49
- Figura 11 - Processo de canteirização formado pelo Penta (a). Aplicação de calcário em faixa (canteiro) (b)50
- Figura 12 - GPS utilizado para controlar o tráfego na área (a). Tratos operando com piloto automático por meio de gps (b)50
- Figura 13 - Sulcação da área para receber as mudas (a). Depósito das mudas para serem posicionadas e posteriormente cobertas (b)51
- Figura 14 - Operação de tratamento de soqueira em conjunto com o cobrimento..52
- Figura 15 - Espaçamento da cana-de-açúcar nos experimentos53
- Figura 16 - Transcepto de coleta para análise de resistência a penetração pelo método de Stolf, onde os pontos de coleta estão numerados do 1 ao 9, distanciados em 15 cm55
- Figura 17 - Sacos de amostras congelados foram colocados em bacia com água afim de acelerar o derretimento (a). Lavagem das raízes em peneira 1mm com jato dirigido (b)58
- Figura 18 - Coleta das raízes de dentro da vasilha com água com auxílio de uma pinça (a). Raízes acondicionadas dentro do recipiente plástico para posteriormente ir ao freezer (b)59
- Figura 19 - Primeira avaliação de resistência do solo à penetração (MPa),

	Macatuba-SP, em função dos sistemas de preparo (PC = preparo convencional; PPM = preparo profundo modificado), em Nitossolo Vermelho, no município de Macatuba-SP. * e NS = significativo ou não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F	62
Figura 20 -	Segunda avaliação de resistência do solo à penetração (MPa), Macatuba-SP, em função dos sistemas de preparo (PC = preparo convencional; PPM = preparo profundo modificado), em Nitossolo Vermelho, no município de Macatuba-SP. * e NS = significativo ou não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F	64
Figura 21 -	Primeira avaliação de resistência do solo à penetração (MPa), Macatuba-SP, em função dos sistemas de preparo (PC = preparo convencional; PPM = preparo profundo modificado), em Latossolo Vermelho Amarelo, no município de Borebi-SP. * e NS = significativo ou não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F	69
Figura 22 -	Segunda avaliação de resistência do solo à penetração (MPa), Macatuba-SP, em função dos sistemas de preparo (PC = preparo convencional; PPM = preparo profundo modificado), em Latossolo Vermelho Amarelo, no município de Borebi-SP. * e NS = significativo ou não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F	71
Figura 23 -	Curva de compactação do solo em função do teor de água (Ensaio de Proctor Normal) para camada de 0 – 20 cm de profundidade, em Latossolo Vermelho Amarelo, Borebi, SP	72
Figura 24 -	Curva de compactação do solo em função do teor de água (Ensaio de Proctor Normal) para camada de 20 – 40 cm de profundidade, em Latossolo Vermelho Amarelo, Borebi, SP	73
Figura 25 -	Representação da distribuição radicular no perfil do solo, nas regiões de canteiro e tráfego, sob os diferentes preparos de solo e com e sem a presença de calcário	77
Figura 26 -	Distribuição latitudinal (até 100 cm) da massa radicular da cana-de-açúcar sob os preparos convencional e profundo do solo	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Atributos químicos do solo antes da implantação dos experimentos em um Nitossolo Vermelho (NV), Macatuba, SP	40
Tabela 2 –	Atributos químicos do solo antes da implantação dos experimentos em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Borebi, SP	41
Tabela 3 –	Caracterização da textura do solo antes da implantação do Experimento I em um Nitossolo Vermelho, Macatuba, SP	42
Tabela 4 –	Caracterização da textura do solo antes da implantação do Experimento 1 em um Latossolo Vermelho Amarelo, Borebi, SP	42
Tabela 5 –	Densidade do solo, Porosidade total, macro e microporosidade antes da instalação do experimento em um Nitossolo Vermelho (NV), Macatuba, SP	43
Tabela 6 –	Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade antes da instalação do experimento em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Borebi, SP	43
Tabela 7 –	Comprimento e diâmetro de colmos de cana-de-açúcar em função de diferentes preparos de solo e doses de calcário em um Nitossolo Vermelho (NV), Macatuba, SP	65
Tabela 8 –	Produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) de cana-de-açúcar em função de diferentes preparos de solo e doses de calcário em um Nitossolo Vermelho (NV), Macatuba, SP	66
Tabela 9 –	Densidade relativa do solo em amostras coletadas na zona de tráfego e no canteiro, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, em função dos sistemas de preparo do solo (PPM = preparo mínimo modificado e PC = preparo convencional)	74
Tabela 10 –	Comprimento radicular (cm/cm ³) da cana-de-açúcar em amostras coletadas na zona de tráfego e no canteiro, nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, em função dos sistemas de preparo do solo (PPM = preparo mínimo modificado, PC = preparo convencional e PP = preparo profundo), na presença ou ausência de calcário	76

Tabela 11 –	Massa seca de raízes (kg ha ⁻¹) da cana-de-açúcar em amostras coletadas na zona de tráfego e no canteiro, nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, em função dos sistemas de preparo do solo (PPM = preparo mínimo modificado, PC = preparo convencional e PP = preparo profundo), na presença ou ausência de calcário.....	79
Tabela 12 –	Diâmetro médio das raízes (mm) da cana-de-açúcar em amostras coletadas na zona de tráfego e no canteiro, nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, em função dos sistemas de preparo do solo (PPM = preparo mínimo modificado, PC = preparo convencional e PP = preparo profundo), na presença ou ausência de calcário	80
Tabela 13 –	Comprimento e diâmetro de colmos de cana-de-açúcar em função de diferentes preparos de solo e doses de calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Borebi, SP	81
Tabela 14 –	Produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) de cana-de-açúcar em função de diferentes preparos de solo e doses de calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Borebi, SP.....	82

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	21
2.	REVISÃO DA LITERATURA	24
2.1.	Cana-de-açúcar e seu panorama nacional	24
2.2.	Manejos do solo utilizados no cultivo de cana-de-açúcar e suas consequências na compactação e propriedades físicas do solo	25
2.3.	Sistemas de preparo do solo	26
2.4.	Propriedades físicas do solo sob os diferentes manejos	28
2.5.	Calagem em cana-de-açúcar	31
2.6.	Efeitos da acidez na cana-de-açúcar	31
3.	MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1.	Caracterização das áreas experimentais	36
3.1.1.	Experimento I	36
3.1.2.	Experimento II	37
3.1.3.	Clima e precipitação	38
3.1.4.	Química do solo	40
3.1.5.	Física do solo	41
3.1.5.1.	Textura	41
3.1.5.2.	Porosidade e densidade	42
3.1.5.3.	Ensaio de compactação normal (Proctor)	44
3.2.	Instalação, condução e delineamento experimental	47
3.3.	Avaliações	54
3.3.1.	Resistência à penetração do solo	54
3.3.2.	Parâmetros biométricos e produtividade	55
3.3.3.	Avaliações adicionais (Experimento II)	56
3.3.3.1.	Densidade Relativa do Solo (DRS)	56
3.3.3.2.	Raízes da cana-de-açúcar	57
3.4.	Análise estatística	60
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1.	Experimento I	61
4.1.1.	Resistência à penetração	61
4.1.2.	Parâmetros biométricos	65
4.1.3.	Produtividade	66
4.2.	Experimento II	67
4.2.1.	Resistência à penetração	67
4.2.2.	Ensaio de Proctor	72

4.2.3.	Densidade relativa do solo (DRS)	73
4.2.4.	Raízes	75
4.2.4.1.	Comprimento radicular	75
4.2.4.2.	Massa radicular	76
4.2.4.3.	Diâmetro médio radicular	79
4.2.5.	Parâmetros biométricos	80
4.2.6.	Produtividade	81
5.	CONCLUSÃO	83
	REFERÊNCIAS	84

1. INTRODUÇÃO

Em meio à crise econômica a qual o país vem enfrentando nos últimos anos, o agronegócio tem proporcionado benefícios, ocasionando uma exportação de US\$ 84,9 bilhões em 2016 (BRASIL, 2017a). Outro indicador da crise econômica é o número de desempregados no país. Embora o setor do agronegócio tenha sofrido um déficit de 0,84% em relação ao desemprego, ainda assim, este foi o setor que teve menor desaceleração em comparação aos demais segmentos pesquisados pelo governo, os quais obtiveram valores entre -0,97% e -13,48%, nos setores da administração pública e da construção civil, respectivamente (BRASIL, 2017b).

O setor sucroalcooleiro tem grande importância nacional, representando uma participação de 13,36% do PIB agrícola com um montante de US\$ 11,3 bilhões, com uma produção de 651 milhões de toneladas na safra 2016/2017 (BRASIL, 2017a). Em relação ao total da área cultivada com cana-de-açúcar, 93% está na região Centro-Sul e 57% no estado de São Paulo, o qual apresenta produtividade média de 84 Mg ha⁻¹ (UNICA, 2016). Observa-se, no entanto, que a produtividade se encontra muito abaixo do potencial produtivo desta cultura, que pode chegar a 200 Mg ha⁻¹ (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008), o que indica que novas práticas devem ser adotadas a fim de aumentar a produtividade e a rentabilidade desta atividade.

Um dos fatores a serem readequados são as operações de preparo do solo, que têm como objetivo criar condições ideais para o desenvolvimento das raízes e, por conseguinte, uma maior resistência à seca, bem como maior produtividade. Em cana-de-açúcar, este manejo inicial influencia diretamente na qualidade da soqueira, proporcionando alta produtividade ao longo das socas, além do aumento da vida útil do canavial e sua viabilidade econômica, visto que o maior custo agrícola está relacionado à reforma do canavial (BENEDINI, 2008).

O preparo de solo na cultura da cana-de-açúcar costuma seguir técnicas convencionais, de modo que há maior revolvimento deste, com maior desagregação de suas partículas e, em consequência, maior aeração e respiração microbiana, fazendo com que o carbono que estava armazenado no solo volte para a atmosfera, sendo necessária a utilização de técnicas conservacionistas a fim de mitigar tal processo (PANOSSO, 2011; SOUZA, 2017).

A acidez do solo é um dos fatores limitantes à produtividade das culturas (FAGERIA, 2001). Assim, a utilização da técnica de calagem visa elevar o pH do solo, neutralizando o Al^{3+} tóxico e adicionando-se Ca^{2+} e Mg^{2+} , com vistas a proporcionar condições favoráveis ao crescimento do sistema radicular e absorção de água (aumento da resistência aos períodos de seca), o que proporciona maior disponibilidade dos nutrientes às plantas e, conseqüentemente, aumento de sua produtividade (ROSSETTO et al., 2004; ZANDONA et al., 2015), além de melhorar a qualidade da soqueira. A calagem é realizada durante a implantação do canavial, porém a dosagem utilizada é baseada nas camadas superficiais (até 40 cm), desconsiderando as camadas inferiores, mesmo que a cultura possua raízes que ultrapassem 100 cm de profundidade.

A compactação, outro fator importante relacionado ao solo, é responsável por perdas de produtividade e baixo desenvolvimento radicular. A compactação das soqueiras é de extrema importância em épocas de estresse hídrico, pois é nesse período que a planta apresenta maior necessidade de água e, no entanto, as raízes não são capazes de supri-la em razão da compactação (ROQUE, 2010). Em agrossistemas canavieiros, a compactação tem sido atribuída principalmente à colheita mecanizada em condições de elevadas quantidades de água no solo (PANKHURST et al., 2003), o que contribui para a redução da porosidade total e consecutivo aumento na densidade do solo. Esta compactação está compreendida principalmente entre as camadas de 20 a 40 cm de profundidade (CARVALHO et al., 2011). A compactação do solo compromete a sustentabilidade do sistema, modifica a estrutura do solo e afeta a produtividade e longevidade dos canaviais (DIAS JÚNIOR; PIERCE 1996, SILVA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2003).

Para romper a camada compactada tem se utilizado máquinas de preparo profundo de solo, como por exemplo, o Penta, as quais realizam a operação em faixas promovendo uma canteirização para posterior plantio nessas linhas. Aliado às operações mecanizadas, utiliza-se o *Global Positioning System* (GPS) nos equipamentos agrícolas, o que permite a realização da esquematização do local a fim de minimizar as perdas por manobras, além de evitar o pisoteio da soqueira pelo maquinário pesado, aumentando a longevidade da mesma. Essa tecnologia é uma alternativa atual para o problema de compactação do solo em canaviais, visto que a preservação das regiões não trafegadas promove melhorias nas propriedades

físicas do solo, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular (OLIVEIRA, 2009).

Diante das questões apresentadas, faz-se necessário a quantificação da dose ótima de calcário nos diferentes sistemas de preparo de solo para a obtenção de maior produtividade, visto que o sistema de produção da cultura foi-se alterando com o passar dos anos com o fim da queima e o aumento da mecanização nas áreas de cultivo. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar as características físicas do solo sob diferentes sistemas de preparo, comparando o modelo convencional e o conservacionista, com vistas a identificar em qual sistema e sob qual dosagem de calcário a cana-de-açúcar apresentará melhores rendimentos produtivos e qualitativos de acordo com a física do solo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Cana-de-açúcar e seu panorama nacional

Com a crise do petróleo em meados da década de 70, o Brasil percebeu como necessidade a modificação de sua via energética impulsionando o desenvolvimento tecnológico e expansivo da cultura da cana-de-açúcar, o qual foi favorecido também pelo desenvolvimento dos carros flex e pela melhora do valor do açúcar para exportação (ARAÚJO; SANTOS, 2013). A cultura da cana-de-açúcar também apresenta relevante papel social e ambiental para o país, caracterizando-se como a segunda cultura mais importante para o agronegócio brasileiro quanto ao valor bruto (VITTI; MAZZA, 2002; FREITAS, 2016).

Diversos países têm analisado a possibilidade de implantar programas de biocombustíveis em sua matriz energética devido à necessidade de redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa (Protocolo de Kyoto). Uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética dos diversos países, tornando-a menos dependente do petróleo, está relacionada à utilização do etanol a partir de cana-de-açúcar.

A área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2016/17 foi de aproximadamente 9049,2 mil hectares, distribuídas em todos os estados brasileiros produtores. São Paulo permanece como o maior produtor com 52,74% (4.773,2 mil hectares) da área plantada, seguido por Goiás com 10,64% (962,6 mil hectares), Minas Gerais com 9,3% (841,7 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 6,84% (619,0 mil hectares), Paraná com 6,82% (617,7 mil hectares), Alagoas com 3,56% (322,2 mil hectares) e Pernambuco com 2,69% (243,7 mil hectares). Estes sete estados são responsáveis por 92,61% da produção nacional de cana-de-açúcar (BRASIL, 2017a).

De acordo com estimativa da Companhia Nacional de Abastecimento (BRASIL, 2017a), a safra de 2017/2018 apresentará uma redução da área cultivada em todo o Brasil em 2,3% em relação à safra anterior. Quanto à produtividade da cultura, haverá um incremento de 0,9% na produtividade também em relação à safra anterior, atingindo 73,273kg/há devido à recuperação das lavouras da região Norte-Nordeste. Entretanto, a produção total de cana-de-açúcar moída na safra 2017/18 está estimada em 647,6 milhões de toneladas, 1,5% a menos que na safra de

2016/2017; mesmo diante das melhorias climáticas houve redução da área plantada na região Centro-Sul, visto que em São Paulo o volume será de 17,7 milhões de toneladas a menos (BRASIL, 2017a). Assim, observa-se que a produtividade se encontra muito abaixo do potencial produtivo desta cultura (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008), a qual pode chegar a 200 Mg ha⁻¹, indicando que novas práticas devem ser adotadas a fim de aumentar tal produtividade e a rentabilidade da atividade econômica de exploração dessa cultura.

A produção de açúcar da safra 2016/2017 foi de 303.215,5 mil toneladas em todo o país, com expectativa de haver um incremento de 1% na safra subsequente. Quanto à produção de etanol, a mesma atingiu o patamar de 353.968,5 mil litros com expectativa de aumento na casa de 3,5% para 2017/2018. O complexo sucroalcooleiro foi o terceiro maior item exportado pelo agronegócio brasileiro em 2016, de modo que as vendas somaram US\$ 11,34 bilhões, levando a um crescimento de 32,9% em relação ao ano de 2015 (BRASIL, 2017a).

Em dezembro de 2016 o Governo Federal por intermédio do Ministério de Minas e Energia, lançou o programa RenovaBio, cujo objetivo é expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, baseada na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e social, sendo assim um incentivo a mais para a produção de cana-de-açúcar, bem como do etanol (BRASIL, 2016).

2.2. Manejos do solo utilizados no cultivo de cana-de-açúcar e suas consequências na compactação e propriedades físicas do solo

A cultura da cana-de-açúcar tem apresentado baixa produtividade em virtude da contínua utilização de métodos convencionais de manejo do solo (MORGADO; VIEIRA, 1999). Atualmente, a colheita mecanizada tem influenciado este aspecto, principalmente quanto à compactação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997; PANKHURST et al., 2003; DEXTER, 2004) em condições inadequadas de umidade para a operação (SEVERIANO et. al, 2010). Desta forma, busca-se melhorar os métodos de manejo do solo com o intuito de se obter aumento na produtividade e minimizar sua degradação (MARQUES; BERTONI, 1961).

Em busca do equilíbrio do ecossistema, tornando-o economicamente viável, necessita-se minimizar impactos estruturais no solo, os quais aceleram a degradação de matéria orgânica, liberam dióxido de carbono (CO₂), prejudicam a

capacidade de armazenamento de água pelo solo e a exploração dos nutrientes deste pelas plantas, dificultando assim o estabelecimento das culturas (BEZDICEK; PAPENDICK; LAL, 1996; KLUTHCOUSKI; STONE, 2003; MOREIRA, 2004; RODRIGUES et al., 2007; AN; DARBOUX; CHENG, 2013).

O papel fundamental das operações de preparo do solo é criar condições ideais para o desenvolvimento das raízes e, por conseguinte, gerar maiores produções. Na cultura da cana-de-açúcar, este manejo inicial pode influenciar profundamente a produção ao longo dos cortes consecutivos, quando as operações de preparo não são conduzidas com tecnologia adequada para cada tipo de solo (FREITAS, 1987).

O preparo do solo não se limita somente às operações que afetam diretamente a sua estrutura física, mas também envolve aquelas ligadas aos fatores que determinam o pH e o ambiente. Estes fatores, em níveis adequados para a cultura, contribuem para a absorção eficiente de nutrientes (FREITAS, 1987) e para facilitar a infiltração da água, contribuindo para o controle da erosão (ORLANDO FILHO; ZAMBELLO, 1983), que é a maior causa da degradação das terras agrícolas e provoca a poluição dos recursos hídricos.

A compactação, a desestruturação do solo e a redução nos teores de matéria orgânica são considerados os principais indutores da degradação dos solos agrícolas. Tal degradação, com todas as suas implicações e consequências negativas, tem resultado no desafio de viabilizar sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental (KLUTHCOUSKI et al., 2000). Na cultura da cana de açúcar, o conjunto trator-transbordo é um dos grandes responsáveis pela compactação dos canais (SOUZA, 2012).

2.3. Sistemas de preparo do solo

Existem três formas de preparo do solo para a implantação e/ou reforma do canal: plantio convencional, que se inicia com as operações de aração e gradagem, e quando o solo apresenta camada compactada, faz-se o rompimento por meio de subsolagem; cultivo mínimo, no qual se realiza apenas uma gradagem leve para remover a soqueira remanescente, seguida da operação de sulcação e adubação e; plantio direto, que utiliza apenas a operação de aplicação do herbicida para evitar o desenvolvimento do canal a ser reformado, sendo a operação de

sulcação efetuada diretamente nas entrelinhas das plantas existentes no local (SEGATO; MATTIUZ; MOZAMBANI, 2006).

O sistema de manejo convencional se destaca como um sistema que, além de pulverizar a superfície dos solos, deixando-os mais susceptíveis ao processo de erosão, propicia a formação de impedimentos logo abaixo das camadas de solo movimentadas pelos implementos (BAUDER; RANDAL; SWAN, 1981; TAVARES FILHO et al., 1999).

A compactação causa uma redução no volume de poros, aumentando a densidade do solo. As causas das alterações na densidade podem ser naturais, difíceis de serem definidas e avaliadas, agindo lentamente no solo, como, por exemplo, a eluviação de argilas e também, por meio das forças mecânicas originadas da pressão causada pelas rodas das máquinas agrícolas e pela própria ação de implementos sobre o solo (BELTRAME; TAYLOR, 1980). O tráfego excessivo, feito indiscriminadamente sobre diferentes condições de umidade do solo, é o principal responsável pela compactação (KLEIN; LIBARDI, 2002; SEVERIANO et al., 2010), o que leva a um efeito cumulativo. Portanto, após vários anos de manejo numa determinada área, poderá surgir uma camada compactada que afetará a dinâmica da água e dos nutrientes (HAKANSSON et al., 1988), pois há interferência nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes (ALVARENGA et al., 1997), além de aumentar a obstrução ao desenvolvimento radicular e provocar uma má aeração do solo (TORMENA et al., 1998; GROHMANN; QUEIROZ NETO, 1966). Essas modificações na estrutura do solo poderão ser diferentes de acordo com o tipo de preparo efetuado. Embora o manejo do solo interfira diretamente na densidade, ele também é influenciado por atributos do solo, como mineralogia, textura e conteúdo de matéria orgânica (BERNOUX et al., 1998; SILVA et al., 2010).

Ao se revolver o solo ocorre alteração da agregação, dispersando as argilas, as quais retêm a maior parte dos nutrientes necessários às plantas, o que facilita o seu arraste pela ação da chuva e do vento, causando a erosão (WÜRSCHÉ; DENARDIN, 1980). Com a inversão das leivas, enterra-se a cobertura vegetal de modo que a superfície do solo fica exposta aos agentes da erosão e, também, à maior evaporação da água armazenada no solo (WÜRSCHÉ; DENARDIN, 1980). Deve-se lembrar que a erosão pode aumentar com o uso excessivo de equipamentos de preparo do solo, sendo que esse incremento será maior se o solo

permanecer descoberto no período de maior intensidade de chuva (BENATTI JÚNIOR et al., 1983). O cultivo do solo, por métodos de aração e outros métodos de preparo, incrementa a mineralização do Carbono Orgânico do Solo (COS) e as emissões de CO₂ (REICOSKY et al., 1999).

O cultivo mínimo consiste no revolvimento mínimo do solo e na manutenção dos resíduos vegetais, realizando-se escarificações e gradagens leves (ALCÂNTARA; MADEIRA, 2008). Dentre as vantagens de se implantar o cultivo mínimo, pode-se citar a redução da erosão, a minimização da degradação do solo e a melhora da produtividade das culturas (AMARAL SOBRINHO; MAZUR, 2005).

Uma das alternativas para mitigar a degradação do solo é a utilização do Sistema de Plantio Direto (SPD). Este sistema, apesar de nos primeiros anos da cultura apresentar produções inferiores quando comparado ao sistema convencional, tem o potencial de aumentar a produção ao longo do tempo, tornando-a superior a do plantio convencional; contudo, há necessidade da realização de mais estudos relacionados ao SPD na cultura da cana-de-açúcar (SANTOS et. al, 2015). Nesta cultura, este método é de difícil aplicação por ser semi-perene, de modo que o preparo do solo ocorre somente a cada cinco anos ou mais. Ainda, após a implantação da intensa mecanização (colheita, adubação, aplicação de herbicidas), que ocorre durante todo o ano e em todos os anos, o solo tem se tornado compactado, sem condições para a indicação do plantio direto pleno, sem mobilização ou cultivo do solo.

2.4. Propriedades físicas do solo sob os diferentes manejos

A magnitude da perda de CO₂ dos solos está diretamente relacionada à frequência e à intensidade do grau de perturbação do solo causada pelos implementos de preparo. Embora os efeitos do preparo no solo sobre as emissões de CO₂ sejam variáveis e complexos (LAUREN; DUXBURY, 1993), os sistemas mais conservativos ou que menos mobilizam o solo são considerados como uma alternativa às práticas agrícolas para reduzir as emissões de CO₂ para a atmosfera (KERN; JOHNSON, 1993; REICOSKY; LINDSTROM, 1993).

Assim, faz-se necessário a otimização do tráfego das máquinas agrícolas para minimizar as perdas diretas, relacionadas ao combustível fóssil, hora da máquina e do trabalhador, e as indiretas, relacionadas à depreciação dos

equipamentos, por exemplo, as quais viriam mediante a perda de produtividade por compactação e problemas ambientais devido às emissões de CO₂. Diante desse contexto, muitas empresas têm adotado o sistema de tráfego controlado, separando o espaço destinado ao crescimento da cultura daquele da zona de tráfego (BRAUNACK et al., 1993; KINGWELL; FUCHSBICHLER, 2011; ROQUE et al., 2010).

As zonas de tráfego podem permanecer no mesmo lugar por um ciclo da cultura ou serem mantidas ao longo de vários ciclos, como é comumente feito na cultura da cana-de-açúcar. Há ainda a necessidade de se validar uma gestão de controle de tráfego adaptado às condições de crescimento dos canaviais brasileiros, sendo consideradas as peculiaridades deste sistema de produção (SOUZA et al., 2016).

A adoção do controle de tráfego permite melhorias na estrutura física do solo e redução no consumo de combustível, pois uma maior área de solo não será compactada e apresentará menor resistência à ruptura do solo na passagem de implementos de mobilização, bem como melhoria no potencial de tração do solo (relação pneu-solo), o que aumenta o rendimento da tração consequente do tráfego do maquinário em solo mais firme (linhas de tráfego) (ROQUE et al., 2010). Há relatos do aumento da produtividade de colmos e de açúcar da ordem de 18 e 20%, em canavial sob tráfego controlado (SOUZA, 2012).

Outra opção que tem sido desenvolvida é a “canteirização” do canavial. Neste caso, o cultivo mínimo é acompanhado do preparo do solo em canteiros, ou seja, o cultivo ocorre em faixas. Essa técnica consiste em preparar, corrigir e adubar o terreno somente sobre as linhas onde serão implantados os canaviais, mantendo as entrelinhas sem reforma, como um local para o tráfego de máquinas, com vistas a impedir a compactação causada pela pressão exercida pelos rodados das colhedoras na linha da cana, dos veículos de transbordo e até mesmo pela presença dos trabalhadores de campo (MARASCA; LANÇAS; SILVA, 2014).

O sistema de preparo profundo em faixas consiste em preparar, corrigir e adubar o terreno somente na área onde serão confeccionados os sulcos de plantio da cana-de-açúcar, mantendo o restante da área sem mobilização do solo, local onde ocorrerá o tráfego de máquinas (ROSSETTO, 2011). Neste sistema de preparo do solo, tem-se utilizado equipamentos compostos por uma haste subsoladora de 0,80 m de comprimento e por uma enxada rotativa, que trabalha a 0,40 m de

profundidade e faz o preparo do solo e a incorporação de palha e de outros produtos. Adicionalmente, é possível a incorporação de produtos em filetes nas profundidades de 0,40 e 0,80 m, por meio de orifício na parte posterior da haste sulcadora (MAFES, 2017).

Por ser um manejo inovador, há questionamentos se o sistema de preparo profundo do solo em faixas poderia causar impactos negativos sobre o ecossistema de produção de cana-de-açúcar. Tais impactos referem-se ao estímulo à mineralização da matéria orgânica, ao aumento na lixiviação de nitrato, à redução do estoque de carbono do solo, à fixação da planta no solo e ao aumento das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), afetando o balanço do carbono no sistema solo-planta-atmosfera. Estes podem ser alguns dos resultados do revolvimento excessivo e profundo do solo, notadamente nas áreas de cana planta (BAYER et al., 2000; LICHT; AL-KAISI, 2005).

Apesar do maior revolvimento do solo que ocorre nas faixas de preparo, este sistema tem como atenuante as zonas definidas para o tráfego de máquinas, áreas estas em que o solo não é mobilizado e, assim, é provável que ocorra considerável redução na emissão de gases de efeito estufa em relação à mesma unidade de área preparada pelo sistema convencional de revolvimento de solo (IAMAGUTI et al., 2015; SOUZA, 2017).

A redução de zonas compactadas, principalmente, pelo sistema de preparo profundo do solo em faixas, poderá favorecer o aprofundamento radicular e, portanto, em períodos com menor precipitação pluvial, ou mesmo em condições de veranicos, a planta poderá manter a absorção de água, a condutância estomática, a taxa de assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, a taxa fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 2004), por maiores períodos em relação ao sistema de preparo convencional. Nestas condições a produção de fitomassa aérea e radicular tenderá a ser maior em relação ao sistema de preparo convencional, aumentando os teores de Matéria Orgânica do Solo (MOS) e a atividade microbiana, fatores que auxiliam a agregação do solo (GRIÈVE; DAVIDSON; BRUNEAU, 2005). Aliado a isso, aumento na produtividade por área pode significar aumento de eficiência da produção de etanol, ou seja, é possível aumentar a produção de biocombustível por unidade de massa de equivalente carbono emitido.

Saber quantificar as propriedades do solo auxilia na formação de bases sustentáveis para a produtividade, já que, conhecer essas propriedades é essencial

para a tomada de decisões para o preparo e manejo adequado do solo (GOES et al., 2005). Porém, a interação existente entre o preparo do solo e as condições de acidez deste pode ser o fator de sucesso de cada modo de preparo, visto que, embora o sistema de preparo do solo propicie menor resistência à penetração das raízes, estas não se desenvolvem adequadamente em subsuperfície, pois existem restrições químicas ao seu desenvolvimento.

2.5. Calagem em cana-de-açúcar

A calagem é uma prática com efeitos benéficos conhecidos na agricultura e que visa principalmente corrigir a acidez, neutralizar os efeitos tóxicos de elementos como o alumínio (ORLANDO FILHO; SILVA; MANOEL, 1990; PRADO; FERNANDES, 2001), fornecer Ca e Mg e aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes (SOTERO; SILVA, 1979; MARINHO; ALBUQUERQUE, 1983; 1984), além de contribuir para a melhoria da estrutura do solo e da vida microbiana. A velocidade de solubilização dos corretivos nos solos, com a conseqüente disponibilização de Ca e Mg para as plantas, bem como a neutralização dos constituintes ácidos, depende, além de sua granulometria, do modo de aplicação e da localização do corretivo no solo (GONZALES ERICO et al., 1979; RITCHEY et al., 1985), da dose aplicada, do teor de matéria orgânica e do nível de acidez do solo (poder tampão do solo).

2.6. Efeitos da acidez na cana-de-açúcar

Solos de vastas regiões do mundo são ácidos, com valores de pH <5,5 (VON UEXKÜLL; MUTERT, 1995). No Brasil, aproximadamente 70% do território é composto de solos ácidos, capazes de reduzir o potencial produtivo das culturas em cerca de 40%, principalmente devido às suas elevadas concentrações de Al^{3+} solúvel (QUAGGIO, 2000). Estes solos também são caracterizados por baixa saturação de base, baixo teor de P, e uma predominância de argila 1:1. Além disso, os óxidos de ferro e óxidos de alumínio estão presentes em níveis variáveis que são dependentes do pH (OLMOS; CAMARGO, 1976).

Ainda, o problema é acentuado pelo próprio cultivo em razão da absorção de cátions pelas plantas que liberam quantidades equivalentes do íon H^+ , mecanismo

utilizado pela célula para manter seu equilíbrio eletrostático. Apesar de não ser o único responsável pela acidez do solo, os íons H^+ exercem influência direta na solubilidade dos nutrientes. A remoção dos cátions trocáveis dos colóides do solo exige que cargas negativas ou positivas sejam preenchidas por outros íons de mesmo sinal para satisfazer o equilíbrio de cargas entre a fase sólida e os íons trocáveis. A toxicidade do Al também ocorre em solos com reação ácida, interferindo nas funções biológicas das plantas (MALAVOLTA, 1984).

A acidificação dos solos ocorre devido a lixiviação de cátions básicos solúveis (Ca, Mg e K) e/ou devido a remoção pelas colheitas, e posterior substituição por cátions ácidos (H e Al) no complexo de troca catiônica (ZIGLIO et al., 1999). De acordo com a série liotrópica, os íons H^+ tem preferência na adsorção aos colóides do solo em razão de sua ligação covalente, seguido pelo íon Al^{+3} em razão da presença de três cargas (trivalente) os quais são mais fortemente atraídos para as proximidades das partículas com cargas negativas, em detrimento do Ca, Mg e K. Com isso, o Al permanece no solo e os demais cátions tendem a ser lixiviados (BOHNEN, 2000). Assim, ocorre diminuição no valor de pH do solo e elevação da saturação por Al (RAIJ, 1991).

Um dos aspectos conhecidos para uma ótima produção de cana-de-açúcar é a adequada nutrição da cultura. Sabe-se que, para que ocorra a máxima eficiência dos fertilizantes, torna-se necessária a correção da acidez do solo. A cana-de-açúcar desenvolve-se bem em vários tipos de solos e clima, porém, sua produtividade está relacionada à fertilidade e ao equilíbrio nutricional do solo (SOLERA, 1988). O sistema radicular é onde ocorre a captação de água e nutrientes pelo vegetal e está intimamente correlacionado ao desenvolvimento da parte aérea da planta (de interesse comercial), sendo sensível à acidez do solo. É da camada superficial do solo que a planta retira a maior parte dos nutrientes, contudo o aprofundamento do sistema radicular é de suma importância para o acesso à água pelo vegetal, que assim resistirá a períodos de estresse hídrico, afinal a capacidade da camada superficial do solo é limitada quanto ao fornecimento de água durante períodos de seca (BLACK, 1993).

A decomposição do material vegetal na superfície do solo acelera a acidificação na camada superficial, formando um gradiente de pH a partir da superfície, processo chamado de frente de acidificação (HELYAR, 1991). Assim, devido à maior acidificação formada na camada superficial e a baixa mobilidade do

calcário, a neutralização da acidez subsuperficial se faz necessária. Para estender o efeito da calagem em profundidade, algumas práticas podem ser utilizadas, como a incorporação mecanizada (MEDA et al., 2002). Em SPD, onde não há a possibilidade de incorporação do corretivo, o sistema radicular fica limitado às camadas superficiais, sujeito a períodos de estiagens (FERREIRA et al., 1987).

A ação corretiva do calcário pode estar restrita apenas à camada superficial do solo (AYRES, 1962; RODRIGUES; PALHARES, 1986). Uma das limitações dos solos na região tropical úmida se refere à baixa fertilidade em profundidade e isto se reflete no menor volume explorado pelo sistema radicular e, em consequência, na menor produtividade (DEMATTÊ, 2005). O baixo teor de Ca e a presença de Al são os principais impedimentos químicos para o crescimento radicular, principalmente no subsolo (RITCHEY et al., 1980; PAVAN et al., 1982; QUAGGIO, 2000). Com isso, a incorporação de calcário em profundidade tem por finalidade proporcionar uma melhor condição química nas camadas mais profundas, contribuindo para um sistema radicular mais desenvolvido e, conseqüentemente, para o aumento da produtividade, principalmente em áreas onde há ocorrência de deficiência hídrica. O sistema radicular bem desenvolvido também poderia evitar o arranquio da touceira na colheita mecânica. A baixa saturação das bases em profundidade bloqueia o desenvolvimento do sistema radicular (MORELLI et al., 1987).

Em períodos secos o solo perde umidade a partir da superfície, as camadas superficiais tornam-se mais resistentes à penetração de raízes e estas paralisam seu crescimento, absorção de água e nutrientes, enquanto as camadas mais profundas ainda armazenam água; porém, esta só será absorvida pelas raízes desde que não haja impedimentos físicos e químicos, em especial a disponibilidade de Ca, pois é essencial para a divisão celular e para a funcionalidade da membrana celular (ANGHINONI; MEURER, 1999).

Em valores de pH baixo, muitas vezes a inibição ao alongamento radicular deve-se a formas monoméricas de Al. Por outro lado, o Ca protege as raízes do estresse causado pelo pH baixo. O fato do Ca^{+2} ser imóvel no floema e não ser translocado das partes aéreas para as partes mais novas das raízes em desenvolvimento faz com que o Ca requerido para o crescimento de raízes deva ser absorvido da solução externa nas zonas apicais. Mesmo quando uma quantidade adequada de calcário é misturada, mas apenas no solo superficial, as raízes são severamente restringidas em sua capacidade de penetrar em subsolos ácidos

(MARSCHENER, 2002). Com as plantas de cana-de-açúcar não é diferente, principalmente sem irrigação, limitando a tolerância da cultura aos períodos de déficit hídrico, condição esta que pode reduzir a taxa de assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, a taxa fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 2004), com reflexo negativo na produtividade de colmos e açúcar.

A calagem também pode elevar a atividade microbiana (EKENLER; TABATABAI, 2003; MIJANGOS et al., 2010), promovendo em curto prazo a decomposição mais acelerada da MOS (YAO et al., 2010) e em longo prazo a maior disponibilidade de Ca²⁺ na solução do solo, podendo também proporcionar a associação entre a argila e os húmus, o que se justifica pela alta correlação obtida entre Carbono Orgânico Total (COT) e os teores de Ca²⁺ (BRIEDIS et al., 2012). Na dinâmica da MOS os efeitos indiretos da calagem podem estar relacionados à maior produção de fitomassa por área, em decorrência das melhorias nas condições edáficas, principalmente, em razão da neutralização do Al³⁺ (RIDLEY et al., 1990; HATI et al., 2008).

A presença de pontes de cátions entre as argilas silicatadas e os radicais orgânicos é um mecanismo comum de estabilização da MOS, destacando-se o Ca como um dos cátions de grande importância no estabelecimento dessas pontes (MUNEER; OADES, 1989). Estes autores enfatizam que a calagem faz com que o Ca²⁺ seja o cátion predominante no complexo sortivo, atuando na estabilização física da MOS (PAUL; CLARK, 1996), permitindo maior flocculação das partículas do solo, melhora da agregação e aumento da condensação das moléculas orgânicas em decorrência do contrabalanceamento de cargas negativas em grupamentos funcionais da MOS.

O Ca²⁺ participa de pontes metálicas entre a MOS e os minerais das frações mais finas do solo, configurando uma proteção química dos compostos orgânicos, dificultando a sua decomposição.

A correção da acidez também pode ter efeito indireto sobre as propriedades do solo, à medida que favorecem a produção de fitomassa aérea e radicular das culturas, aumentam os teores MOS e a atividade microbiana, fatores estes que auxiliam na agregação do solo (GRIÈVE et al., 2005; CORRÊA et al., 2009).

É de suma importância um perfil de solo que apresente condições para o crescimento radicular da cana-de-açúcar, visto que em estudo realizado previamente, o Ca do horizonte B (0,30-1,50 m) apresentou-se como a variável que

mais se correlacionou com a produtividade agrícola da cana-de-açúcar em seis locais do estado de São Paulo (DIAS et al., 1999).

Aliado a isso, Raij (2008) analisou diversos resultados de experimentos com calcário em cana-de-açúcar e aponta que as práticas da calagem são altamente econômicas para esta cultura, de modo que quando bem aplicadas, podem aumentar a longevidade em pelo menos mais um corte de cana. Conclui ainda, que as recomendações oficiais para calagem dadas por Spironello (1996), consideradas como recomendações oficiais para o Estado de São Paulo, estão subestimadas.

Além dos questionamentos quanto a doses adequadas de calcário, existe a necessidade de se avaliar os efeitos da aplicação de calcário concentrado na faixa de preparo com enxada rotativa e haste subsoladora em áreas de reforma que serão conduzidas sem a queima da palha da cana-de-açúcar.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos com os mesmos tratamentos e delineamento experimental, sendo um em solo de textura argilosa (Experimento I) e outro em solos de textura arenosa (Experimento II), o qual contemplou maior número de parâmetros analisados.

As atividades desenvolvidas no Experimento I foram as seguintes:

1. Definição das áreas experimentais;
2. Coleta e análise de solo para caracterização do experimento;
3. Instalação do experimento;
4. Primeira avaliação de resistência à penetração de solo;
5. Avaliação biométrica;
6. Colheita;
7. Avaliação de produtividade;
8. Segunda avaliação de resistência à penetração de solo.

As atividades desenvolvidas no Experimento II foram as seguintes:

1. Definição das áreas experimentais;
2. Coleta e análise de solo para caracterização do experimento;
3. Instalação do experimento;
4. Primeira avaliação de resistência à penetração de solo;
5. Coleta de solo para ensaio de Proctor;
6. Avaliação biométrica;
7. Colheita;
8. Coleta de raízes;
9. Avaliação de produtividade;
10. Segunda avaliação de resistência à penetração de solo.

3.1. Caracterização das áreas experimentais

3.1.1. Experimento I

O trabalho foi realizado em parceria com a Agrícola Três Lagoas, a qual cedeu a área localizada no município de Macatuba – SP. O experimento foi iniciado

em 11 de abril de 2015, em um Nitossolo Vermelho de textura argilosa, com ambiente de produção classificado como A e tendo sua localização geográfica a 22° 29' 20" Sul e 48° 47' 06" Oeste (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área experimental. Território Sul-Americano; Estado de São Paulo; Cidade de Macatuba



Fonte: Google Mapas

3.1.2. Experimento II

O trabalho foi realizado em parceria com a Agrícola Tecnocana, a qual cedeu a área localizada no município de Borebi – SP para a realização do estudo. O experimento foi iniciado em agosto de 2015, localizado em um solo de textura arenosa, com ambiente de produção classificado como E, com localização geográfica a 22° 33' 15" Sul e 48° 53' 23" Oeste (Figura 2).

Figura 2 - Localização da área experimental. Território Sul-Americano; Estado de São Paulo; Cidade de Borebi



Fonte: Google Mapas

3.1.3. Clima e precipitação

O clima nas áreas dos experimentos, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com uma estação seca, que vai de abril a agosto. A estação chuvosa compreende os meses de setembro a março, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso (CUNHA et al., 1999). Tem-se a representação dos dados termopluiométricos na área do Experimento I (Figura 3) e no Experimento II (Figura 4).

Figura 3 – Representação da quantidade de chuva (mm) e temperatura média do local do experimento, em Macatuba-SP, correspondente ao período de janeiro de 2015 a junho de 2017

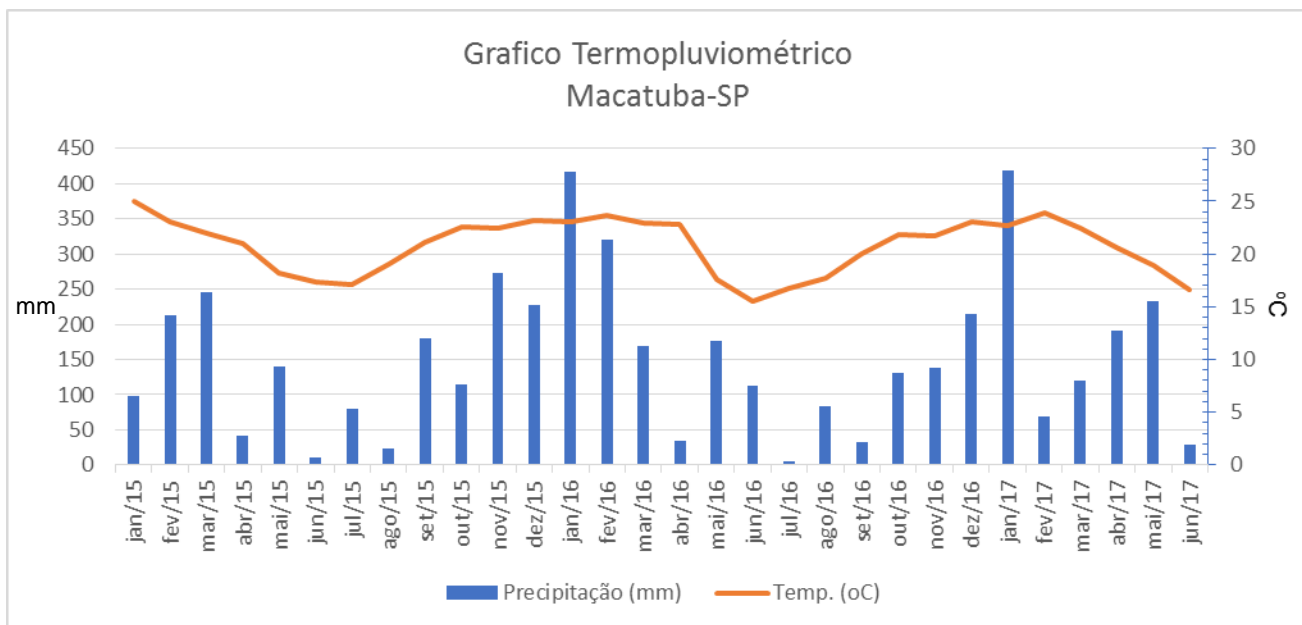
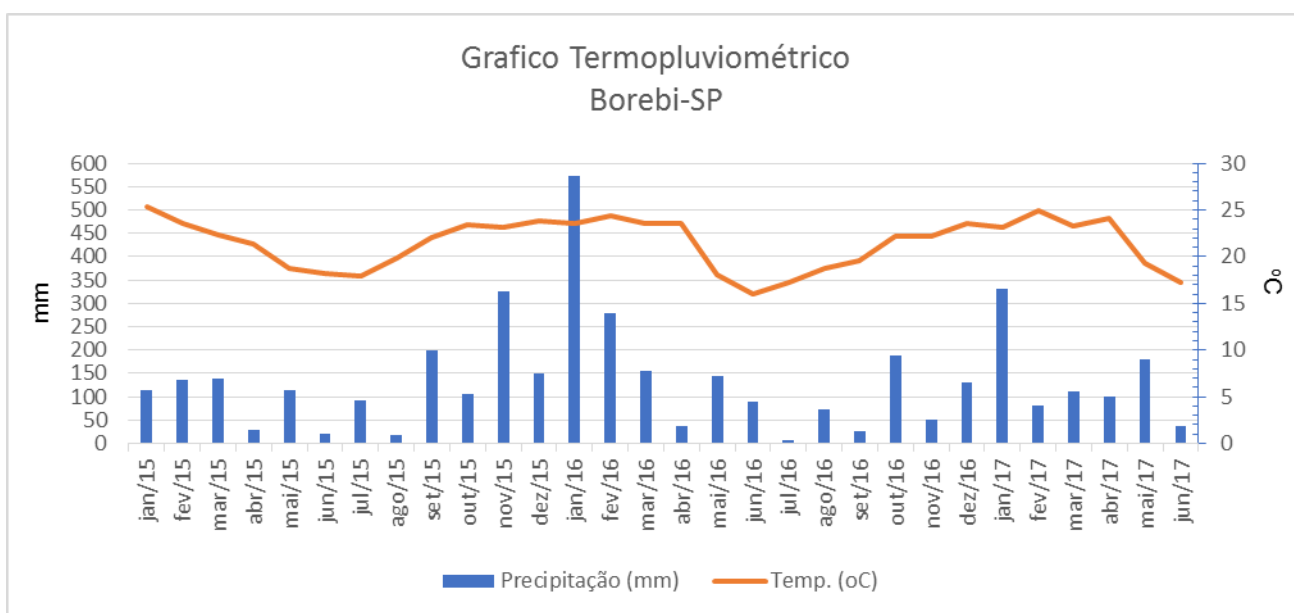


Figura 4 - Representação da quantidade de chuva (mm) e temperatura média do local do experimento, em Borebi-SP, correspondente ao período de janeiro de 2015 a junho de 2017



3.1.4. Química do solo

Para a caracterização inicial, foram retiradas, com trado tipo holandês, doze amostras representativas em cada área experimental, nas camadas de 0 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80 e 80 - 100 cm, a fim de se representar os atributos químicos do solo.

Na Tabela 1 constam os resultados da caracterização inicial dos atributos químicos do solo antes da implantação dos tratamentos para o Experimento I.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo antes da implantação dos experimentos em um Nitossolo Vermelho (NV), Macatuba, SP

Camada m	pH CaCl ₂	M.O.	P _{resina}	S	Al ³⁺	H + Al	K	Ca	Mg
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----					
0,0-0,2	4,4	23	12	21	5	52	2,0	19	9
0,2-0,4	4,0	15	7	47	10	59	0,8	10	5
0,4-0,6	4,0	12	4	36	13	59	0,3	6	3
0,6-0,8	3,9	10	3	50	11	66	0,2	7	3
0,8-1,0	4,0	10	4	45	13	59	0,7	6	2
Camada, m	SB	CTC	V%	m%	Fe	Cu	Mg	Zn	B
	---mmol _c dm ⁻³ ---				-----mg dm ⁻³ -----				
0,0-0,2	31	82	37	14	23	3,0	9,7	1,1	0,20
0,2-0,4	16	75	21	38	15	3,3	4,3	0,5	0,18
0,4-0,6	10	69	14	57	8	2,2	3,0	0,1	0,12
0,6-0,8	10	76	13	52	7	1,8	1,2	0,1	0,06
0,8-1,0	9	68	13	59	7	1,8	2,0	0,1	0,08

Na Tabela 2 constam os resultados da caracterização inicial dos atributos químicos do solo antes da implantação dos tratamentos para o Experimento II.

Tabela 2 - Atributos químicos do solo antes da implantação dos experimentos em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Borebi, SP

Camada m	pH CaCl ₂	M.O.	P _{resina}	S	Al ³⁺	H + Al	K	Ca	Mg
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmolc dm ⁻³ -----					
0,0-0,2	4,5	11	7	7	2	22	0,8	13	2
0,2-0,4	4,3	7	3	15	3	18	0,5	9	2
0,4-0,6	4,0	6	2	51	6	19	0,4	5	1
0,6-0,8	4,1	5	2	73	5	19	0,9	4	2
0,8-1,0	4,2	5	4	72	4	18	0,6	5	2

Camada, m	SB	CTC	V%	m%	Fe	Cu	Mg	Zn	B
	---mmolc dm ⁻³ ---				-----mg dm ⁻³ -----				
0,0-0,2	16	38	42	10	41	1,3	1,6	2,2	0,13
0,2-0,4	11	29	38	20	28	1,3	0,6	0,8	0,14
0,4-0,6	6	25	24	50	16	1,0	0,2	0,3	0,10
0,6-0,8	7	26	27	41	11	0,8	0,2	0,2	0,10
0,8-1,0	8	25	31	33	9	0,6	0,3	0,1	0,10

3.1.5. Física do solo

3.1.5.1. Textura

Antes da instalação dos tratamentos, em março e maio do ano de 2015, foram retiradas 12 amostras representativas (uma amostra composta por quatro subamostras em cada tratamento) nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, onde com auxílio de um trado tipo holandês, foram retiradas oito amostras representativas em cada área experimental, a fim de se representar os atributos físicos.

O Experimento I (Tabela 3) foi classificado segundo sua textura sendo Nitossolo Vermelho, com solo de textura argilosa e o Experimento II (Tabela 4) foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com solo de textura arenosa.

Tabela 3 - Caracterização da textura do solo antes da implantação do Experimento I em um Nitossolo Vermelho, Macatuba, SP

Camada	Areia	Argila	Silte
cm	g dm⁻³		
0 - 20	488	358	154
20 - 40	410	449	140
40 - 60	398	486	116
60 - 80	407	469	124
80 - 100	412	442	146

*Classificação de acordo com EMBRAPA (2013).

Tabela 4 - Caracterização da textura do solo antes da implantação do Experimento 1 em um Latossolo Vermelho Amarelo, Borebi, SP

Camada	Areia	Argila	Silte
cm	g dm⁻³		
0 - 20	855	125	20
20 - 40	836	145	19
40 - 60	822	157	22
60 - 80	796	180	24
80 - 100	788	191	22

*Classificação de acordo com EMBRAPA (2013).

3.1.5.2. Porosidade e densidade

A fim de caracterização, avaliou-se a densidade do solo e a porosidade nos Experimentos I (Tabela 5) e II (Tabela 6), sendo retiradas amostras indeformadas coletadas com anéis volumétricos de 0,05 m de altura e 0,048 m de diâmetro. Foi utilizada a mesa de tensão para determinação de micro e macroporosidade e a densidade aparente do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Tabela 5 - Densidade do solo, Porosidade total, macro e microporosidade antes da instalação do experimento em um Nitossolo Vermelho (NV), Macatuba, SP

	Profundidades (cm)	Densidade do solo (g cm ⁻³)	Porosidade		
			Total	Macro	Micro
			----- (cm ³ cm ⁻³) -----		
Canteiro	0-20	1,83	0,41	0,02	0,40
	20-40	1,70	0,44	0,03	0,42
	40-60	1,55	0,47	0,05	0,42
	60-80	1,42	0,47	0,06	0,41
Tráfego	0-20	1,91	0,43	0,04	0,40
	20-40	1,74	0,44	0,03	0,40
	40-60	1,62	0,48	0,05	0,42
	60-80	1,51	0,48	0,07	0,41

Tabela 6 - Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade antes da instalação do experimento em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Borebi, SP

	Profundidades (cm)	Densidade do solo (g cm ⁻³)	Porosidade		
			Total	Macro	Micro
			----- (cm ³ cm ⁻³) -----		
Canteiro	0-20	1,82	0,38	0,14	0,11
	20-40	0,97	0,46	0,18	0,19
	40-60	1,74	0,36	0,13	0,17
	60-80	0,90	0,40	0,16	0,20
Tráfego	0-20	1,83	0,25	0,19	0,19
	20-40	1,65	0,37	0,23	0,23
	40-60	1,73	0,30	0,17	0,19
	60-80	1,62	0,36	0,22	0,19

No Experimento II além das avaliações realizadas no Experimento I, foram coletadas amostras de solo para determinação da densidade relativa pelo método de Proctor e para determinação da quantidade de raízes. Foram selecionados seis tratamentos dos quais foram retiradas amostras de solo, com auxílio do trado tipo caneca, nas profundidades 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm com quatro repetições, totalizando 240 amostras.

3.1.5.3. Ensaio de compactação normal (Proctor)

Como avaliação adicional do Experimento II, foi utilizado o ensaio de laboratório Proctor Normal conforme NBR 7182 (ABNT, 1986). Plotando os valores do teor de água *versus* densidade do solo obtém-se a curva de compactação da qual são obtidas a umidade crítica de compactação e a densidade do solo máxima correspondente.

Para realização do ensaio de compactação normal, foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40 cm (sendo a quantidade total de solo por amostras próximo a 8kg), as quais foram colocadas em bandejas plásticas e deixadas na sombra para a secagem até adquirirem a umidade ambiente. Após este processo, as amostras foram peneiradas (malha 4,76 mm) até ficar com aproximadamente 4kg de solo por amostra. Para homogeneização o solo foi colocado novamente em bandejas, umedecido (Figura 5a) e posteriormente colocado em um cilindro (até a metade). O solo foi compactado com 25 golpes (pelo soquete de proctor de 2,5kg) distribuídos homogeneamente. O processo foi repetido mais 2 vezes afim de preencher o cilindro com solo até sua totalidade. O peso do solo foi mensurado em conjunto com o cilindro e assim levado para o extrator de amostras para retirar o solo por completo (Figura 5b). Descartou-se então a parte superior e inferior do cilindro de solo (Figura 6a), retirando da parte central duas amostras de solo as quais foram colocadas em cadinhos, pesadas e colocadas em estufa (Figura 6b) a 105 °C por 48h e posterior pesagem. O processo foi realizado por mais quatro vezes, buscando resultados acima e abaixo da umidade ótima.

Figura 5 – Umedecimento das amostras de solo em bandeja (a). Amostra de solo compactada é retirada do extrator(b)



Figura 6 – Retirada o solo da parte superior e inferior da amostra cilíndrica (a). Amostras colocadas em estufas a 105°C por 48h (b)



A Densidade de Partículas (DP), que é utilizada para calcular o Índice de Vazios ($IV=DP/DS$), foi determinada a partir da terra fina seca ao ar das amostras coletadas pelo método do Balão Volumétrico com álcool anidro (Figura 7) (STENGEL, 1983).

Figura 7 – Pesagem do solo dentro do Balão Volumétrico para posterior adição de álcool anidro



Assim é possível obter o valor do grau de saturação das amostras com base no resultado da DP , onde:

$$GS = \frac{DA \cdot DP \cdot TA}{(GS \cdot DP) + 100} \quad (1)$$

Onde GS é o grau de saturação, DA é a densidade da água, DP é a densidade de partículas e GS é 100% e TA é o teor de água.

Em consequência, obtêm-se o IV :

$$IV = \frac{DP}{DS} - 1 \quad (2)$$

Onde IV é o índice de vazios, DP é a densidade das partículas e DS é a densidade do solo.

3.2. Instalação, condução e delineamento experimental

Foram instalados dois experimentos em áreas comerciais de cultivo de cana-de-açúcar. Antes da reforma dos canaviais, para a caracterização inicial e instalação dos tratamentos, retirou-se três amostras aleatórias representativas de cada área experimental, em cada uma das camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, totalizando 12 amostras, a fim de se caracterizar os atributos químicos e físicos do solo em cada área de estudo. Posteriormente, baseado nos resultados da análise do solo, foram calculadas as doses de calcário utilizando as recomendações propostas por Spironello e colaboradores (1996), conforme a equação:

$$NC = \frac{CTC \times (V_2 - V_1)}{10 \times PRNT} \quad (3)$$

Onde NC é a necessidade de calagem, em $Mg \text{ ha}^{-1}$, V_2 é a saturação de bases a atingir (60% para a cana-de-açúcar); V_1 é a saturação de bases atual, CTC é a capacidade de troca de cátions, expressa em $mmol_c \text{ dm}^{-3}$ e $PRNT$ é o poder relativo de neutralização total do calcário a ser utilizado.

Para o cálculo da quantidade de calcário a ser aplicada foi considerado o somatório das quantidades recomendadas para as camadas 0 - 20 e 20 - 40 cm.

Para dessecação das plantas daninhas e da rebrota da cana-de-açúcar foi realizada a aplicação de glifosato na dose de 5 l ha^{-1} do produto comercial. Em seguida foram aplicados 1000 kg ha^{-1} de gesso, os quais foram incorporados por meio de preparo convencional do solo, sendo utilizada a passagem de 2x gradagens pesadas, uma subsolagem e finalizada pela grade niveladora.

Para ambos os experimentos, o delineamento experimental ocorreu em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três sistemas de preparo do solo: Preparo Convencional (PC) – padrão/controle, Preparo Profundo (PP), Preparo Profundo Modificado (PPM). As subparcelas foram constituídas por quatro doses de calcário (0, 1, 2 e 3 vezes a dose recomendada).

A realização da operação de preparo profundo, tanto no PP como no PPM, utilizou-se o implemento Penta (Figura 8), que é constituído por componentes que possibilitaram a realização de cinco operações ou funções ao mesmo tempo, possuindo uma haste subsoladora, um mecanismo aplicador de corretivos, um

mecanismo para aplicação de adubo com opção de variação da profundidade de aplicação (0,40 e 0,80 m), uma enxada rotativa para destorroamento do solo e um sistema para realização da canteirização (formação de canteiros em faixas).

Figura 8 – Penta Hidro 3, conjuga cinco funções operacionais em uma única máquina



Fonte: Adaptado de Mafes.

A caracterização do sistema se deu da seguinte maneira: PC - preparo com grade (35 cm de profundidade) (Figura 9a), subsolagem (55 cm de profundidade) (Figura 9b) e grade de ação superficial para nivelamento, com aplicação de calcário em área total antes da primeira operação de revolvimento do solo (Figura 10a); PP - preparo com o Penta e aplicação de calcário em área total (Figura 10b); PPM - preparo com o Penta e aplicação de calcário apenas na faixa de preparo (Figura 11) (metade da área). Os implementos estavam dotados de equipamentos GPS (Figuras 12a e 12b) a fim de controlar o tráfego da área.

Figura 9 - Grade utilizada no preparo de solo da área com profundidade operacional de 35 cm (a). Subsolador de três hastes com profundidade operacional de 55 cm (b)



Figura 10 – Aplicação de calcário em área total (a); Implemento Penta acoplado no trator (b)



Figura 11 – Processo de canteirização formado pelo Penta (a). Aplicação de calcário em faixa (canteiro) (b)



Figura 12 – GPS utilizado para controlar o tráfego na área (a). Tratos operando com piloto automático por meio de gps (b)



No PPM, foi aplicado $\frac{3}{4}$ da dose recomendada de calcário na superfície do solo de forma manual e com o auxílio do equipamento Penta, que possui enxada rotativa e haste subsoladora, incorporou-se o $\frac{1}{4}$ restante da dose. O centro das

faixas de preparo foi demarcado com um sulco raso (0,10 - 0,15 m) previamente à aplicação de calcário a fim de facilitar a distribuição do calcário na superfície do solo de forma mecanizada.

Após três meses, com o intuito de esperar a ação do calcário no solo, fez-se o plantio da cana-de-açúcar na área do experimento. Inicialmente houve a operação de sulcação da área (Figura 13a), seguido pelo depósito das mudas via trator com carreta (Figura 13b), com o plantio feito manualmente (Experimento II). Com as mudas devidamente colocadas nas valas, houve o tratamento da soqueira com inseticida e o cobrimento das mudas (Figura 14).

Figura 13 – Sulcação da área para receber as mudas (a). Depósito das mudas para serem posicionadas e posteriormente cobertas (b)



Figura 14 – Operação de tratamento de soqueira em conjunto com o cobrimento



As unidades experimentais (subparcelas) foram de 288 m², ou seja, 10 linhas de 20 m de comprimento com espaçamento alternado de 1,50 x 0,90 m entre linhas. As faixas de preparo do solo foram de 1,20 m de largura (canteiro), sendo que os dois sulcos de plantio distanciados em 0,9 m, localizados no centro da área revolvida.

O experimento foi conduzido com um plantio homogêneo entre todos os tratamentos, com espaçamento entre fileiras das plantas no canteiro de 0,90 m por 1,50 m e entre centro de linha de tráfego de 2,40 m (Figura 15). É importante salientar que as avaliações de solo foram realizadas na área compreendida entre o meio do canteiro até o meio da zona de tráfego, tendo 1,20m de comprimento.

DAP foi aplicado 180 kg ha⁻¹ de KCl e 2,0 L ha⁻¹ do herbicida Dual Gold (S-metolaclo). O croqui da área pode ser encontrado no Apêndice B.

3.3. Avaliações

3.3.1. Resistência à penetração do solo

Para as medidas de resistência à penetração utilizou-se o penetrômetro convencional modelo Stolf, constituído por um peso para provocar o impacto, uma haste e um cone para a penetração no solo (STOLF; FERNANDES; FURLANI NETO, 1983). A penetração da haste é obtida pelo impacto de uma massa (4 kg) em queda livre de uma altura h (metros). A cada impacto foram registrados os valores do deslocamento x (metros), os quais foram convertidos em pressão de penetração ou resistência à penetração (em unidades de MPa), através da fórmula, modificada por Stolf (1990), considerada para o cálculo de índice de cone:

$$R(\text{MPa}) = \frac{[(M+m)g] + M/(M+m) \cdot Mgh/x}{A} * 0,101325 \quad (4)$$

Onde R é a resistência à penetração conhecido como Índice de Cone, MPa; M é a massa total do equipamento, Kg; m é a massa do êmbolo, Kg; g é a aceleração da gravidade, m/s; h é a altura da queda do êmbolo, cm; x é o número de impactos; A é a área de projeção da ponteira, mm².

Os valores para as variáveis são: $M = 4,019$ kg; $m = 3,33$ kg; $(M+m)g = 7,349$ kgf; $h = 40$ cm e $A = 1,22$ cm². Assim utilizou-se a equação simplificada:

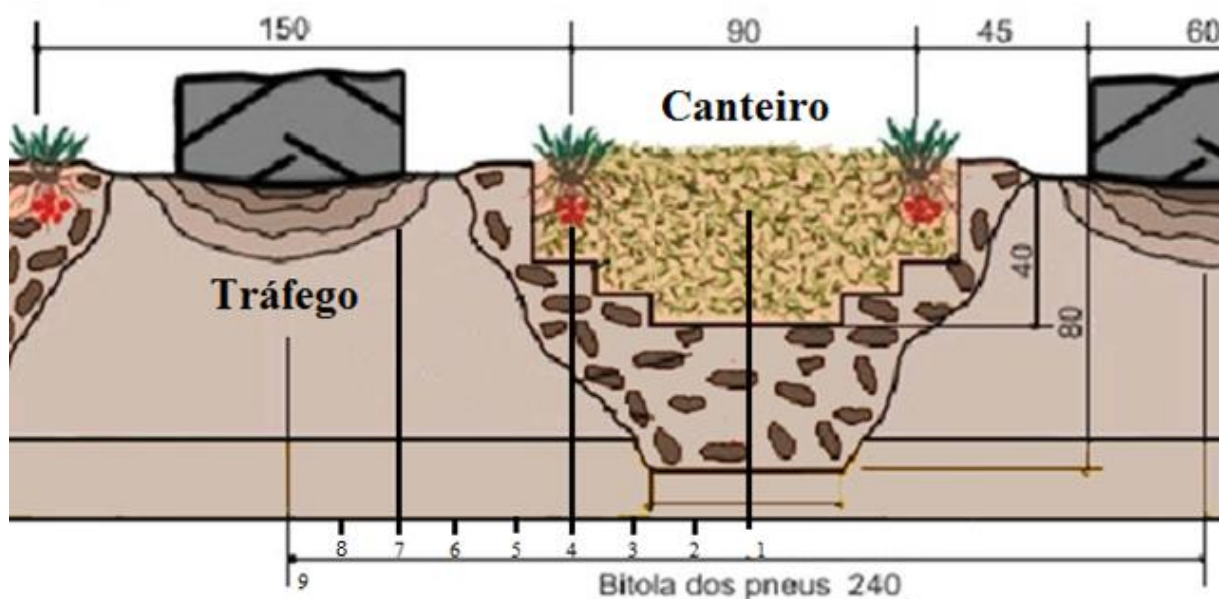
$$R(\text{MPa}) = 0,67 + 0,731 * N \quad (5)$$

Onde R é a resistência à penetração conhecido como Índice de Cone, MPa; e N é o número de impactos/10cm no solo.

Após a instalação dos tratamentos em ambos os experimentos (um mês após o plantio) e imediatamente após a primeira colheita, mensurou-se a resistência do solo à penetração por meio do penetrômetro de impacto, modelo de Stolf. As amostras foram retiradas baseadas em um transepto perpendicular de 1,20 m, entre

o centro do canteiro e o centro da zona de tráfego (Figura 16). Nesse transepto foram avaliados 9 pontos distanciados em 0,15 m um do outro. Com isso obteve-se resultados tanto na área não trafegada quanto na área trafegada.

Figura 16 – Transepto de coleta para análise de resistência a penetração pelo método de Stolf, onde os pontos de coleta estão numerados do 1 ao 9, distanciados em 15 cm



Fonte: Adaptado de arquivo pessoal do autor.

Foram avaliados cada tratamento com 4 repetições cada, com 9 pontos para cada estação, em duas coletas (após o plantio e colheita) em cada área experimental. Simultaneamente a esta operação, foram retiradas amostras de solo para determinação do teor de água pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1997) na área, sendo quatro coletas por parcela, obtendo-se assim os valores médios.

Os testes de resistência à penetração foram realizados apenas nos tratamentos envolvendo dois sistemas de preparo do solo, ou seja, nas parcelas em PC e em PPM, descartando-se o efeito da calagem.

3.3.2. Parâmetros biométricos e produtividade

No dia anterior à colheita, realizou-se a avaliação biométrica das parcelas do canal. O comprimento de colmos foi realizado medindo 5 colmos industrializáveis

por parcela, entre o ponto de corte e o ponto de quebra do palmito, sendo determinado o comprimento com auxílio de uma régua; O diâmetro de colmos utilizou-se dos mesmos colmos selecionados para comprimento e com auxílio de um paquímetro determinou-se o diâmetro medindo-se o terceiro entrenó acima do solo (MARTINS; LANDELL, 1995).

Quanto aos parâmetros produtivos, os componentes de produção determinantes para o potencial agrícola são: altura de colmo, número de perfilhos, diâmetro de colmos. Assim, considerando a densidade do colmo igual a um, o valor de tonelada de cana por hectare (TCH) e a tonelada de açúcar por hectare (TPH) pode ser estimada pela fórmula (MARTINS; LANDELL, 1995):

$$TCH = D^2 \times C \times H \times \left(\frac{0,007854}{E} \right) \quad (6)$$

$$TPH = \left[\frac{TCH \times PCC}{100} \right] \quad (7)$$

Onde D é o diâmetro de colmos (cm), C é o número de colmos por metro linear; H é o comprimento médio de colmos (cm), E é o espaçamento entre sulcos (m), TCH é a tonelada de cana por hectare e TPH é a tonelada de açúcar por hectare.

Foram coletadas 48 amostras compostas por 4 repetições, para cada um dos três preparos de solo e as quatro doses de calcário.

3.3.3. Avaliações adicionais (Experimento II)

Como avaliações adicionais no Latossolo Vermelho-Amarelo, Experimento II, foram realizadas a análise de raízes da cultura da cana de açúcar pelo método do trado e a avaliação de densidade do solo.

3.3.3.1. Densidade Relativa do Solo (DRS)

As amostras para determinação da Densidade do Solo (DS) utilizadas no cálculo do DRS foram obtidas após a colheita da cultura na área de textura arenosa,

Experimento II, no dia 15 de fevereiro de 2017. A coleta foi feita no PC e no PPM, na zona da cultura (ZC) e na zona de tráfego (ZT) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade.

Foram coletadas amostras indeformadas de solo, com auxílio de uma marreta, um castelinho e anel volumétrico, sendo utilizadas quatro amostras por tratamento com quatro repetições para cada camada avaliada.

Para determinação da Densidade Relativa do Solo (DRS) foi utilizada a metodologia conforme Klein (2006), onde:

$$DRS = \frac{DS}{D_{smax}} \quad (8)$$

Onde *DRS* é a densidade relativa do solo; *DS* é a densidade do solo; e *D_{smax}* é a densidade máxima do solo obtida no ensaio de Proctor normal.

As avaliações de DRS foram realizadas apenas nos tratamentos envolvendo dois sistemas de preparo do solo, ou seja, nas parcelas em PC e em PPM, descartando-se o efeito da calagem. Utilizaram-se amostras de solo coletadas na zona de tráfego (no centro da maior entrelinha) e no canteiro (centro da menor entrelinha). Foram coletadas 12 amostras de solo em cada camada avaliada com 4 repetições.

3.3.3.2. Raízes da cana-de-açúcar

Outra avaliação adicional no Experimento II foi a quantificação de raízes nas parcelas do experimento. Foram coletadas amostras de raízes da cultura da cana-de-açúcar logo após a colheita da cultura, nas profundidades 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, retirando-se amostras do canteiro e da linha de tráfego, nos três preparos de solo e nos tratamentos com e sem a aplicação de calcário.

As amostras foram coletadas nos dias 29, 30 e 31 de agosto do ano de 2016, com auxílio de um trado coletor composto por um cilindro de aço com diâmetro interno de aproximadamente 40 mm e espessura de parede de 3 mm. Fez-se uma abertura oblonga no cilindro coletor com 100 mm de comprimento por 20 mm de largura, para assim retirar as porções de solo + raízes. As amostras foram divididas

em uma composta por quatro sub amostras, totalizando um volume de solo equivalente a 1 dm³ ou 1 litro.

Após a coleta, as porções de solo e raízes foram acondicionadas em sacos plásticos vedados e congelados a -2°C para, em seguida, serem lavadas e analisadas. Antes da lavagem, as amostras foram colocadas em recipientes com água a fim de se acelerar o descongelamento e amolecer os torrões de solo (Figura 17a). Após o descongelamento dos torrões, as amostras foram depositadas em peneiras com malha de 1 mm e lavadas com jatos de água dirigidos para retirada de todo o solo das amostras (Figura 17b). Utilizou-se pinça para separar as raízes de materiais estranhos (Figura 18a). Em seguida, as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos (Figura 18b), submersas em solução aquosa contendo 30% de álcool etílico para aumentar o tempo de conservação e armazenadas sob refrigeração a -2°C.

Figura 17 - Sacos de amostras congelados foram colocados em bacia com água afim de acelerar o derretimento (a). Lavagem das raízes em peneira 1mm com jato dirigido (b)



Figura 18 – Coleta das raízes de dentro da vasilha com água com auxílio de uma pinça (a). Raízes acondicionadas dentro do recipiente plástico para posteriormente ir ao freezer (b)



As amostras de raízes foram submetidas a um scanner de leitura ótica (modelo Scanjet 4C/T, marca HP), na resolução de 600 dpi, e tiveram suas imagens digitalizadas e analisadas com o programa Win Mac Rhizo, para determinar a densidade de comprimento radicular (cm de raiz por cm^3 de solo), baseado no método de Tennant (1975). Em seguida as amostras foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa de aeração forçada a 60°C por 48h, para determinação da massa seca produzida.

As avaliações das raízes foram realizadas em amostras coletadas em todos os três sistemas de preparo testados, porém utilizando apenas dois tratamentos envolvendo calagem, ou seja, sem calcário e com o dobro da dose recomendada. Utilizaram-se amostras de solo coletadas na zona de tráfego (no centro da maior entrelinha) e no canteiro (centro da menor entrelinha). Foram coletadas 240 amostras as quais eram constituídas por 4 repetições, da dose zero e 2 vezes a recomendada de calcário, nos três preparos de solo, nas duas regiões de cultivo (tráfego e canteiro), em 5 profundidades.

3.4. Análise estatística

Todos os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e as médias comparadas pelo teste LSD ($p \leq 0,05$), utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento I

4.1.1. Resistência à penetração

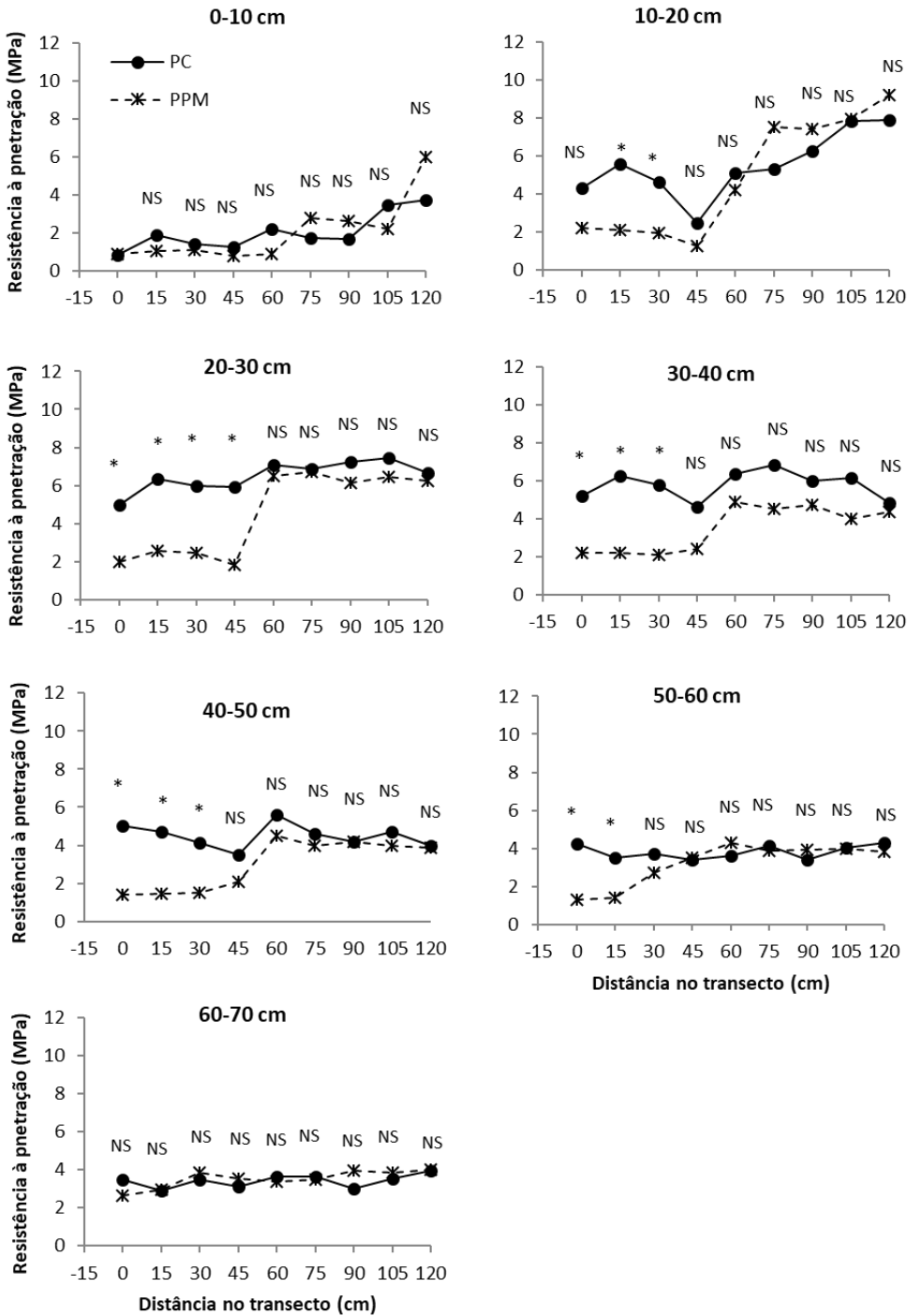
Após a implantação do experimento, retirou-se a primeira coleta de dados de resistência à penetração, sendo estratificados sete gráficos mediante a profundidade avaliada (a cada 10 cm, até 70 cm de profundidade) (Figura 19). Observa-se que os valores de resistência a penetração do PPM são inferiores ao PC, levando-se em consideração as camadas entre 10 e 60 cm de profundidade, para os pontos mais próximos ao centro do canteiro, visto que o canteiro está compreendido entre o ponto 0 cm até o ponto 45 cm. Isto é devido ao preparo profundo do solo realizado pelo implemento Penta, o qual trabalha até aproximadamente 60 cm de profundidade, contudo, à medida que a profundidade aumenta no perfil, as diferenças dos valores de resistência a penetração entre os preparos tornam-se menores. A primeira e a última camada avaliada (0-10 e 60-70 cm) não apresentaram diferenças entre os tratamentos.

Os valores de resistência a penetração encontrados no PC a partir de 10 cm de profundidade são superiores a 2,0 MPa, sendo assim, restritivos para o desenvolvimento do sistema radicular (SILVA et al., 2002; 2010; OTTO et al., 2011) prejudicando a planta quanto a absorção de água e nutrientes (ANGHINONI; MEURER, 1999). Percebe-se que na camada de 30 a 50 cm tanto o PC, quanto a zona de tráfego do PPM, apresentam um aumento de aproximadamente 30% no valor médio de resistência a penetração, evidenciando a existência de uma camada compactada abaixo desta camada, em média 30 cm de profundidade, a qual é prejudicial para o aprofundamento do sistema radicular, de modo que a cultura terá menor resistência à seca (REINERT et al., 2008).

Como observado em demais estudos, o preparo profundo propicia o desimpedimento das camadas compactadas favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular (SÁ et al.; LIMA, 2016)

Concomitante à leitura de resistência a penetração, foi realizada a coleta de umidade do solo, que foi de 16,38%.

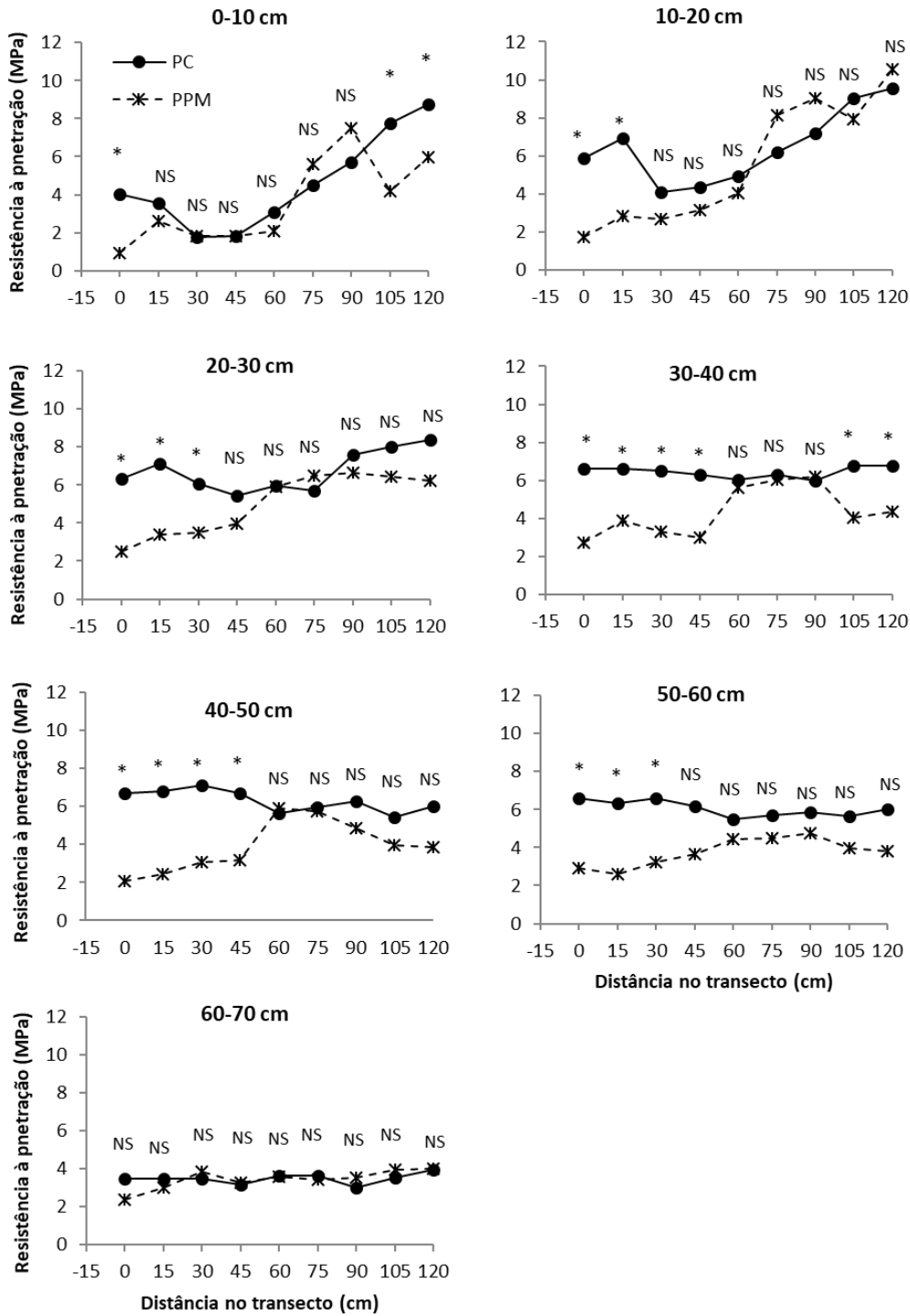
Figura 19 - Primeira avaliação de resistência do solo à penetração (MPa), Macatuba-SP, em função dos sistemas de preparo (PC = preparo convencional; PPM = preparo profundo modificado), em Nitossolo Vermelho, no município de Macatuba-SP. * e NS = significativo ou não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Após a colheita da cana-de-açúcar, na segunda leitura de resistência a penetração do solo (Figura 20), um ano e meio depois da primeira coleta, observou-se que o PPM tem uma tendência a apresentar valores inferiores ao PC dentro dos pontos onde estão localizados o canteiro (0 a 45cm), ou seja, houve uma preservação do canteiro mesmo após o corte da cana planta. As diferenças mais evidentes entre os preparos estão localizadas principalmente nas profundidades intermediárias (entre 20 a 50 cm de profundidade), dentro do canteiro os contrastes entre os valores de resistência a penetração chegaram a ser três vezes maiores no PC em relação ao PPM, possuindo valores acima de 2,0 MPa, que segundo a literatura, são restritivos para o desenvolvimento radicular da cultura (SILVA et al., 2002, 2010; OTTO et al., 2011), afetam na disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, propicia queda de produtividade em toneladas de colmos por hectare (REINERT et al., 2008; TAVARES et al., 2010; AQUINO; MEDINA, 2014, 2015; COSTA et al., 2014). Sá et al. (2016) observou em estudo que a resistência a penetração crítica de um solo argiloso, sob cultivo de determinada variedade de cana-de-açúcar, era de 3,8 MPa. Mais uma vez, as camadas hemisféricas apresentaram uma única desigualdade presente a 0-10 cm de profundidade nos dois pontos mais distantes do canteiro (105 a 120 cm em relação ao centro do canteiro) sendo que no PC, com o preparo em área total, foram observados valores inferiores de resistência a penetração quanto ao PPM. Concomitante com a leitura de resistência a penetração fez-se a coleta de umidade do solo, a qual foi de 17,13%.

Figura 20 - Segunda avaliação de resistência do solo à penetração (MPa), Macatuba-SP, em função dos sistemas de preparo (PC = preparo convencional; PPM = preparo profundo modificado), em Nitossolo Vermelho, no município de Macatuba-SP. * e NS = significativo ou não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F



Fonte: Arquivo pessoal do autor

4.1.2. Parâmetros biométricos

Na tabela 7 estão apresentados os valores de comprimento e diâmetro de colmos mediante os diferentes preparos e dosagens de calcário. Quanto ao comprimento de colmos, a dose 2x a recomendada possui tendência de maior comprimento quando comparado às demais dosagens; tendo o preparo de solo como base, os tratamentos com preparos profundos apresentaram uma tendência de possuir maior valor, principalmente o PPM, onde o calcário foi aplicado no canteiro, apresentou na dose 2x de calcário o maior valor absoluto, muito provavelmente ao maior desenvolvimento radicular que culminou em uma maior absorção de nutrientes e maior rebolo. O diâmetro de colmos seguiu o mesmo padrão que o comprimento, dando destaque para a dose 2x de calcário e o PPM como detentores dos maiores valores. Observa-se que a dose recomendada (DR) apresentou valores inferiores à dose 2x, assim, a quantidade de calcário recomendada não foi suficiente para o desenvolvimento pleno da cultura. A dose 3x obteve valores inferiores à dose 2x, ou seja, a quantidade apresenta-se elevada ao ponto de propiciar perdas produtivas.

Tabela 7 - Comprimento e diâmetro de colmos de cana-de-açúcar em função de diferentes preparos de solo e doses de calcário em um Nitossolo Vermelho (NV), Macatuba, SP

Comprimento de colmos (m)				
Preparos de solo*	Doses de calcário**			
	0	DR	2 x DR	3 x DR
PC	2,8Bb	2,8Ab	2,9Aa	2,6Bc
PPM	2,9Aa	2,8Ab	3,0Aa	2,8Ab
PP	2,8Ba	2,9Aa	2,9Aa	2,8Aa
Diâmetro de colmos (cm)				
PC	25,0Ab	26,8Aa	27,2Aa	26,4Ba
PPM	24,9Ac	26,5Ab	27,6Aa	27,7Aa
PP	25,9Ab	26,4Ab	28,2Aa	25,9Bb

* PC = Preparo Convencional, com aplicação de calcário em área total; PP = Preparo Profundo em Faixa com haste Subsoladora e Enxada Rotativa, com aplicação de calcário em área total; PPM = Preparo Profundo em Faixa com haste Subsoladora e Enxada Rotativa, com aplicação de calcário apenas na faixa de preparo.

** 0 = sem corretivo; DR = dose recomendada de calcário (5 Mg ha^{-1}); 2 x DR = 2 vezes a dose recomendada de calcário (10 Mg ha^{-1}); 3 x DR = 3 vezes a dose recomendada de calcário (15 Mg ha^{-1}). Médias com letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t.

Silva et al. (2009) avaliaram as influências diretas e indiretas dos componentes de produção, bem como o comprimento e diâmetro de colmos, sobre a produtividade de colmos por hectare de cana-de-açúcar nas fases de cana planta e cana soca e concluíram que na fase de cana plana, os maiores efeitos diretos foram observados para diâmetro do colmo, por sua vez, na fase de cana soca, o componente de produção comprimento de colmos teve maior contribuição para a variável produtividade.

4.1.3. Produtividade

Após a colheita dos experimentos foi determinada a produtividade da área em toneladas de cana por hectare (TCH) e de açúcar (TPH) (Tabela 8). Tanto o TCH quanto o TPH apresentaram mesma tendência, quando os preparos profundos obtiveram tendência de possuir maiores valores quanto ao PC e mais uma vez, como nos parâmetros biométricos, a dose 2x DR de calcário apresentou os valores produtivos mais elevados dos avaliados no experimento, indicando uma possível subestimação da DR. O PPM foi o único tratamento a responder diretamente ao se analisar 3x DR, ou seja, houve um efeito da incorporação em subsuperfície do PPM por intermédio do equipamento Penta, promovendo, possivelmente, um maior desenvolvimento radicular devido à maior disponibilidade de Ca pelo perfil do solo.

Tabela 8 - Produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) de cana-de-açúcar em função de diferentes preparos de solo e doses de calcário em um Nitossolo Vermelho (NV), Macatuba, SP

TCH (t cana ha ⁻¹)				
Preparos de solo*	Doses de calcário**			
	0	DR	2 x DR	3 x DR
PC	103,8Ab	119,4Aa	128,1Aa	108,0Bb
PPM	107,5Ab	117,3Ab	133,1Aa	128,6Ab
PP	110,3Ab	118,0Ab	134,8Aa	110,5Ba
TPH (t pol ha ⁻¹)				
PC	15,3Ac	17,1Aab	18,6Aa	16,1Bbc
PPM	15,4Ab	16,8Ab	19,6Aa	19,1Aa
PP	16,5Ab	17,2Ab	19,8Aa	16,1Bb

* PC = Preparo Convencional, com aplicação de calcário em área total; PP = Preparo Profundo em Faixa com haste Subsoladora e Enxada Rotativa, com aplicação de calcário em área total; PPM = Preparo Profundo em Faixa com haste Subsoladora e Enxada Rotativa, com aplicação de calcário apenas na faixa de preparo. ** 0 = sem corretivo; DR = dose recomendada de calcário (5 Mg ha⁻¹); 2 x

DR = 2 vezes a dose recomendada de calcário (10 Mg ha^{-1}); 3 x DR = 3 vezes a dose recomendada de calcário (15 Mg ha^{-1}). Médias com letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t.

Apesar do sistema radicular da cana de açúcar atingir até um metro de profundidade, a correção do solo recomendada é feita apenas para os primeiros 40 cm de solo, sendo que em outros países essa correção é feita abaixo de um metro de profundidade (KOFFLER, 1986), podendo ser um dos motivos para a maior produtividade encontrada quando se dobrou a dose de calcário. Quanto a dose três vezes a recomendada, embora não havendo diferença significativa, apresentou uma tendência de possuir maiores valores que os demais tratamentos, muito possivelmente pela incorporação do calcário em profundidade.

A operação de preparo profundo, embora não tenha apresentado diferença significativa, teve uma tendência de apresentar maiores produtividades em comparação ao PC. Isso pode ser explicado devido ao rompimento de camadas compactadas de solo pelo implemento Penta, facilitando o desenvolvimento do sistema radicular, conferindo maior resistência a seca e absorção de nutrientes, refletindo diretamente na produção (BENEDINI; CONDE, 2008; TAVARES et al., 2010; AQUINO; MEDINA, 2014, 2015; COSTA et al., 2014). Quanto a calagem, alguns trabalhos têm mostrado efeito positivo sobre o desenvolvimento inicial da (OLIVEIRA et al., 2010) e a produtividade da cana-de-açúcar (ROSSETTO et al., 2004; BRASSIOLI; PRADO; FERNANDES, 2009).

Os resultados de produtividade encontrados nesta pesquisa foram superiores à média do estado de São Paulo (77.5 kg/ha^{-1} safra 2016/2017) (BRASIL, 2017a), provavelmente, devido à fertilidade do solo e por ser o primeiro corte.

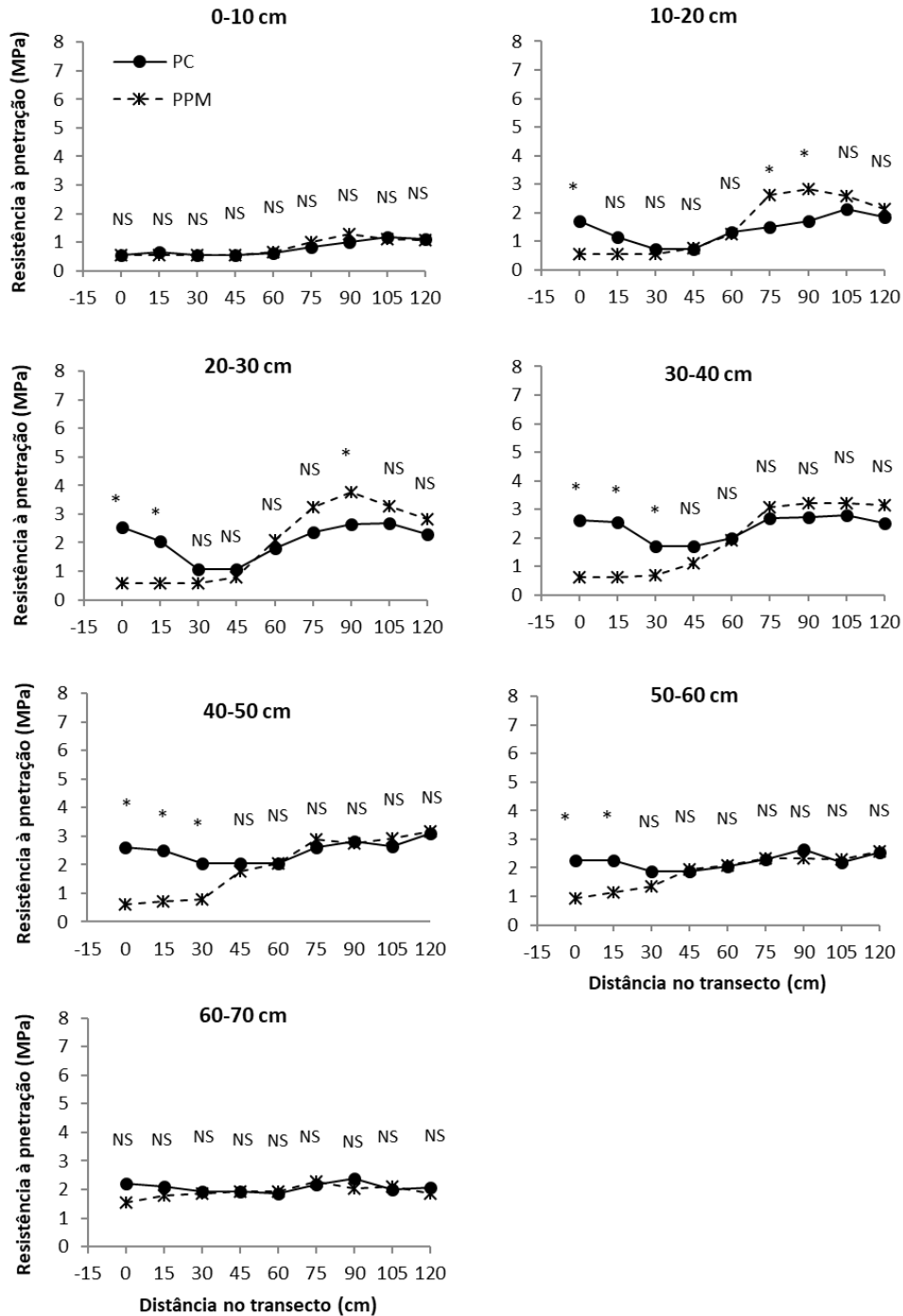
4.2. Experimento II

4.2.1. Resistência à penetração

A resistência à penetração apresentada na primeira coleta (Figura 21) apresentou tendência similar àquela citada no ponto 4.1.1. no solo argiloso do Experimento I, contudo com valores inferiores, quando em um solo arenoso (Experimento II) a resistência a penetração chega a ser de duas até quatro vezes os encontrados em relação ao outro solo. A partir da camada de 10-20 cm de

profundidade é evidente a formação do canteiro (de 0 a 45cm no transcepto), existindo diferença no centro do canteiro e a 75 e 90 cm quanto ao PC e PPM. Conforme aprofunda-se a diferença se dá aos pontos mais próximos ao centro do canteiro de cana-de-açúcar, até 30 cm, ou seja, em 60 cm de canteiro a resistência a penetração no PPM foi significativamente inferior à comparada ao PC até 60 cm de profundidade, onde os valores chegaram a variar até 2,5 vezes. É importante salientar que os valores de resistência a penetração encontrados no solo arenoso não são restritivos ao desenvolvimento do sistema radicular, sendo antagônico ao solo argiloso onde são limitantes, ultrapassando 2,0 MPa (SILVA et al., 2002, 2010; OTTO et al., 2011). Concomitante com a avaliação de compactação do solo, realizou-se a coleta das amostras de solo para averiguação da umidade do mesmo, a qual foi de 9,18%.

Figura 21 - Primeira avaliação de resistência do solo à penetração (MPa), Macatuba-SP, em função dos sistemas de preparo (PC = preparo convencional; PPM = preparo profundo modificado), em Latossolo Vermelho Amarelo, no município de Borebi-SP. * e NS = significativo ou não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

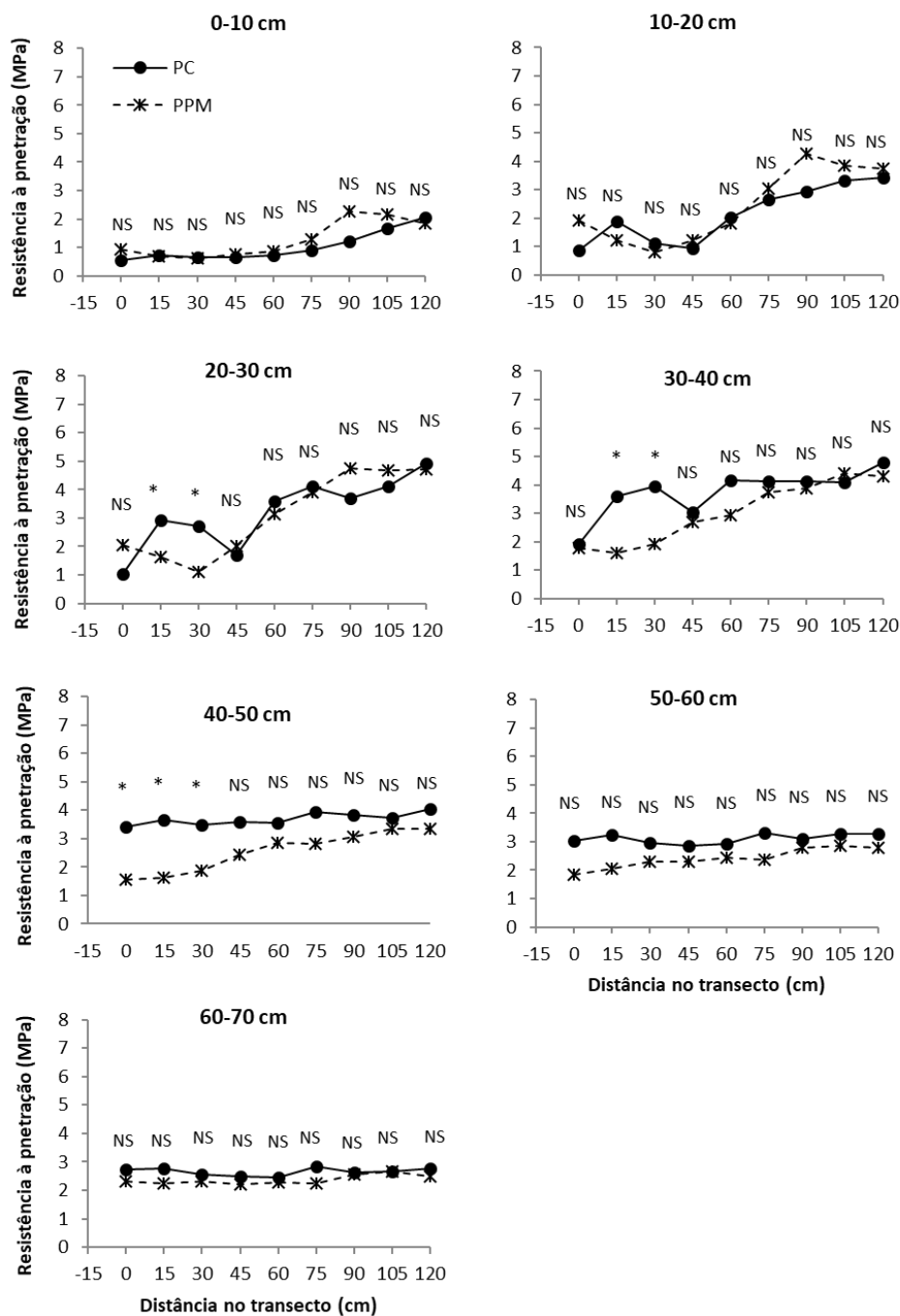


Fonte: Arquivo pessoal do autor

A figura 22 apresenta o levantamento da segunda coleta realizada após a colheita da cana-de-açúcar no dia 23 de agosto de 2016, com uma umidade correspondente a área de 8,67%. As diferenças entre a resistência a penetração se deram para as da camadas entre 20-50 cm de profundidade, onde os valores dos pontos a 15 e 30 cm do centro do canteiro apresentaram diferença significativa entre os preparos, evidenciando a formação e preservação do canteiro após um ano e meio de cultivo, sendo que os valores chegam a ser duas vezes maiores no PC em relação ao PPM, atingindo valores que segundo a literatura são restritivos para o desenvolvimento radicular (SILVA et al., 2002, 2010; OTTO et al., 2011).). Quanto à camada de 50-60 cm, a diferença significativa encontrada na primeira coleta não ocorreu nesta, embora ainda tenha sido possível visualizar parte do canteiro.

Neste experimento a compactação pôde ser observado na camada de 20 a 40 cm de profundidade, porém menos expressiva que a observada no experimento I quando o solo era argiloso (mais denso). Esta camada compactada dificulta o desenvolvimento radicular, prejudicando o acesso das raízes em profundidade e, conseqüentemente, menor resistência à seca afetando a produtividade final do canavial (TAVARES et al., 2010; AQUINO; MEDINA, 2014; AQUINO et al., 2015; COSTA et al., 2014).

Figura 22 - Segunda avaliação de resistência do solo à penetração (MPa), Macatuba-SP, em função dos sistemas de preparo (PC = preparo convencional; PPM = preparo profundo modificado), em Latossolo Vermelho Amarelo, no município de Borebi-SP. * e NS = significativo ou não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

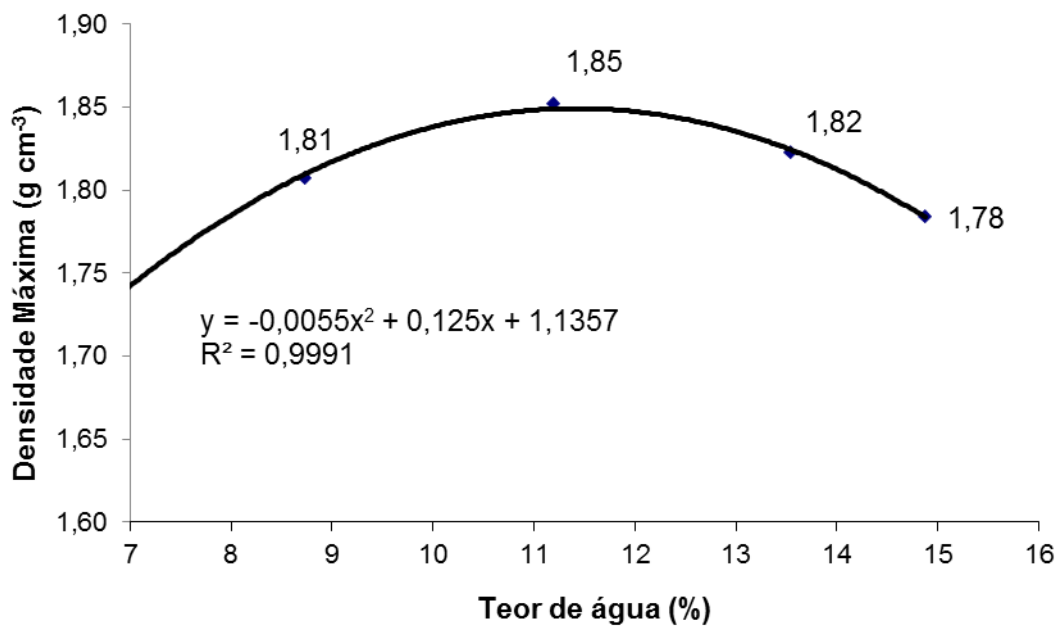


Fonte: Arquivo pessoal do autor

4.2.2. Ensaio de Proctor

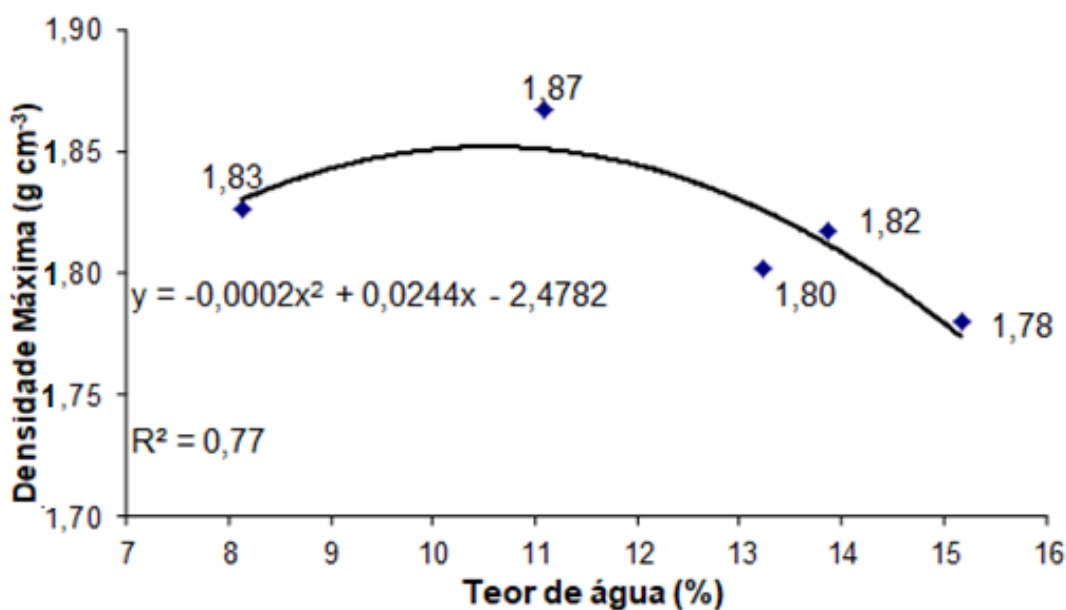
Ao final do teste de Proctor (Item 3.1.5.5.), realizado no Experimento II, obteve-se o valor máximo da compactação da camada de 0 a 20 cm sendo 1,85 Mg m⁻³ em umidade aproximada de 11,20% e, para a camada de 20 a 40 cm foi de 1,87 Mg m⁻³ em uma umidade aproximada de 11,10%, sendo adotada a curva de compactação do solo em função da sua umidade (Figuras 23 e 24).

Figura 23 – Curva de compactação do solo em função do teor de água (Ensaio de Proctor Normal) para camada de 0 – 20 cm de profundidade, em Latossolo Vermelho Amarelo, Borebi, SP



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Figura 24 – Curva de compactação do solo em função do teor de água (Ensaio de Proctor Normal) para camada de 20 – 40 cm de profundidade, em Latossolo Vermelho Amarelo, Borebi, SP



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Tendo a Figura 23 como base e comparando a caracterização física do solo, tabela 8 (Item 3.1.5.3), a densidade do solo na camada de 0-20 cm estavam apresentando valores de densidade máximos em ambas as regiões avaliadas, sendo um impedimento para a infiltração de água no solo, muito grave em um solo de baixa capacidade de carga hídrica como este de textura arenosa.

Sendo assim, definimos a Densidade Relativa (DR) do solo como a razão entre a densidade do solo nas condições de campo e a densidade máxima do solo obtida pelo ensaio de Proctor.

4.2.3. Densidade relativa do solo (DRS)

Após as análises das densidades da área e com os dados de densidade máxima, mediante o teste de Proctor, pode-se realizar a conversão da densidade aparente em densidade relativa. A tabela 9 apresenta os valores mediante o preparo de solo, na zona de canteiro e de tráfego, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de

profundidade. Para a primeira camada avaliada, 0-20 cm de profundidade, o valor da densidade relativa do PPM foi 16% maior na zona de tráfego em relação à zona de canteiro; quanto à camada 20-40 cm de profundidade, o PC apresentou valores com diferença significativa sendo a zona de tráfego 10% mais densa que a de canteiro.

Vale ressaltar que no PPM, na zona de tráfego e na camada de 0 a 20 cm, o solo apresentou DSR de 0,96, ou seja, próximo à densidade máxima pelo teste de Proctor. Isso demonstra a importância da preservação do canteiro, ou seja, do tráfego controlado, evitando o pisoteio do solo próximo à linha da cultura.

Tabela 9 - Densidade relativa do solo em amostras coletadas na zona de tráfego e no canteiro, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, em função dos sistemas de preparo do solo (PPM = preparo mínimo modificado e PC = preparo convencional)

	Trafego	Canteiro
-----Camada de 0 a 20 cm-----		
PC	0,89 Aa	0,78 Aa
PPM	0,96 Ab	0,80 Aa
-----Camada de 20 a 40 cm-----		
PC	0,90Ab	0,80Aa
PPM	0,93Aa	0,82Aa

Médias com letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t. As comparações foram feitas apenas dentro de cada camada do perfil do solo.

Estudos apontam que a densidade relativa adequada para o cultivo agrícola em solos arenosos, afim de se obter os rendimentos máximos, varia entre 0,77 e 0,84 e valores superiores podem acarretar problemas no desenvolvimento radicular da planta e absorção e retenção de água pelo solo (CARTER, 1990; LINDSTRON; VOORHEES, 1994; SUZUKI et al., 2007; REICHERT et al., 2009). É correto afirmar que a densidade relativa encontrada na zona de tráfego está acima dos valores ótimos para o estabelecimento do vegetal, sendo prejudicial para o desenvolvimento do mesmo.

Sá e colaboradores (2016) observaram em estudo que certa variedade de cana de açúcar, sob condições de solo argiloso, teve seu desenvolvimento radicular interrompido quando o solo apresentou densidade relativa de 87,9%.

4.2.4. Raízes

4.2.4.1. Comprimento radicular

A Tabela 10 apresenta os dados de comprimento radicular da cana-de-açúcar na zona de tráfego e no canteiro em relação aos três tipos de preparo convencional, profundo e profundo modificado com a adição de duas vezes a dosagem recomendada de calcário e sem a presença dele.

Quanto à zona de tráfego, na camada de 20 a 40 cm de profundidade, os preparos profundos apresentaram variações quanto à presença ou não de calcário, sendo que o PPM apresentou comprimento radicular 30% superior na presença de calcário, e o PP apresentou uma tendência inversa, ou seja, com variação de 37%, possuindo maior comprimento radicular sem a adição de calcário. No canteiro, os preparos profundos, abaixo de 40 cm de profundidade, apresentaram uma tendência de maior comprimento radicular em comparação ao PC, possivelmente devido à profundidade de operação dos implementos utilizados nos tratamentos. Ao se analisar a camada de 40-60 cm com a adição de calcário, o PP obteve maior comprimento radicular, seguido pelo PC e PPM respectivamente, tendência apresentada também na profundidade de 80-100 cm. De modo geral, as diferenças mais abruptas encontradas foram na zona de canteiro, onde os preparos profundos apresentaram tendência de maior comprimento radicular em relação ao PC, em camadas mais profundas (> 40cm); quanto ao fator calcário, não houve diferença entre os tratamentos.

A resposta positiva à calagem quanto ao crescimento radicular em profundidade (80 a 100 cm), em sistema de preparo profundo, indica ser um manejo importante para a redução de riscos da cultura quanto a déficits hídricos, aos quais está constantemente submetida durante o ciclo de cultivo.

Tabela 10 - Comprimento radicular (cm/cm³) da cana-de-açúcar em amostras coletadas na zona de tráfego e no canteiro, nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, em função dos sistemas de preparo do solo (PPM = preparo mínimo modificado, PC = preparo convencional e PP = preparo profundo), na presença ou ausência de calcário

	Tráfego			Canteiro		
	PPM	PC	PP	PPM	PC	PP
-----Camada de 0 a 20 cm-----						
sem	32,7 Aa	30,5 Aa	31,4 Aa	32,4Aa	33,4Aa	33,2Aa
com	30,9 Aa	29,1 Aa	32,3 Aa	31,0Aa	33,9Aa	32,1Aa
-----Camada de 20 a 40 cm-----						
sem	20,8Ba	26,5Aa	21,8Aa	27,4Aa	29,9Aa	32,1Aa
com	29,8Aa	22,9Aa	13,8Bb	31,3Aa	26,8Aa	32,1Aa
-----Camada de 40 a 60 cm-----						
sem	19,9Aa	22,8Aa	22,1Aa	30,5Aa	27,7Aa	31,8Aa
com	25,4Aa	23,3Aa	21,9Aa	20,5Ba	25,3Ab	30,4Ac
-----Camada de 60 a 80 cm-----						
sem	24,8Aa	25,7Aa	21,5Aa	28,4Aa	22,5Aa	28,7Aa
com	25,9Aa	23,5Aa	25,6Aa	21,5Ab	24,9Aa	27,6Aa
-----Camada de 80 a 100 cm-----						
sem	25,9Aa	25,2Aa	26,8Aa	26,3Aa	22,1Bb	25,6Bab
com	25,9Aa	26,8Aa	28,9Aa	25,9Ab	26,2Aab	30,2Aa

Médias com letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t. As comparações foram feitas apenas dentro de cada camada do perfil do solo e dentro de cada zona de coleta.

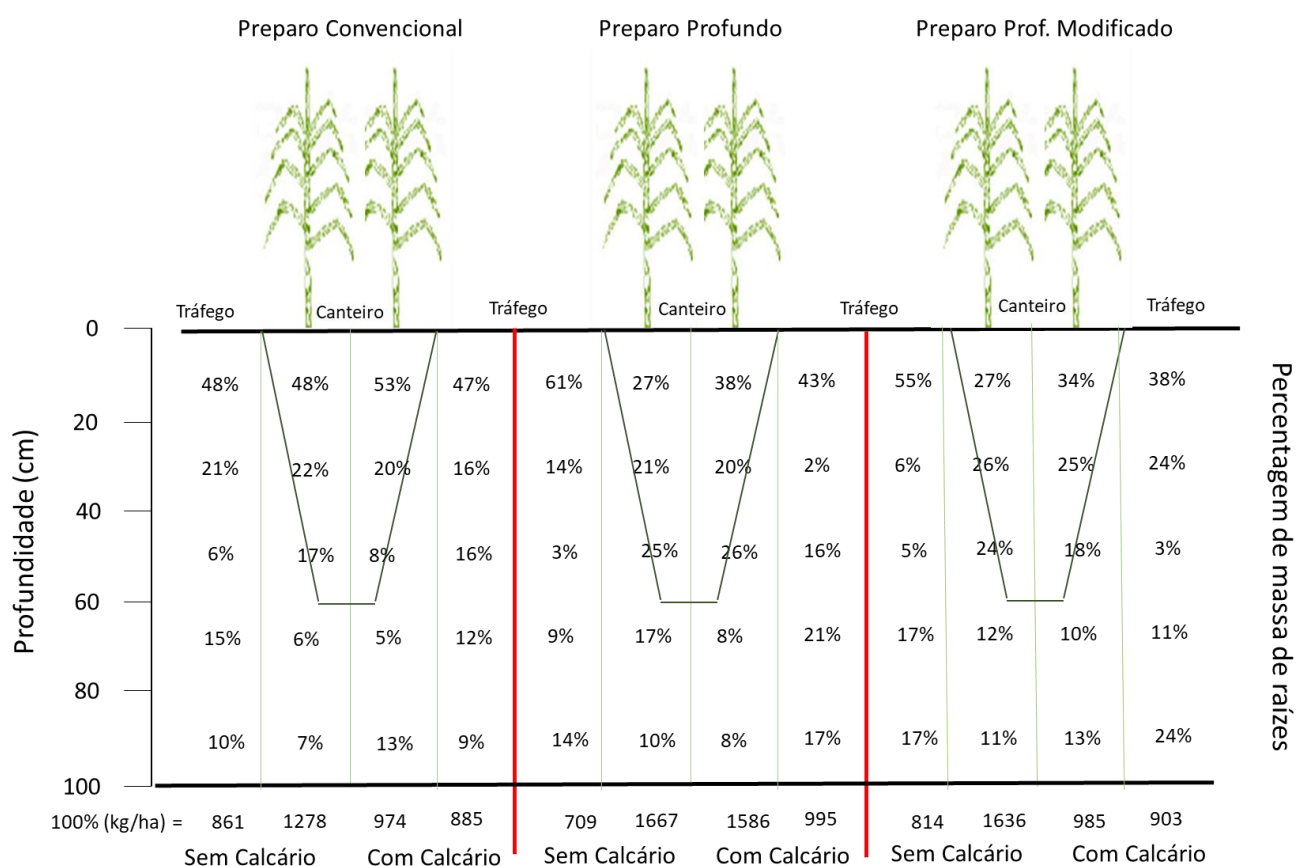
4.2.4.2. Massa radicular

A massa radicular está intimamente relacionada com a produtividade da cultura, sendo assim fez a quantificação da mesma nas diferentes regiões de cultivo (zona de tráfego e zona de canteiro), em relação aos três tipos preparo do solo (convencional, profundo e profundo modificado) com a adição de duas vezes a dosagem recomendada de calcário e sem a presença dele. As amostras foram coletadas em cinco profundidades, de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade.

Na Figura 25, tem-se a representação da distribuição do sistema radicular, nos perfis do solo, nos três preparos de solo, na presença ou não de calcário e nas diferentes regiões de cultivo. As percentagens remetem a massa radicular presente na região avaliada. O tipo do preparo de solo condiciona o padrão do crescimento do sistema radicular da planta, onde no PC a concentração de raízes está voltada para

a área de ação da grade e ou arado, até 40 cm em área total, diferente do PP e PPM que tem seu crescimento focado na área de operação do Penta, no canteiro e até 60 cm de profundidade. A aplicação do calcário propiciou um crescimento radicular em profundidade, em especial para o PPM quando houve a aplicação em profundidade. Avaliando a zona de tráfego, é possível observar que os preparos profundos estão criando condições favoráveis para o desenvolvimento radicular em profundidade (60 – 80 cm), abaixo da camada compactada, conferindo a cultura uma maior resistência a déficit hídrico. Estudos apontam que o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar está compreendido nas camadas superficiais e dentro do canteiro de cultivo (OTTO et al., 2011; VASCONCELOS, 2011; OHASHI et al. 2015; SÁ et al., 2016).

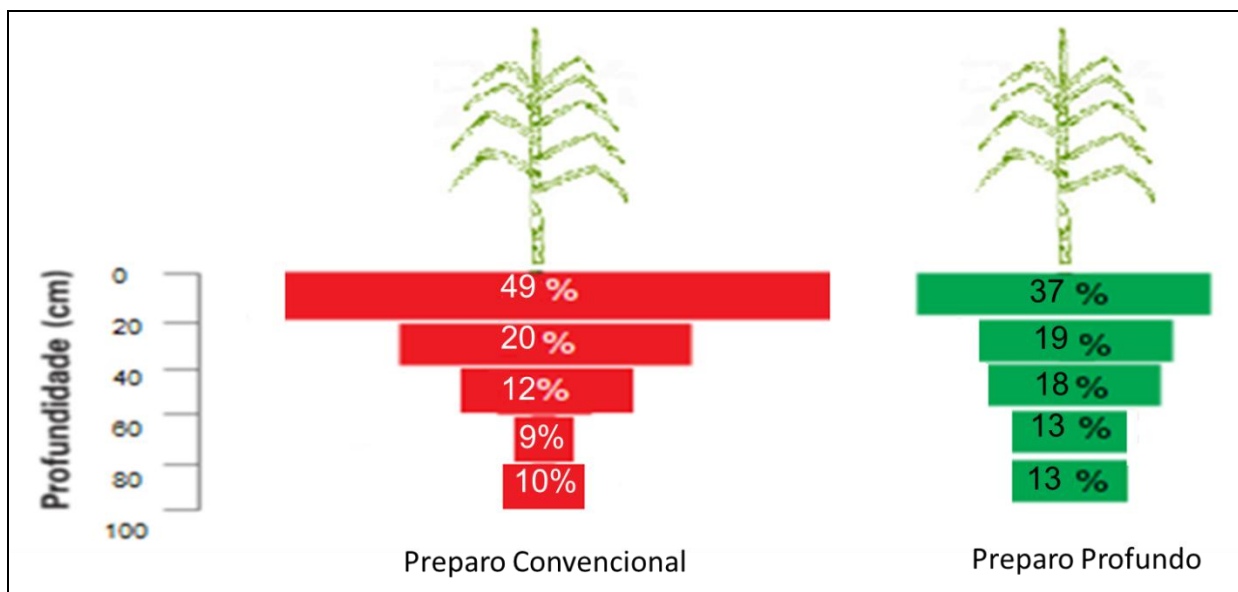
Figura 25 - Representação da distribuição radicular no perfil do solo, nas regiões de canteiro e tráfego, sob os diferentes preparos de solo e com e sem a presença de calcário



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Na Figura 26, temos a esquematização da porcentagem de raízes (massa), nos diferentes perfis do solo e no preparo convencional e no preparo profundo, que engloba o PP e o PPM, deixando de lado a dose de calcário e a região (canteiro ou tráfego), sendo também exemplificada na tabela 11. Assim, comparando os preparos, o convencional possui a maior parte (69%) do seu sistema radicular entre as camadas de 0 – 40 cm de profundidade, diminuindo à medida que se aprofunda no perfil. Quanto ao preparo profundo a distribuição radicular é mais homogênea, onde tem-se 74% entre as camadas de 0 – 60 cm de profundidade. A distribuição do sistema radicular no preparo profundo possibilita uma maior resistência a seca, em períodos de déficit hídrico, em relação ao preparo convencional. A distribuição radicular do PC foi observada em estudos realizados por Otto e colaboradores (2011) e Vasconcelos (2011) relata que, embora o sistema radicular da cana-de-açúcar possa atingir grandes profundidades, de 2 a 6 m, cerca de 50% da biomassa de raízes ocorrem nos 20 cm superficiais do solo, e 85% nos 60 cm superficiais. Valores semelhantes foram encontrados por Ohashi et al. (2015) na camada de 0–20 cm de profundidade. Vasconcelos (2011) menciona, no entanto, que esta distribuição também pode ser influenciada pela variedade de cana-de-açúcar.

Figura 26 - Distribuição latitudinal (até 100 cm) da massa radicular da cana-de-açúcar sob os preparos convencional e profundo do solo



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Tabela 11 - Massa seca de raízes (kg ha⁻¹) da cana-de-açúcar em amostras coletadas na zona de tráfego e no canteiro, nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, em função dos sistemas de preparo do solo (PPM = preparo mínimo modificado, PC = preparo convencional e PP = preparo profundo), na presença ou ausência de calcário

	Tráfego			Canteiro		
	PPM	PC	PP	PPM	PC	PP
-----Camada de 0 a 20 cm-----						
sem	445 Aa	413 Aa	431 Aa	445Aa	614Ab	444Ba
com	343 Aa	420 Aa	431 Aa	338Ab	515Aa	606Aa
-----Camada de 20 a 40 cm-----						
sem	51Bb	185Aa	97Aab	423Aa	276Ab	355Aab
com	221Aa	145Aa	24Ab	250Bab	197Ab	322Aa
-----Camada de 40 a 60 cm-----						
sem	41Aa	48Ba	20Ba	395Aa	217Ab	410Aa
com	27Ab	140Aa	160Aa	175Bb	79Ab	413Aa
-----Camada de 60 a 80 cm-----						
sem	139Aa	126Aab	64Bb	190Ab	79Ac	291Aa
com	98Ab	102Ab	210Aa	97Aa	53Aa	122Aa
-----Camada de 80 a 100 cm-----						
sem	138Ba	89Aa	97Ba	183Aa	92Ab	167Aab
com	214Aa	78Ab	170Aa	125Aa	130Aa	123Aa

Médias com letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t. As comparações foram feitas apenas dentro de cada camada do perfil do solo e dentro de cada zona de coleta.

4.2.4.3. Diâmetro médio radicular

A Tabela 12 mostra os dados de diâmetro radicular da cana-de-açúcar na zona de tráfego e no canteiro em relação aos três tipos preparo convencional, profundo e profundo modificado com a adição de duas vezes a dosagem recomendada de calcário e sem a presença dele. As amostras foram coletadas em cinco profundidades, de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

Tabela 12 - Diâmetro médio das raízes (mm) da cana-de-açúcar em amostras coletadas na zona de tráfego e no canteiro, nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, em função dos sistemas de preparo do solo (PPM = preparo mínimo modificado, PC = preparo convencional e PP = preparo profundo), na presença ou ausência de calcário

	Tráfego			Canteiro		
	PPM	PC	PP	PPM	PC	PP
-----Camada de 0 a 20 cm-----						
sem	0,380Aa	0,384Aa	0,384Aa	0,354Aa	0,359Aa	0,336Aa
com	0,387Aa	0,379Aa	0,353Aa	0,308Aa	0,361Aa	0,326Aa
-----Camada de 20 a 40 cm-----						
sem	0,478Aa	0,546Aa	0,607Aa	0,507Aa	0,456Aa	0,425Aa
com	0,511Aa	0,545Aa	0,381Aa	0,441Aa	0,471Aa	0,386Aa
-----Camada de 40 a 60 cm-----						
sem	0,559Aa	0,540Aa	0,427Aa	0,522Aab	0,595Aa	0,451Ab
com	0,550Aa	0,507Aa	0,477Aa	0,436Ab	0,570Aa	0,456Aab
-----Camada de 60 a 80 cm-----						
sem	0,482Aab	0,656Aa	0,442Ab	0,510Aa	0,410Aa	0,567Aa
com	0,567Aa	0,698Aa	0,537Aa	0,472Aab	0,590Ba	0,413Ab
-----Camada de 80 a 100 cm-----						
sem	0,486Aa	0,497Aa	0,520Aa	0,489Aa	0,511Aa	0,460Aa
com	0,534Aa	0,489Aa	0,471Aa	0,493Aa	0,450Aa	0,424Aa

Médias com letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t. As comparações foram feitas apenas dentro de cada camada do perfil do solo e dentro de cada zona de coleta.

Tendo a zona de tráfego como base, na camada de 60-80 cm de profundidade e sem a adição de calcário, o PC apresentou maior diâmetro radicular que os preparos profundos, possivelmente devido ao maior adensamento do solo neste preparo, pois o revolvimento do solo é feito até 40 cm, tendência essa encontrada em outros estudos, onde locais mais compactados apresentam maior diâmetro radicular (MATERECHERA et al., 1992; FREDDI et. al, 2007).

4.2.5. Parâmetros biométricos

A tabela 13 apresenta os parâmetros biométricos da cana-de-açúcar na área de Borebi-SP, mensurados um dia antes da colheita. O padrão apresentado é o mesmo do Experimento I, quando no comprimento de colmos a dose 2xDR e o PPM

se destacaram com os maiores valores em comparação aos demais tratamentos; quanto ao diâmetro de colmos, os preparos profundos e a dosagem 2xDR foram os destaques.

Tabela 13 - Comprimento e diâmetro de colmos de cana-de-açúcar em função de diferentes preparos de solo e doses de calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Borebi, SP

Comprimento de colmos (m)				
Preparos de solo*	Doses de calcário**			
	0	DR	2 x DR	3 x DR
PC	1,4Bb	1,4Bab	1,5Aa	1,5Aab
PPM	1,5Aab	1,5Aa	1,6Aa	1,4Ab
PP	1,4Bb	1,4Bb	1,6Aa	1,4Ab
Diâmetro de colmos (cm)				
PC	23,4Ba	22,8Aa	22,6Ba	22,6Ba
PPM	24,0ABa	23,4Aa	23,8Aa	24,3Aa
PP	24,8Aa	24,3Aa	24,3Aa	23,8Aa

* PC = Preparo Convencional, com aplicação de calcário em área total; PP = Preparo Profundo em Faixa com haste Subsoladora e Enxada Rotativa, com aplicação de calcário em área total; PPM = Preparo Profundo em Faixa com haste Subsoladora e Enxada Rotativa, com aplicação de calcário apenas na faixa de preparo.

** 0 = sem corretivo; DR = dose recomendada de calcário ($1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$); 2 x DR = 2 vezes a dose recomendada de calcário ($3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$); 3 x DR = 3 vezes a dose recomendada de calcário ($4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$). Médias com letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t.

Os parâmetros biométricos estão relacionados diretamente com os componentes de produção da cultura, sendo que o diâmetro de colmos possui maior efeito em cana planta e o comprimento de colmos em cana soca (SILVA et al., 2009)

4.2.6 Produtividade

A Tabela 14 apresenta os valores de produtividade em toneladas de colmos por hectare (TCH) e a quantidade de açúcar produzida em um hectare (TPH). Nesta primeira avaliação de produtividade, não foi possível averiguar uma diferença significativa entre as variáveis analisadas, possivelmente devido ao solo ser de textura arenosa e apresentar diferenças mais sensíveis das observadas em solo argiloso. Contudo ainda pode-se dizer que a DR não foi suficiente para o desenvolvimento produtivo da cultura, 2xDR apresentou maiores valores e em 3xDR os valores voltaram a cair, indicando ser prejudicial.

Tabela 14 - Produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) de cana-de-açúcar em função de diferentes preparos de solo e doses de calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Borebi, SP

TCH (t cana ha ⁻¹)				
Preparos de solo*	Doses de calcário**			
	0	DR	2 x DR	3 x DR
PC	66,0Aa	65,4Aa	71,2Aa	63,1Aa
PPM	67,3Aa	67,9Aa	71,4Aa	69,7Aa
PP	62,9Aa	67,9Aa	68,1Aa	66,6Aa
TPH (t pol ha ⁻¹)				
PC	6,1Aab	6,1Aab	6,9Aa	5,9Ab
PPM	6,4Aa	6,3Aa	6,8Aa	6,6Aa
PP	5,9Aa	6,3Aa	6,6Aa	6,1Aa

* PC = Preparo Convencional, com aplicação de calcário em área total; PP = Preparo Profundo em Faixa com haste Subsoladora e Enxada Rotativa, com aplicação de calcário em área total; PPM = Preparo Profundo em Faixa com haste Subsoladora e Enxada Rotativa, com aplicação de calcário apenas na faixa de preparo.

** 0 = sem corretivo; DR = dose recomendada de calcário (1,5 Mg ha⁻¹); 2 x DR = 2 vezes a dose recomendada de calcário (3,0 Mg ha⁻¹); 3 x DR = 3 vezes a dose recomendada de calcário (4,5 Mg ha⁻¹). Médias com letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t.

Embora não tenha havido diferença significativa, é possível dizer que os preparos profundos apresentaram tendência de possuir maiores valores produtivos isso devido ao desenvolvimento do sistema radicular que a operação possibilitou bem como a incorporação do calcário que a mesma propiciou. A dose três vezes a recomendada de calcário no PPM apresentou tendência de possuir os maiores valores dentre os preparos de solo avaliados, muito possivelmente devido a incorporação do calcário em profundidade, favorecendo o desenvolvimento radicular e em consequência maior produção.

Em relação a resposta a calagem, alguns trabalhos têm mostrado efeito positivo sobre o desenvolvimento inicial (OLIVEIRA et al., 2010) e a produtividade da cana-de-açúcar (ROSSETTO et al., 2004; BRASSIOLI et al., 2009).

Os resultados de produtividade encontrados nesta pesquisa foram inferiores à média do estado de São Paulo (77.5 kg/ha⁻¹ safra 2016/2017) (BRASIL, 2017 a), possivelmente devido à fertilidade do solo. Contudo é importante salientar que a área experimental sofreu com a geada forçando uma colheita prematura da cana-de-açúcar, com 8 meses no campo, ocasionando assim uma baixa produtividade.

5. CONCLUSÃO

O Preparo Profundo proporcionou valores inferiores de resistência a penetração, na área de canteiro, em comparação ao Preparo Convencional, e após o corte da cana planta, ainda é possível observar a formação do canteiro feito pelo equipamento Penta.

A compactação do solo arenoso é menos crítica, principalmente quando se considera a zona de canteiro nos preparos profundos, sendo o grau de compactação do solo argiloso até 4 vezes maior do que em solo arenoso; Em solo arenoso, a densidade da camada superficial do solo na zona de tráfego está próxima à densidade máxima realizada pelo ensaio de Proctor Normal, indicando ser essa uma zona extremamente compactada;

O rompimento de camadas compactadas pelo preparo profundo, utilizando equipamento Penta, propiciou maior comprimento e massa radicular em profundidade. Ou seja, a distribuição do sistema radicular no preparo profundo foi mais homogênea ao longo do perfil do que no sistema de preparo convencional.;

No preparo convencional, onde houve maior compactação do solo na zona de canteiro, foram obtidos maiores valores de diâmetro radicular da cana-de-açúcar.; O dobro da dose recomendada de calcário apresentou resultados biométricos e produtivos superiores às demais doses avaliadas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1986.
- ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. S. **Agricultura tropical**: quatro décadas de inovação tecnológica, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa Informações tecnológicas, 2008. 1336 p.
- ALCÂNTARA, F. A.; MADEIRA, N. R. **Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. 10 p. Série: Circular Técnica, 64.
- ALVARENGA, R. C. et al. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes por leguminosas, em resposta à compactação do solo. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 254, p. 421-431, 1997.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Soil preparation and nutrient losses by erosion in the culture cucumber. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 572-577, 2005.
- AN, S. S.; DARBOUX, F.; CHENG, M. Revegetation as an efficient means of increasing soil aggregate stability on the Loess Plateau (China). **Geoderma**, Amsterdam, v. 209/210, p. 75-85, 2013.
- ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 1999. p. 57-87.
- AQUINO, G.S.; MEDINA, C. C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n. 3, p.173-180, 2014.
- AQUINO, G. S. et al. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 50, n. 12, p. 1150-1159, dez. 2015.
- ARAÚJO, E.; SANTOS, J. O desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar no Brasil e sua relevância na economia nacional. **FACIDER - Revista Científica**, n. 4, p. 1-16, set. 2013.
- AYRES, A.J. **The utility of soil analysis in determining the need for applying calcium to sugar cane**. In: ISSCT CONGRESS, Mauritius, 1962, 162-196.
- BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n.1-2, p.101-109, 2000.

BAUDER, J. W.; RANDAL, G. W.; SWAN, J. B. Effect of four continuous tillage system on mechanical impedance of a clay loam soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 45, n. 4, p. 802-806, 1981.

BELTRAME, L.F.S.; TAYLOR, J.C. Causas e efeitos da compactação do solo. **Lavoura Arrozeira**, v.33, p.59-62, 1980.

BENATTI JÚNIOR, R.; FRANÇA, G. V.; MOREIRA, C. A. **Manejo convencional e reduzido em quatro tipos de solos na cultura do milho em São Paulo**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 68p.

BENEDINI, M.S.; CONDE, A.J. **Tecnologias para aumentar o ciclo de vida do canavial**. **Revista Coplacana**, p. 22- 24, jul. 2008.

BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; JOLIVET, C. **Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties**. Soil Science Society of America Journal, v.62, p.743-749, 1998.

BEZDICEK, D. F.; PAPENDICK, R. I.; LAL, R. Introduction: importance of soil quality to health and sustainable land management. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 1-8.

BLACK, C.A. **Soil fertility evaluation and control**. Florida: Lewis Publishers, 1993. 746 p.

BOHNEN, H. Acidez do solo: origem e evolução. In: KAMINSKI, J. (Coord.) **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p 9-19 (Boletim, 4).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar**, Segundo Levantamento, agosto de 2014. CONAB, Brasília, p. 1-20, ago. 2017a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **RenovaBio. 2016**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>>

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Cadastro Geral de Empregados e Desempregados**. Brasília, 2017b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, 1).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

BRASSIOLI, F. B.; PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. **Avaliação agronômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção.** *Bragantia*, v. 68, n. 2, p. 381-387, 2009.

BRAUNACK, M. V. et al. The extent of soil compaction in sugarcane soils and a technique to minimise it. **Sugar Cane**, v.5, p. 12–18, 1993.

BRIEDIS, C. et al. Changes in organic matter pools and increases in carbon sequestration in response to surface liming in an oxisol under long-term no-till. **Soil Science Society of America Journal**, v.76, p.151-160, 2012.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba: Degaspar, 1997. 132p.

CARTER, M.R. **Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams.** *Can. J. Soil Sci.*, 70:425-433, 1990.

CARVALHO, L. A. et al. Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no Centro Oeste do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 199-211, 2011.

CORRÊA, J. C. et al. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.263-272, 2009.

COSTA, L.G. et al. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.469-474, 2014.

CUNHA, A.R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: **Simpósio em Energia na Agricultura**, 1, 1999, Botucatu. Anais... Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999. p.487-91.

DEMATTÊ, J. L. I. Recuperação de manutenção da fertilidade do solo. Piracicaba: Potafos, 2005. 24p. **Informações Agronômicas** - Boletim Informativo, 111.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.

DIAS, F.L.F. et al. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 627-634, 1999.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O. Processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n. 1, p.175-182, 1996.

EKENLER, M.; TABATABAI, M.A. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidases in soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.39, p.51-61, 2003.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.

FERREIRA, E. S. et al. Efeitos da aplicação de gesso+calcário sobre algumas características químicas em latossolo vermelho amarelo. São Paulo: 1987. (**Boletim Técnico, 38**).

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium** (Lavras), v. 6, p. 36-41, 2008.

FREDDI, O. S. et al. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 627-636, 2007.

FREITAS, G. R. Preparo do solo. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 271-332. Fundação Getúlio Vargas, IGP-DI (Índice geral de preços – disponibilidade interna). dezembro 2016.

GOES, G. B. et al. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 2, p.116-122, maio-julho, 2005.

GONZALES-ERICO, E. et al. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn na Oxisol of Central Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 43, p. 1115-1158, 1979.

GRIÈVE, I. C.; DAVIDSON, D. A.; BRUNEAU, P. M. C. Effects of liming on void space and aggregation in an upland grassland soil. **Geoderma**, v.125, p.39-48, 2005.

GROHMANN, F., QUEIROZ NETO, J. P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre penetração das raízes de arroz. **Bragantia**. Campinas, v.25, p.421-431, 1966.

HATI, K.M.; SWARUP, A.; MISHRA, B. et al. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of an Alfisol. **Geoderma**, v.148, p.173-179, 2008.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H. Vehicle and wheels factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil & Tillage Research**, v. 11, p.239-282, 1988.

HELYAR, K. R. The management of acid soils. In: WRIGHT, R. T.; BALILGAR, V. C.; MURRAN, R. P. (Eds). **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 365-382.

IAMAGUTI, J. L. et al. Preparo do solo e emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 5, p. 497–504, 2015.

KERN, J. S.; JOHNSON, M. G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 1, p. 200-210, 1993.

KINGWELL, R.; FUCHSBICHLER, A. The whole-farm benefits of controlled traffic farming: an Australian appraisal. **Agricultural Systems**, v. 104, p. 513-521, 2011.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.858-867, 2002.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Sistema Santa Fé: tecnologia Embrapa: Integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antonio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (**Circular Técnica**, 38).

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, I. F. **Manejo Sustentável dos solos dos cerrados**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, I. F.; AIDAR, h. (ed.) Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 59–104.

KOFFLER, N.F., **A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água às plantas no Cerrado**. Piracicaba, POTAFÓS, 1986. 12p. (Informações Agronômicas, 33).

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México D.F., Fondo de Cultura Económica; 1948.

LAUREN, J.; DUXBURY, J.M. **Methan emissions from flooded rice emended with a green manure**. In: HARPER, L.A.; MOSIER, A.R.; DUXBURY, J.M; ROLSTON, D.E. (Ed.). Agricultural ecosystems effects on trace gases and global climate change. Madison: SSSA; ASA; CSSA, 1993. p. 183-192. (ASA. Special Publication, 55).

MAFES. **Manual Técnico Penta Hidro-3**. Disponível em:
<<http://www.cana.com.br/biblioteca/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20Penta%20Mafes.pdf>>

LICHT, M. A.; AL-KAISI, M. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. **Soil & Tillage Research**, v.80, p.233-249, 2005.

LIMA, C.C. **Canteirização com preparo convencional e profundo do solo para cana-de-açúcar: atributos físicos e sistema radicular**. Dissertação (mestrado) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas. 2016.

LINDSTRON, M.J.; VOORHEES, W. B. **Response of temperate crops to soil compaction**. In: SOANE, B.D.; van OUWERKERK, C. Soil compaction in crop

production. Amsterdam: Elsevier (Developments in Agricultural Engineering, 2). 1994, p. 265-286.

MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. In: Seminário sobre corretivos agrícolas, 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Cargill, 1984. p. 03-57.

MARASCA, I. **Avaliação dos atributos físicos de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar em área com adequação de relevo, utilizando equipamento de preparo profundo e canteirizado do solo.** 2014. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. Efeito do calcário dolomítico sobre a produção de cana-de-açúcar em Alagoas, medidos pelo pH do solo. **Cadernos Planalsucar**, Piracicaba, v. 1, n. 19-23, 1984.

MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. Calagem. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.** Piracicaba, PLANALSUCAR, 1983. p.181-208.

MARQUES, J.Q.A.; BERTONI, J. Sistemas de preparo do solo com relação à produção e à erosão. **Bragantia**, v. 20, p. 403- 459, 1961.

MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2 ed. London: Academic Press, 2002.

MATERECHERA, S.A.; ALSTON, A.M.; KIRBY, J.M. & DEXTER, A.R. **Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil.** *Plant Soil*, 144:297- 303, 1992.

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

MEDA, A. R. et al. Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.26, p. 647-654, 2002.

MIJANGOS, I. et al. Effects of liming on soil properties and plant performance of temperate mountainous grasslands. **Journal of Environmental Management**, v.91, p. 2066-2074, 2010.

MORGADO, I. F.; VIEIRA, J. R. Tecnologias canavieiras nas regiões Norte Fluminense e Sul do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes: UFRRJ, 1999. 61p. **Boletim Técnico.**

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vista à recuperação de áreas degradadas pela extração da bauxita, Poços de Caldas, MG.** 2004. 139 f. Tese (doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro.

MORELLI, J. L. et al. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 6, n. 2, p. 24-31, 1987.

MUNEER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. II. Field studies with ^{14}C -labelled straw. **Australian Journal Soil Research**, v. 27, p. 401-409, 1989.

OHASHI, A.Y.P.; PIRES, R.C. de M.; RIBEIRO, R.V.; SILVA, A.L.B. de O. **Root growth and distribution in sugarcane cultivars fertirrigated by a subsurface drip system**. *Bragantia*, v.74, p.131- 138, 2015.

OLIVEIRA, G. C. et al. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 291-299, 2003.

OLIVEIRA, T. C. A. **Estudo sobre desempenho de sistemas de piloto automático em tratores**. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OLIVEIRA, C. M. R.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; REIS, E. F.; STURM, G. M.; SOUZA, R. B. Corretivos da acidez do solo e níveis de umidade no desenvolvimento da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p.25-31, 2010.

OLMOS, I. L. J.; CAMARGO, M. N. Toxic aluminum occurrence in Brazilian soils, their characterization and distribution. **Ciência e Cultura**, v.28, p.171–180, 1976.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO, E. J. Distribuição e conservação dos solos com cana-de-açúcar no Brasil. In: ORLANDO FILHO, J. (Ed.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983. v. 2, p. 41-73.

ORLANDO FILHO, J.; SILVA, L.C.F., MANOEL, L.A. **Fontes de calcário aplicadas em área total e sulco de plantio em cana-de-açúcar**. *Stab, Açúcar Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v.8, n.1, p.11-16, 1990.

OTTO, R.; SILVA, A.P.; FRANCO, H.C.J. et al. **High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development**. *Soil and Tillage Research*, v.117, p.201-210, 2011.

PANOSSO, A. R. et al.. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, p. 190–196, 2011.

PANKHURST, C.E. et al. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research**, v. 72, n. 2, p. 125-137, 2003.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Carbon cycling and soil organic matter. In: PAUL, E. A.; CLARK, F. E. (Ed.). **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic, 1996. p. 130-155.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminum to coffee (*Coffea Arabica* L.) in Ultisols and Oxisols amended with amended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.1201-1207, 1982.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.9, p.1199-1204, 2001.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RAIJ, B. **Gesso na agricultura**. Instituto Agrônomo, Campinas. 233p. 2008.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

REICOSKY, D. C.; LINDSTROM, M. J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, 85, p. 1237-1243, 1993.

REICOSKY, D.C. et al. Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.52, n. 3/4, p. 153-165, Oct. 1999.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & KANSSON, I.H. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop, production in subtropical highly weathered soils. **Soil Tillage Res.**, 102:242-254, 2009.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1805-1816, 2008.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; SOUZA, D. M. G. Relação entre teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 269-275, 1985.

RIDLEY, A. M. et al. The importance of the carbon cycle to acidification of a grazed annual pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.30, p.529-537, 1990.

RITCHEY, K. D. et al. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 40-44, 1980.

RODRIGUES, J. C.; PALHARES, A. C. Efeito da aplicação de calcário nas propriedades químicas do solo e na produtividade de cana-de-açúcar. In: **Seminário de Tecnologia Agrônômica**, p. 303-320. Coopersucar, Piracicaba. 1986.

RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 73-80, 2007.

ROQUE, A. A. O. et al. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.45, n.7, p.744-750, jul. 2010.

ROSSETTO, R. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 124, 2011.

ROSSETTO, R. et al. Calagem para cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

SÁ, M. A. C. et al. Qualidade física do solo e produtividade da cana-de-açúcar com uso da escarificação entre linhas de plantio. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1610-1622, Sept. 2016.

SANTOS, J. D. G. J. et al. Sistema Plantio Direto de Cana-de-Açúcar no Cerrado. **Circular Técnica (30)**. Planaltina, DF, 2015.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livrocere, 2006. p.19-36.

SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS, M. de S. Júnior; CASTRO, M.B.; OLIVEIRA, L.F.C.; COSTA, K.A de P. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: I – Modelagem e quantificação da compactação adicional após as operações de colheita. **Jaboticabal**. V.30, n.3., p. 404-413, maio/jun. 2010.

SILVA, A.P.; TORMENA, A.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. **Indicadores de qualidade física do solo**. In: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.241-281.

SILVA, F. L.; PEDROZO, C. A.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, P. M. A.; VIEIRA, M. S. Análise de trilha para os componentes de produção de cana-de-açúcar via blup. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 3, p. 308-314, 2009.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo Hídrico Ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S., org. **Qualidade física do solo: Métodos de estudo e sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal, Funep, 2002. p.1-18.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho Escuro e de um Podzólico Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 239-349, 2000.

SOLERA, M. A. C. **Efeito da relação Ca:Mg, utilizando carbonatos e sulfatos, sobre o crescimento e a nutrição mineral da cana-de-açúcar**. 1988. 186f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOTERO, A. G.; SILVA, F. P. F. Avaliação das análises químicas e granulométricas de calcários utilizados na cultura da cana-de-açúcar de Pernambuco. **Brasil açucareiro**, v. 94, n. 5, p. 59-65, 1979.

SOUZA, F. C. A. **Atributos físicos de solos submetidos à escarificação na linha de plantio e em área total para cultivo da cana-de-açúcar**. 2016. 44 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

SOUZA, G.S. de. **Controle de tráfego agrícola e seus efeitos nos atributos do solo e na cultura da cana-de-açúcar**. 2012. 98p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOUZA, G. M. **Modelagem multiescala da emissão de carbono pela queima de biomassa no cerrado**. Dissertação. INPE. 2017. São José dos Campos.

STENGEL, P. **Analyse de La porosité**. Rapport, séminaire CEE – Agrimed, INRA Sciencedu Sol, Avignon, 1983.

SPIRONELLO, A. et al. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1996. cap. 22, p. 237- 239. (**Boletim Técnico n. 100**).

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.15, p.229-235, 1990.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. Penetrômetro de impacto – modelo IAA/Planalsucar – STOF (recomendações para seu uso). **Revista STAB**, jan/fev. 1983.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & LIMA, C.L.R. Grau de Compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesq. Agropec. Bras.**, 42:1159-1167, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, p.61-68, 2010.

TAVARES FILHO, J. et al. Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **R. Bras. Ci. Solo.**, v. 23, p. 393-399, 1999.

TENNANT, D. A. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v. 63, p. 995-1001, 1975.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p.573-581, 1998.

União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA). **Levantamento safra 2016/17**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/>> Acesso em: 06 nov. 2017>

União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA). **Levantamento safra 2014/15**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/>> Acesso em: 17 set. 2015.

VASCONCELOS, A.C.M. de. **Dinâmica do desenvolvimento radicular da cana de açúcar**. In: VASCONCELOS, A.C.M. de; MIRANDA, L.D. Dinâmica do desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar e implicações no controle de nematóides. 2.ed. rev. e ampl. Campinas: Adonis, 2011. p. 12-43.

VON UEXKÜLL, H. R.; MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. **Plant and Soil**, v.171, p. 1–15, 1995.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, v. 97, p. 1-16, 2002.

WÜRSCHÉ, W.; DENARDIN, L. E. Conservação e manejo dos solos - I. Planalto Rio-grandense. Considerações gerais. **Circular Técnica Nacional de Pesquisa do Trigo**, Passo Fundo, n. 2, p. 1-20, 1980.

Yao MK, Angui PKT, Konate S, et al. (2010). Effects of land use types on soil organic carbon and nitrogen dynamics in Mid-West Cote d'Ivoire. **Eur. J. Sci. Res.**, 40(2): 211 – 222.

ZANDONA, R.R., Beutler, A.N., BURG, G.M., BARRETO, C.F. SCHMIDT, M.R., Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v.45, p.128-137, 2015.

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.42, p.257-262, 1999.

APÊNDICE A - Croqui Experimento Penta Solo Argiloso - Zillor

255 m																	
15 m	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
T1	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro	3 x DRC - canteiro
T2	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro	2 x DRC - canteiro
T3	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro	DRC - canteiro
T4	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário	0 calcário
Preparo Profundo Modif.																	
Preparo Profundo																	
T5																	
T6																	
T7																	
T8																	
Preparo convencional																	
T9																	
T10																	
T11																	
T12																	
Bloco I Bloco II Bloco III Bloco IV																	
7 m																	
22m																	

DRC = Dose Recomendada de Calcário B100 baseada nas camadas 0-20 e 20-40 cm

Preparo convencional = grade + subsolagem + grade em área total

Preparo profundo = preparo somente com o Penta

Preparo profundo modif = preparo somente com o Penta e calcário no canteiro

APÊNDICE B - Croqui Projeto Penta Zillor Tecnocana

20 m bord.	4 m	20 metros	4 m	20 metros	4 m	20 metros	4 m	20 metros	4 m		
T1	Preparo convencional	0 calcário	4 m	0 calcário	4 m	0 calcário	4 m	0 calcário	4 m	48 m - 20 sulcos duplos	5 sulcos duplos
T2		3 x DRC - <i>área total</i>		3 x DRC - <i>área total</i>		3 x DRC - <i>área total</i>		3 x DRC - <i>área total</i>			
T3		2 x DRC - <i>área total</i>		2 x DRC - <i>área total</i>		2 x DRC - <i>área total</i>		2 x DRC - <i>área total</i>			
T4		DRC - <i>área total</i>		DRC - <i>área total</i>		DRC - <i>área total</i>		DRC - <i>área total</i>			
T5	Preparo Profundo	3 x DRC - <i>área total</i>	4 m	3 x DRC - <i>área total</i>	4 m	3 x DRC - <i>área total</i>	4 m	3 x DRC - <i>área total</i>	4 m	48 m - 20 sulcos duplos	5 sulcos duplos
T6		DRC - <i>área total</i>		DRC - <i>área total</i>		DRC - <i>área total</i>		DRC - <i>área total</i>			
T7		0 calcário		0 calcário		0 calcário		0 calcário			
T8		2 x DRC - <i>área total</i>		2 x DRC - <i>área total</i>		2 x DRC - <i>área total</i>		2 x DRC - <i>área total</i>			
T9	Preparo Profundo Modif.	2 x DRC - <i>canteiro</i>	4 m	2 x DRC - <i>canteiro</i>	4 m	2 x DRC - <i>canteiro</i>	4 m	2 x DRC - <i>canteiro</i>	4 m	48 m - 20 sulcos duplos	5 sulcos duplos
T10		DRC - <i>canteiro</i>		DRC - <i>canteiro</i>		DRC - <i>canteiro</i>		DRC - <i>canteiro</i>			
T11		0 calcário		0 calcário		0 calcário		0 calcário			
T12		3 x DRC - <i>canteiro</i>		3 x DRC - <i>canteiro</i>		3 x DRC - <i>canteiro</i>		3 x DRC - <i>canteiro</i>			
		Bloco I		Bloco II		Bloco III		Bloco IV			

DRC = Dose Recomendada de Calcário B100 baseada nas camadas 0-20 e 20-40 cm

Preparo convencional = grade + subsloagem + grade em área total

Preparo profundo = preparo somente com o Penta

Preparo profundo = preparo somente com o Penta e calcário no canteiro

Área útil experimento = 80 m comprimento x 120 m de largura sulcos duplos 2,4 m (1,5 x 0,90m)

Trat	Ton/há	Área total		
		Penta	Canteiro	
0,0	0,0	0	0	0
DRC	1,5	7,2	1,8	5,4
2DRC	3,0	14,4	3,6	10,8
3DRC	4,5	21,6	5,4	16,2