

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SISTEMA RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM  
SEMEADURA DIRETA E CONVENCIONAL NA RENOVAÇÃO  
DE CANAVIAL**

**Paulo Sérgio Cordeiro Junior  
Engenheiro Agrônomo**

**2020**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SISTEMA RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM  
SEMEADURA DIRETA E CONVENCIONAL NA RENOVAÇÃO  
DE CANAVIAL**

**Paulo Sérgio Cordeiro Junior**  
**Orientador: Prof. Dr. Cristiano Zerbato**  
**Co-orientador: Dr. Denizart Bolonhezi**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)

**2020**

C794s	<p>Cordeiro Junior, Paulo Sérgio</p> <p>Sistema radicular e produtividade de soja em semeadura direta e convencional na renovação de canavial / Paulo Sérgio Cordeiro Junior. -- Jaboticabal, 2020</p> <p>45 p.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal</p> <p>Orientador: Cristiano Zerbato</p> <p>Coorientador: Denizart Bolonhezi</p> <p>1. Manejo conservacionista. 2. Soja na renovação de canavial. 3. Mecanismos sulcadores. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**Câmpus de Jaboticabal**



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** SISTEMA RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM SEMEADURA DIRETA E CONVENCIONAL NA RENOVAÇÃO DE CANAVIAL

**AUTOR:** PAULO SÉRGIO CORDEIRO JUNIOR

**ORIENTADOR:** CRISTIANO ZERBATO

**COORIENTADOR:** DENIZART BOLONHEZI

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

Prof. Dr. CRISTIANO ZERBATO  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pesquisador Dr. EVERTON LUIS FINOTO (VIDEOCONFERÊNCIA)  
APTA - Polo Regional do Centro Norte / Pindorama/SP

Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI (VIDEOCONFERÊNCIA)  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 28 de julho de 2020

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**PAULO SÉRGIO CORDEIRO JUNIOR** – nascido em Catanduva, São Paulo, no dia 01 de agosto de 1995, filho de Paulo Sérgio Cordeiro e Elisangela Aparecida Seguro Cordeiro, cursou o Ensino Médio na Escola Estadual Carlos Augusto Froelich, tendo finalizado no ano de 2012. No mesmo período estudou na instituição Escola Técnica “Elias Nechar” no curso de técnico em meio ambiente. Em 2013 ingressou no Ensino Superior no curso de Agronomia, e recebeu o título de Engenheiro Agrônomo, pelo Centro Universitário de Rio Preto, em dezembro de 2017. Estagiou de agosto/2013 a fevereiro/2018 como bolsista de iniciação científica e tecnológica pelo CNPq e treinamento técnico pela FAPESP na Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócios – Polo Centro Norte, Pindorama, São Paulo. Em março de 2018, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no Programa de Produção vegetal, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal, São Paulo. Em julho de 2020, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

*“O que prevemos raramente ocorre; o que menos esperamos geralmente acontece.”*

Benjamim Disraeli

Dedico esse trabalho a minha avó, Dona Jandira Alves de Moraes, pelo amor incondicional para comigo e o restante dos seus netos e também a minha noiva, Mariana Saravalli, pelo companheirismo.

**DEDICO**

Ao meus pais, Paulo e Elisangela, dois guerreiros a quem sempre me inspiro, pela forma que me criaram e por não medir esforços para que eu pudesse estudar e se tornar um ser humano cada vez melhor.

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a DEUS, por iluminar meu caminho e me conceder saúde e proteção, pelas conquistas que já me proporcionou e pela fé que move minha vida.

A toda minha família paterna e materna.

A minha Noiva, Mariana Dispatto Saravalli.

Aos meus pais Paulo Sérgio Cordeiro e Elisangela Aparecida Seguro Cordeiro.

A meu irmão Patrick Cordeiro e a minha cunhada Geise Cabral, estando cada um sempre pronto a me acolher.

Aos meus sogros, João e Neide, aos meus cunhados, Rodolfo e Juliana, por todo carinho para comigo e pela receptividade em vossas famílias. Também ao meu sobrinho querido, João Lucas, por sempre me trazer alegria.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

Ao grande profissional da área de mecanização agrícola e agricultura de precisão Prof. Dr. Cristiano Zerbato, por me receber com seu aluno de mestrado, pelos ensinamentos, oportunidades de crescimento pessoal e profissional e principalmente por toda confiança depositada.

Ao grande defensor da prática de plantio direto, sobre tudo no sistema de produção da cana-de-açúcar, Pesquisador Científico Dr. Denizart Bolonhezi, por acreditar no meu potencial, pelas informações transmitidas e todo suporte necessário para realização deste trabalho.

Aos amigos da Unesp/fcav Watus Alves, Marco Vrech, João Godinho que ajudaram na coleta de dados e no apoio geral e amizade durante esses anos.

Aos amigos do departamento de fitotecnia do Centro de Cana/IAC, em especial aos agrônomos Élcio Leal e Olavo Betiol e aos funcionários João Barbéte e Tiago, que em momento algum, não mediram esforços para colaborar em todas as etapas de realização deste experimento.

Aos todos amigos e professores integrantes do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), na qual é referência internacional na área.

A fundação Agrisus, por acreditar na inovação do trabalho e pelo apoio financeiro aprovado por meio do projeto PA 2526, coordenado pelo co-orientador Dr. Denizart Bolonhezi.

Ao corpo de pesquisadores científicos e estagiários da Apta – Polo Regional Centro Norte, por me ensinarem a essência da agronomia.

A todos aqueles que de forma direta ou indireta, contribuíram para tornar este momento possível, fica aqui registrada minha eterna gratidão.

### **AGRADECIMENTO CAPES**

**“O Presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”**

**“This study was financed in part by the da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001”**

## SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT .....	xv
1. INTRODUÇÃO .....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
<b>4.1 Resistência mecânica do solo a penetração .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Avaliação do sistema radicular .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3 Características agronômicas e produtividade.....</b>	<b>34</b>
5. CONCLUSÕES .....	38
6. REFERÊNCIAS.....	38

## LISTA DE TABELAS

Página

<b>Tabela 1.</b> Valores médios dos atributos do sistema radicular na camada de 0 a 40cm de solo: volume (mm <sup>3</sup> ), área superficial (mm <sup>2</sup> ), diâmetro médio ponderado (mm <sup>2</sup> ), comprimento (mm), obtidos pelo software Safira e biomassa (g/183 cm <sup>3</sup> ) em sistemas de manejo do solo (M) plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), doses de calcário (C) (0, 2, 4 e 6 t ha <sup>-1</sup> ) e gesso agrícola (G) (0 e 2,5 t ha <sup>-1</sup> ) da cultivar TMG 7062, Ribeirão Preto, 2019.....	30
<b>Tabela 2.</b> Desdobramento das interações MxC, MxG e CxG para volume (mm <sup>3</sup> ) do sistema radicular na camada de 0 a 40cm de solo. ....	31
<b>Tabela 3.</b> Desdobramento das interações MxC, MxG e CxG para diâmetro médio ponderado (mm <sup>2</sup> ) do sistema radicular na camada de 0 a 40cm de solo.....	31
<b>Tabela 4.</b> Desdobramento das interações MxC, MxG e CxG para biomassa (g/183 cm <sup>3</sup> ) do sistema radicular na camada de 0 a 40cm de solo .....	32
<b>Tabela 5.</b> Valores médios dos componentes agrônômicos de produção: Altura de planta (cm)(AP), altura de inserção 1 <sup>a</sup> vagem (cm) (AV), número de nós reprodutivos por planta (NR), número de vagens por planta (NV), peso de mil sementes (g) (PMS) e produtividade kg ha <sup>-1</sup> (PROD) em sistemas de manejo do solo (M) plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), doses de calcário (C) (0, 2, 4 e 6 t ha <sup>-1</sup> ) e gesso agrícola (G) (0 e 2,5 t ha <sup>-1</sup> ), Ribeirão Preto, 2019 .....	35
<b>Tabela 6.</b> Desdobramento das interações MxC e CxG para altura de plantas (cm) .....	36
<b>Tabela 7.</b> Desdobramento da interação CxG para altura de inserção da 1 <sup>a</sup> vagem (cm) .....	36
<b>Tabela 8.</b> Desdobramento das interações MxC, MxG e CxG para nº de nós reprodutivos/planta.....	36

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Imagem aérea da área experimental destacando as parcelas de semeadura direta e preparo convencional do solo.....	21
<b>Figura 2.</b> Modificação realizada no conjunto semeadora-adubadora, sendo a esquerda disco duplo desencontrado e a esquerda haste sulcadora, ambos na sequência do disco corta palha. ....	22
<b>Figura 3.</b> Dados meteorológicos CIIAGRO, Ribeirão Preto, SP. ....	25
<b>Figura 4.</b> Valores médios da resistência do solo a penetração mecânica antecedendo (A), durante (B) e após (C) a condução do experimento. SD- Semeadura direta e PC-preparo convencional, L-linha e E-entrelinha, HE- Haste escarificadora e DD-Disco duplo.....	27
<b>Figura 5.</b> Valores média de umidade do solo antecedendo (A), durante (B) e após (C) a condução do experimento, coletadas simultaneamente as leituras de RMSP. PC-Preparo convencional e PD-Plantio Direto.....	29
<b>Figura 6.</b> Biomassa de raiz t ha <sup>-1</sup> na camada 0-40cm de solo.....	32
<b>Figura 7.</b> Biomassa de raiz t ha <sup>-1</sup> na camada 0-40cm de solo, considerando o fator haste escarificadora somente para o tratamento plantio direto. ....	33
<b>Figura 8.</b> Valores médios de produtividade kg ha <sup>-1</sup> (PROD) em sistemas de manejo do solo (M) plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), doses de calcário (C) (0, 2, 4 e 6 t ha <sup>-1</sup> ) e gesso agrícola (G) (0 e 2,5 t ha <sup>-1</sup> ) Ribeirão Preto, 2019. ....	37
<b>Figura 9.</b> Valores médios de produtividade kg ha <sup>-1</sup> (PROD) em mecanismos sulcadores e distribuidores de adubo da semeadora (M) Haste escarificadora e disco duplo desencontrado, doses de calcário (C) (0, 2, 4 e 6 t ha <sup>-1</sup> ) e gesso agrícola (G) (0 e 2,5 t ha <sup>-1</sup> ) Ribeirão Preto, 2019.....	37

## **SISTEMA RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM SEMEADURA DIRETA E CONVENCIONAL NA RENOVAÇÃO DE CANAVIAL**

### **RESUMO**

A área cultivada com a cultura da soja no Estado de São Paulo já ultrapassou 900 mil hectares e apresenta perspectivas de continuar crescendo nos próximos anos, sobretudo em reforma de canaviais. A semeadura direta de soja sobre palhada de cana crua já é conhecida e aperfeiçoada há 20 anos. Contudo, muito abaixo do potencial produtivo da soja atualmente. Em vista desse contexto, uma questão se apresenta. Como aumentar a produtividade da soja em semeadura direta sobre palhicho de cana crua? A pesquisa teve como objetivos estudar o crescimento do sistema radicular e a produtividade da soja, semeada com e sem haste escarificadora e na presença ou ausência de gesso, em experimento de longa duração sobre doses de calcário e semeadura direta na reforma de cana crua. A pesquisa foi iniciada em 1998 por pesquisadores do IAC e está instalada sobre um LATOSSOLO Vermelho eutrófico (Centro Avançado de Pesquisa em Cana do IAC, Ribeirão Preto). Utilizando-se delineamento em blocos ao acaso, os tratamentos foram arranjados em parcelas sub-subdivididas, sendo os dois mecanismos sulcadores ( haste escarificado e discos duplos desencontrados) no sistema semeadura direta os tratamentos principais e as quatro doses de calcário (0, 2, 4 e 6 t ha<sup>-1</sup>) os tratamentos secundários (aplicadas em 1998, 2003, 2008 e 2018). Essa configuração original sofreu modificação com a inclusão de mais uma causa de variação, a aplicação de gesso agrícola, nas doses 0 e 2,5 t ha<sup>-1</sup>, todos dispostos em 4 repetições no campo. Nessa reforma, utilizou-se calcário dolomítico. A dose aplicada de gesso foi 2.500 kg ha<sup>-1</sup>. A

semeadora utilizada marca Tatu Marquesam, modelo COP-CA. Foi utilizada a cultivar comercial de soja TMG 7062 seguindo as devidas recomendações técnicas para o pleno desenvolvimento das plantas. Foram realizadas as seguintes avaliações: resistência Mecânica do Solo à Penetração, avaliação do Sistema Radicular e componentes da Produção e Produtividade de Grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F) e ao teste de Tukey à 1 e 5% para a comparação das médias. Foi realizada análises de regressão polinomial para os tratamentos em função das doses de calcário.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Glycine max*; cana-de-açúcar; sucessão de culturas; sistema plantio direto; palhada de cana.

## **A RADICULAR SYSTEM AND SOYBEAN PRODUCTIVITY IN DIRECT AND CONVENTIONAL SEEDING IN THE RENEWAL OF CANAVIAL**

### **ABSTRACT**

The area cultivated with the cultivation of soybeans in the State of São Paulo has already exceeded 900 thousand hectares and shows prospects of continuing to grow in the coming years, especially in the reform of cane fields. Direct soybean sowing on raw cane straw has been known and improved for 20 years. However, far below the productive potential of soy today. In view of this context, a question arises. How to increase the productivity of soybean under no-tillage on raw sugarcane straw? The research aimed to study the growth of the root system and the productivity of soybeans, sown with and without scarifying stem and in the presence or absence of plaster, in a long-term experiment on limestone doses and direct sowing in the reform of raw cane. The research was initiated in 1998 by researchers from the IAC and is installed on an eutrophic LATOSOLO Vermelho (IAC Advanced Center for Sugarcane Research, Ribeirão Preto). Using a randomized block design, the treatments were arranged in sub-subdivided plots, with the two furrow mechanisms (scarified stem and double discs missing) in the direct seeding system as the main treatments and the four limestone doses (0, 2, 4 and 6 t ha<sup>-1</sup> secondary treatments (applied in 1998, 2003, 2008 and 2018). This original configuration was modified with the inclusion of one more cause of variation, the application of agricultural plaster, in doses 0 and 2.5 t ha<sup>-1</sup>, all arranged in 4 repetitions in the field. In this reform, dolomitic limestone was used. The applied plaster dose was 2,500 kg ha<sup>-1</sup>. The seeder used by Tatu Marquesam, model COP-CA. The commercial soybean cultivar TMG 7062 was used, following the appropriate technical recommendations for the full development of the plants. The following evaluations were carried out: Soil Mechanical Resistance to Penetration, Evaluation of the Root System and components of Grain Production and Productivity. The data were submitted to analysis of variance (Test F) and Tukey's test at 1 and 5% for comparison of means.

**Index terms:** *Glycine max*; *sugar cane*; succession of cultures; no-till system; cane straw.

## 1. INTRODUÇÃO

A área em cultivo de soja no estado de São Paulo e no Brasil, considerando a última safra, atingiram respectivamente 976 mil e 35,8 milhões de hectares (CONAB, 2019). Comparando-se a safra 1996/97 com a safra 2018/19, verifica-se que a área em cultivo aumentou de 6,9 para 35,8 milhões de hectares no Brasil (5 vezes), enquanto no mesmo período a área dobrou em terras paulistas. Além do avanço, a produtividade de grãos aumentou significativamente em São Paulo ao longo dos anos, saltando de 30 sc/ha em 1976/77 para 59 sc/ha na safra 2017/18. Desde o início dos anos 80, é conhecido o vínculo da cultura da soja com a reforma dos canaviais. A recente expansão verificada, cerca de metade da área de soja foi cultivada em reforma de canaviais, o que equivale a 333 mil hectares, ultrapassando 400 mil na safra corrente. Somente em sistema MEIOSI (20% da cana reformada, considerando 442 mil ha levantados) a soja esteve presente em aproximadamente 44 mil hectares no estado de São Paulo e com grande tendência de aumentar (BOLONHEZI, 2019).

Com o potencial produtivo das novas cultivares de soja é possível obter produtividades superiores a 100 sacas por hectare. Essa meta tem sido bastante divulgada anualmente por intermédio do concurso realizado pelo CESB (Comitê Estratégico Soja Brasil). Todavia, é sabido que em reforma de canaviais a média dos bons produtores não ultrapassa 56 sc/ha quando utiliza-se semeadura direta sobre palhiço de cana crua (BOLONHEZI, 2019)

Mesmo com mais de 20 anos de resultados de pesquisa e validação comercial, a adoção da semeadura direta da soja sobre palhiço de cana crua não ultrapassa 50 mil hectares. Em pesquisa realizada no Vale do Paranapanema (Doná et al., 2019), verificou que para a média de 12 genótipos, a produtividade de grãos em reforma de canavial (Neossolo Quartzarênico) produziu 48% menos que em sucessão ao milho safrinha (Latosolo Vermelho, argiloso).

Em vista desse contexto, uma questão se apresenta. Como aumentar a produtividade da soja em semeadura direta sobre palhiço de cana crua? O uso de haste escarificadora (“botinhas”) nas semeadoras e aplicação de gesso podem ser alternativas.

Considerando o exposto, essa pesquisa tem como objetivos estudar o crescimento do sistema radicular e a produtividade da soja, semeada com e sem haste escarificadora e na presença ou ausência de gesso, em experimento de longa duração sobre doses de calcário e semeadura direta na reforma de cana crua.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Com o advento da colheita mecanizada de cana crua, é desejável a adoção dos princípios da agricultura conservacionista, que tem como alicerce, o mínimo revolvimento do solo, manutenção de resíduos na superfície, uso de rotação de culturas e controle de tráfego (Derpsch et al., 2011), permitindo diminuir o custo de implantação do canavial em até 40% (Bolonhezi et al., 2015).

As primeiras experiências sobre adoção do plantio direto na reforma de cana crua foram iniciadas em 1996, na região NE do Estado de São Paulo, utilizando cultura da soja com redução de 32% nos custos de produção (Bolonhezi & Tanimoto, 2001; Bolonhezi et al., 2000; Tanimoto & Bolonhezi, 2000; Christoffoleti et al., 2007). Com a tecnologia da soja transgênica RR, é possível semear a soja antes da destruição química da soqueira sem perder produtividade, desde que se utilize semeadora adequada para evitar problemas de “embuchamento” (Finoto et al., 2015).

O IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) coordena projeto de validação do desempenho de genótipos de soja na semeadura direta sobre palhiço de cana crua. Resultados das safras 2014/15 e 2016/17 demonstram que existem cultivares com potencial produtivo acima de 3600 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura direta sobre palhiço de cana (Barini et al., 2017a; Barini et al., 2017b). Por outro lado, estudos conduzidos em reforma de canaviais, porém com preparo convencional, a produtividade de grãos de soja superou 5000 kg ha<sup>-1</sup> (Pavão et al., 2015).

A presença de compactação devido ao tráfego é uma realidade, e pode ter seus efeitos minimizados através da substituição do disco duplo pela haste escarificadora na distribuição do fertilizante. Camara e Klein (2005), estudando alternativas de reduzir a compactação do solo em áreas de plantio direto, verificaram que a haste escarificadora, embora contribua para aumentar em 11% a incorporação dos restos culturais, proporcionou redução da densidade do solo,

aumentou a infiltração de água e a rugosidade superficial. Outras pesquisas conduzidas para as condições do Sul do Brasil, concluíram que o uso de “facões” ou hastes escarificadoras (13 cm de profundidade) nas semeadoras, mostraram-se mais efetivos na mitigação da compactação do solo do que a intervenção drástica com aração ou escarificação (persistência de 2,5 anos), porém sem efeito sobre a produtividade da soja (Drescher et al., 2011; Drescher et al., 2012).

Pesquisas conduzidas com soja cultivada em rotação com arroz de várzea, demonstram que o uso da haste escarificadora proporcionou aumento médio de 12% na produtividade de grãos (Sartori et al., 2015) e aumentou o comprimento, a área e o volume das raízes de soja, quando comparado ao uso do disco duplo desencontrado (Werle et al., 2016).

A soja é uma cultura muito responsiva à prática da calagem e as bases das recomendações baseiam-se na incorporação desse corretivo de acidez (Mascarenhas et al., 1969; Quaggio et al., 1993). De acordo com Ahmad et al. (2016), a calagem aumenta a absorção de N mineral do solo, conseqüentemente reduz as perdas por lixiviação, porém em condição de temperaturas elevadas, a FBN na soja é reduzida e aumentam as perdas de N do sistema. Verifica-se menor resposta da soja à aplicação do calcário em sistemas com plantio direto já estabilizados, devido muito possivelmente à neutralização do efeito tóxico do alumínio, decorrente da formação de complexos orgânicos solúveis presentes nos resíduos orgânicos vegetais, ou em função da maior disponibilidade de cálcio e magnésio trocáveis, mesmo em condições de acidez (Caires et al., 2001).

Embora muito conhecimento já tenha sido gerado sobre critérios de aplicação de corretivos em sistema plantio direto já estabilizado (Nolla e Anghinoni, 2006) ainda há muito a ser estudado, sobretudo para as condições de canavial.

A resposta em produtividade e crescimento de raiz da soja em função de doses de gesso não tem sido verificada de forma expressiva e quando ocorre, está relacionada com períodos de acentuada deficiência hídrica (Martins et al., 1998; Caires et al., 2001; Caires et al., 2003; Pauletti et al., 2014). Borges et al. (2013), estudaram o efeito de calcário, gesso e óxido de cálcio aplicados em superfície para condições de ILPF, e concluíram que a aplicação de 2500 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> de gesso associado a 260 kg ha<sup>-1</sup> de óxido de cálcio aumentou a altura das plantas e a produtividade de grãos da soja.

O sistema radicular da soja é composto por raiz pivotante e laterais, cerca de 70 % está concentrado nos primeiros 10 cm do solo e pode atingir profundidades entre 0,75 m e 1,90 m, ou superiores (Inforzato, 1969; Fan et al., 2016). O máximo crescimento ocorre no estágio de desenvolvimento R2/R3 e R4/R5, respectivamente para cultivares de ciclo determinado e indeterminado, sendo que cessa sua atividade no estágio R7 (Câmara, 2018). Embora existam diferenças genéticas quanto à maior resistência à seca, muitas vezes relacionada com o ângulo das raízes laterais em relação ao caule (Fenta et al., 2014), a presença de *mulching* contribui para reduzir em até 2 °C a temperatura na superfície do solo e pode aumentar entre 34 e 59% a produtividade da soja, quando comparada com solo descoberto (Kader et al., 2017).

Há diversos resultados de pesquisa relacionando a presença de camadas compactadas com o crescimento das raízes de soja. Rosolem et al. (1994), em estudo conduzido em condições controladas, concluiu que valores de resistência mecânica à penetração de 0,69 MPa reduziu em 50% o crescimento radicular da soja. Beutler et al. (2004), em estudo de campo, verificou que acima de 0,85 MPa na camada de 0,5 a 0,15 m ocorreu decréscimo de 18% na densidade radicular e diminuição na produtividade de grãos. Por outro lado, algumas pesquisas concluíram que mesmo na presença de níveis de compactação altos, as diferenças na produtividade da soja somente são verificadas quando há restrição hídrica (Cardoso et al., 2006). Além disso, o efeito do cultivo de plantas de cobertura em rotação com soja proporcionam melhoria nas características físicas semelhantes ao uso da escarificação mecânica (Calonego e Rosolem, 2010), bem como a adoção do controle de tráfego contribui para aumentar em 7% a produtividade de grãos na cultura da soja (Girardello et al., 2017).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi iniciada em 1998 e está instalada sobre um Latossolo Vermelho eutrófico (Centro Avançado de Pesquisa em Cana do IAC – Instituto

Agrônomo de Campinas, Ribeirão Preto). Trata-se de um experimento de longa duração (21 anos) sobre calagem no plantio direto para o sistema de produção cana-grãos. Utilizando-se delineamento em blocos ao acaso, os tratamentos foram arranjados em parcelas sub-subdivididas, sendo os dois mecanismos sulcadores ( haste escarificado e discos duplos desencontrados) no sistema semeadura direta os tratamentos principais e as quatro doses de calcário (0, 2, 4 e 6 t ha<sup>-1</sup>) os tratamentos secundários (aplicadas em 1998, 2003, 2008 e 2018). Contudo, essa configuração original sofreu modificação com a inclusão de mais uma causa de variação, ou seja, a aplicação de gesso agrícola, nas doses 0 e 2,5 t ha<sup>-1</sup>, totalizando então 64 parcelas experimentais. todos dispostos em 4 repetições no campo.



**Figura 1.** Imagem aérea da área experimental destacando as parcelas de semeadura direta e preparo convencional do solo.

Nessa reforma, utilizou-se calcário dolomítico marca Diamante (PN-83%, PRNT-70%, CaO=25% e MgO= 17%). A dose aplicada de gesso foi 2.500 kg ha<sup>-1</sup> (18% de cálcio e 15% de enxofre, forma granulada, marca Agronelli).

A semeadora utilizada marca Tatu Marquesam, modelo COP-CA (Controle de Ondulação Permanente – Chassis Alto) com 09 linhas espaçadas a 50 cm na qual sofreu alteração. Nas três linhas centrais, as hastes escarificadoras, presentes na versão original, foram substituídas por discos duplos desencontrados. Essa modificação foi possível mediante alguns ajustes

orientados pelo fabricante. A regulagem de profundidade foi a mesma para ambos os sistemas (haste e discos).



**Figura 2.** Modificação realizada no conjunto semeadora-adubadora, sendo a esquerda disco duplo desencontrado e a esquerda haste sulcadora, ambos na sequência do disco corta palha.

Foi utilizada a cultivar comercial de soja TMG (Tropical Melhoramento Genético) 7062 com tecnologia IPRO (*Round Up Ready* e Bt). A densidade de semeadura foi 12 por metro. As sementes foram co-inoculadas, ou seja, receberam 400 mL/50 kg de *Bradyrhizobium japonicum*, mais 100 mL/50 kg de *Azospirillum brasiliense*. A adubação consistiu do fornecimento de 9,6, 48 e 48 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, por via da aplicação de 240 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-20-20. Quanto à aplicação de herbicida, foram realizadas duas aplicações de glifosato, além de duas pulverizações com fungicidas e 3 com inseticidas.

Foram realizadas as seguintes avaliações:

- Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RMSP): Foram realizadas três avaliações da resistência mecânica do solo à penetração: antes da implantação do experimento, pleno desenvolvimento da soja e após a colheita da soja. Utilizou-se

penetrômetro digital modelo PNT2000 da marca DLG, para acompanhar a variação da RMSP. As medidas foram realizadas na linha e entrelinha de semeadura. Foram consideradas médias de 5 leituras em cada sub-sub parcela. Concomitantemente, foram retiradas amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm para determinar a umidade pelo método gravimétrico.

- Avaliação do Sistema Radicular: foram realizadas amostragens de solo para estudo do sistema radicular da soja adotando-se o método da sonda. Amostras de solo foram coletadas na linha e a 20 cm de cada lado, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para lavagem e limpeza, em que as raízes separadas do solo foram colocadas em frascos de plástico e congeladas. Posteriormente, foram descongeladas e posicionadas sobre placa de acrílico para geração de imagens em scanner de mesa. As imagens foram submetidas ao software Safira® da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), sendo que a imagem para ser processada passa pelo processo de segmentação, rotulação, transformação em distância, esqueletonização e diâmetro (Jorge e Silva, 2010). Na sequência, as raízes foram colocadas em estufa para secar por 72 horas a 65°C. Esse procedimento forneceu as seguintes características: biomassa seca, comprimento, área, volume e diâmetro médio ponderado.

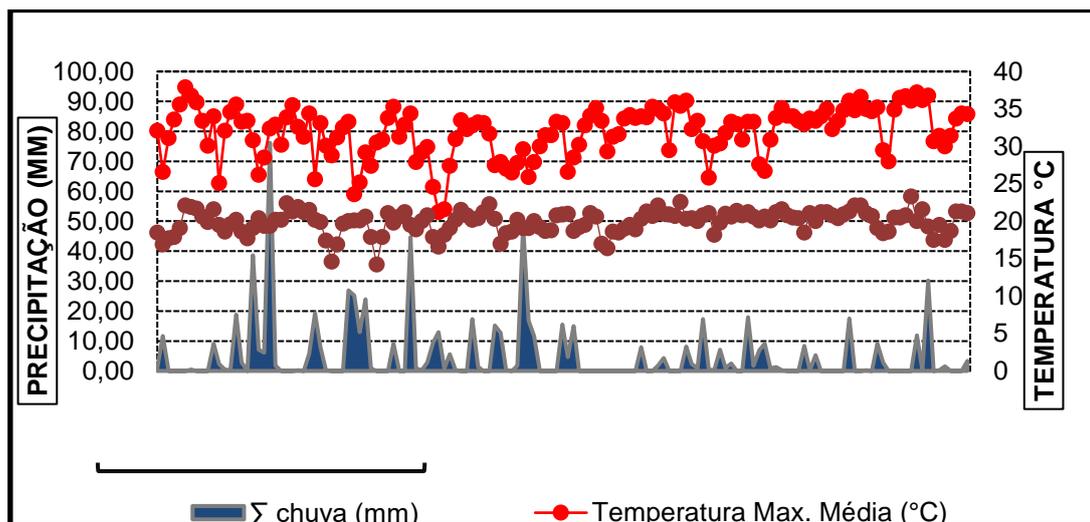
- Componentes da Produção e Produtividade de Grãos: Por ocasião do estágio de desenvolvimento R8, foram colhidas duas linhas de 5 metros de comprimento em todas as parcelas, nas duas cultivares testadas. Todas as plantas foram arrancadas manualmente e para cada amostra foram determinadas as seguintes características; estande final, biometria em 5 plantas (altura de inserção da primeira vagem, altura de plantas, número de nós, número de vagens, massa de 100 grãos e umidade dos grãos) e a trilha do restante da amostra, visando a produtividade de grãos. Após essa amostragem, toda a parcela foi colhida com colhedora automotriz para distribuição dos resíduos culturais sobre a superfície do solo.

Os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F) e ao teste de Tukey à 1 e 5% para a comparação das médias. Foi realizada análises de regressão polinomial para os tratamentos em função das doses de calcário. Foi utilizado o programa de computacional Agroestat.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Verifica-se que entre os meses de setembro, outubro e novembro de 2018, o acumulado de chuva ultrapassou os 400 mm, em que o período de estiagem ocorrido entre meados de dezembro/2018 e janeiro/2019, coincidiu com os estádios de desenvolvimento R3 e R5.5, nos quais ocorre a maior demanda hídrica da cultura. O total de chuva acumulada nos meses de dezembro e janeiro não chegou a 160 mm, menos de 2,6 mm por dia. De acordo com Sentelhas et al. (2015), a deficiência hídrica e o manejo da cultura são responsáveis por 74% e 26% do *yield gap* da soja no Brasil, respectivamente.

A produtividade potencial é a obtida sem restrições hídricas, com bom manejo nutricional e com todo rigor no controle fitossanitário. Nesse caso, a produtividade dependerá da radiação solar, da temperatura, da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, bem como de práticas de manejo que influenciam a duração do ciclo da cultura e a interceptação da luz, tais como; data de semeadura, maturidade do genótipo e população de plantas (Evans e Fisher, 1999).



**Figura 3.** Dados meteorológicos CIIAGRO, Ribeirão Preto, SP.

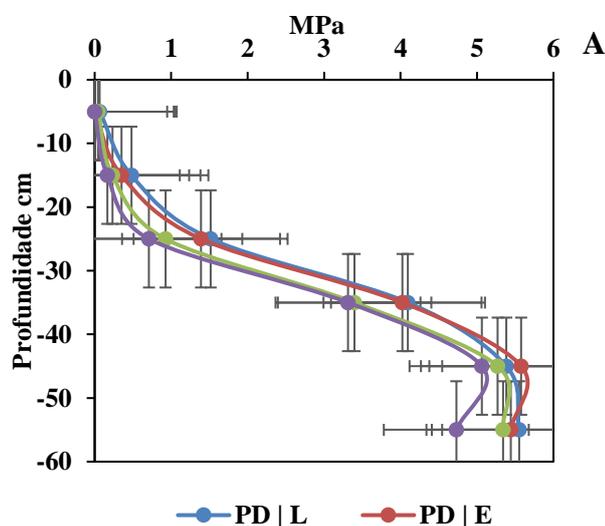
#### 4.1 Resistência mecânica do solo a penetração

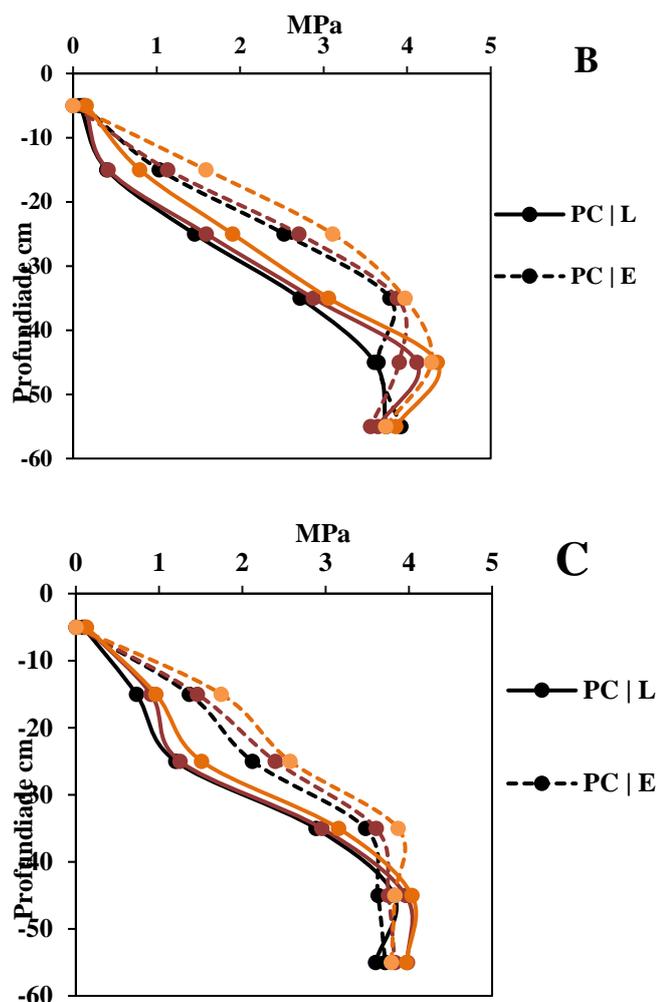
Os valores de resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) medidos no mês de setembro de 2018 (período seco), indicaram alto nível de compactação do solo na camada abaixo de 25 cm nos dois manejos, mas um pouco superior no plantio direto (Figura 4-A). Essa situação é esperada em sistemas de colheita mecanizada, porém nota-se que o aumento em profundidade segue a mesma tendência, tanto no manejo com preparo convencional, quanto no plantio direto sem distúrbio desde 1993. Considerando que a compactação decorrente da colheita mecanizada associada com pisoteio das soqueiras pode reduzir em 50% a produtividade dos canaviais (Cherubin et al., 2016), após 16 cortes mecanizados esperava-se encontrar contrastes maiores entre os dois sistemas de manejo de solo. Outro aspecto a ser observado nesse diagnóstico preliminar é a pequena diferença entre as leituras efetuadas na linha e na entrelinha. De acordo com Esteban et al. (2019), os

valores de RMSD aumentaram em média 1,0 MPa entre o terceiro e quarto corte, sobretudo na camada entre 20 e 40 cm no centro da entrelinha.

Mas como critério para tomada de decisão, tendo em vista a semeadura da soja, pode-se dizer que não havia diferença entre os manejos e que os valores se apresentavam abaixo de 2,0 MPa nos primeiros 25 cm de profundidade. Os resultados apresentados na Figura 4-B, não implicaria problema ao desenvolvimento do sistema radicular da soja, o qual está concentrado nos primeiros 25 cm de profundidade do solo.

Na Figura 4-C (após colheita da soja), encontram-se as variações em profundidade da RMSD dos dois manejos de solo combinado com sistema de sulcação na distribuição do fertilizante (disco duplo e haste escarificadora), considerando a média das doses de calcário. Nota-se que para ambas as avaliações, na camada compreendida entre 10 e 40 cm, que a haste escarificadora proporcionou diminuição da RMSD em comparação com o disco duplo desencontrado, aproximando-se do tratamento preparo convencional. Vale mencionar, que mesmo na entrelinha é verificada diminuição da RMSD no tratamento com haste escarificadora. A presença de compactação devido ao tráfego é uma realidade, e pode ter seus efeitos minimizados através da substituição do disco duplo pela haste escarificadora na distribuição do fertilizante. Camara e Klein (2005), estudando alternativas de reduzir a compactação do solo em áreas de plantio direto, verificaram que a haste escarificadora, embora contribua para aumentar em 11% a incorporação dos restos culturais, proporcionou redução da densidade do solo, aumentou a infiltração de água e a rugosidade superficial.



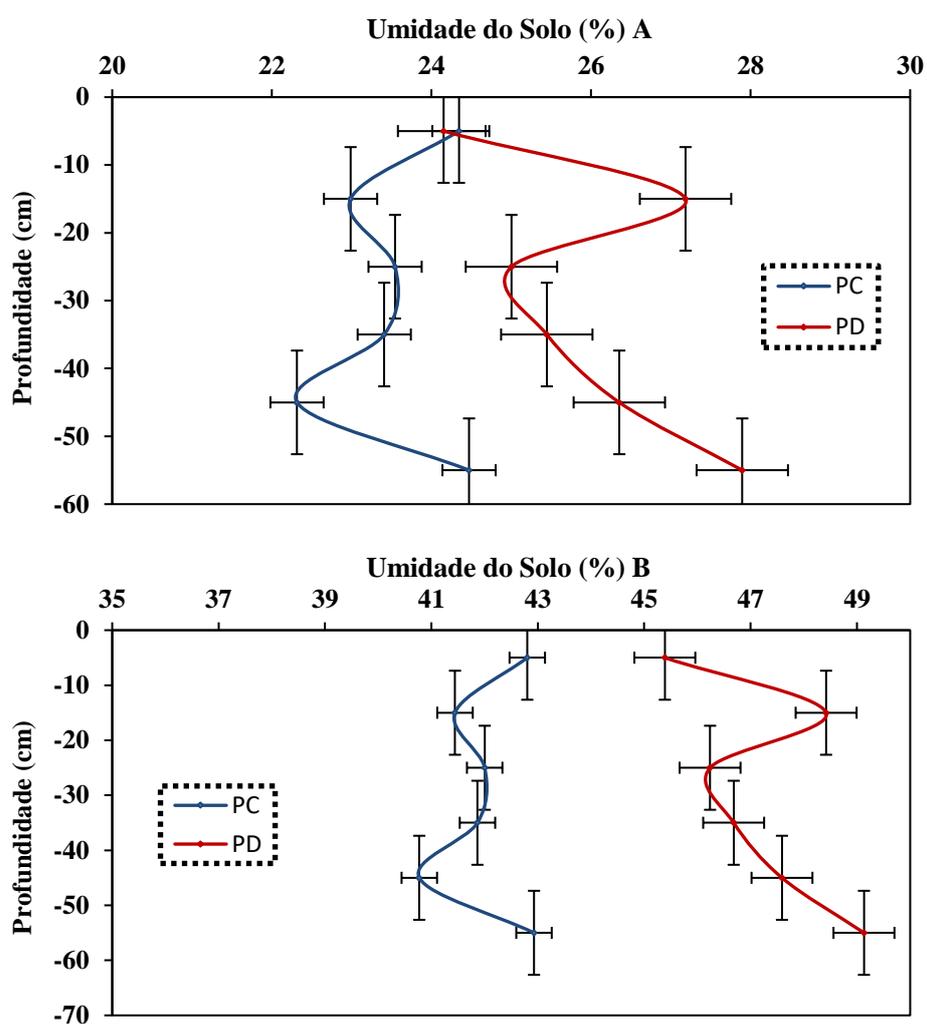


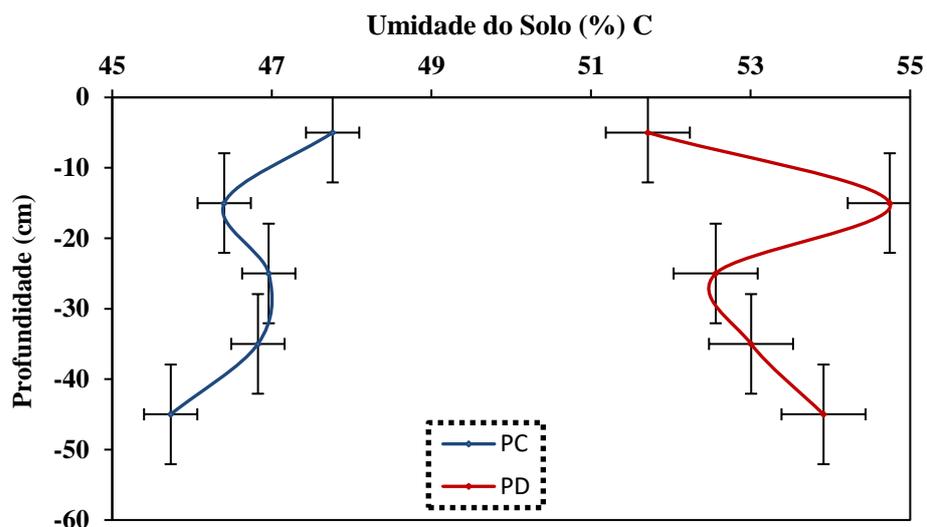
**Figura 4.** Valores médios da resistência do solo a penetração mecânica antecedendo (A), durante (B) e após (C) a condução do experimento. SD-Semeadura direta e PC-preparo convencional, L-linha e E-entrelinha, HE-Haste escarificadora e DD-Disco duplo.

O benefício da haste escarificadora, também foi a conclusão de Mentges et al. (2010), os quais estudaram diversos atributos físicos de um solo franco-arenoso submetido a 13 anos de semeadura direta e concluíram que a condutividade hidráulica aumentou em 325% após uso das hastes escarificadora e não foi verificou-se compactação adicional abaixo da haste, embora a demanda em potência do trator tenha aumentado em 21,64%.

Embora os valores de RMSD medidos no manejo semeadura direta, sempre apresentaram valores superiores aos adquiridos no tratamento preparo convencional, os efeitos sobre o desenvolvimento vegetativo, sobre o crescimento do sistema radicular e sobre a produtividade podem tem sido

atenuado, pelos maiores conteúdos de água no solo. Verifica-se que nos três períodos de avaliação (Figura 18), os conteúdos de água foram superiores na condição de palhada de cana crua. Os benefícios da palhada em termos de manutenção de maiores conteúdos de água no solo já foram estudados para cana-de-açúcar (Las Scala et al., 2006) e tornou-se um dos argumentos para os sojicultores que adotam a semeadura direta sobre palhizo de cana crua nos últimos 20 anos (Bolonhezi et al., 2000; Bolonhezi et al., 2013).





**Figura 5.** Valores média de umidade do solo antecedendo (A), durante (B) e após (C) a condução do experimento, coletadas simultaneamente as leituras de RMSP. PC-Preparo convencional e PD-Plantio Direto.

#### 4.2 Avaliação do sistema radicular

Os resultados referentes às principais características quantificadas na cultivar de soja TMG 7062 estão apresentadas Tabela 1. Nota-se que houve interação significativa entre os três fatores manejo x calagem, manejo x gesso e calagem x gesso para as características volume, diâmetro e biomassa seca, as quais apresentam desdobramento nas Tabelas 2, 3 e 4. Pode-se observar que a semeadura direta houve aumento significativo na área e comprimento, considerando a média de doses de calcário e gesso. Houve diferença estatística na área e comprimento das raízes com o aumento das doses de calcário, assim como, com a aplicação de gesso. É importante esclarecer que esses valores são referentes à camada de 0-40 cm de profundidade.

Para todas as doses de calcário, a semeadura direta aumentou o volume, o diâmetro e a biomassa seca das raízes, conforme os desdobramentos apresentados nas tabelas seguintes. Exceto na dose mais alta de calcário, a aplicação de gesso contribuiu para aumentar significativamente o volume, o diâmetro médio e a biomassa seca das raízes. Na Figura 6 pode-se observar que sobretudo na ausência de calcário, nos dois sistemas de manejo, a aplicação do gesso proporcionou expressivo aumento na biomassa seca das raízes.

**Tabela 1.** Valores médios dos atributos do sistema radicular na camada de 0 a 40cm de solo: volume (mm<sup>3</sup>), área superficial (mm<sup>2</sup>), diâmetro médio ponderado (mm<sup>2</sup>), comprimento (mm), obtidos pelo software Safira e biomassa (g/183 cm<sup>3</sup>) em sistemas de manejo do solo (M) plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), doses de calcário (C) (0, 2, 4 e 6 t ha<sup>-1</sup>) e gesso agrícola (G) (0 e 2,5 t ha<sup>-1</sup>) da cultivar TMG 7062, Ribeirão Preto, 2019.

Manejos (M)	Volume	Área	Diâmetro	Comprimento	Biomassa
PC	344,03 a	2011,8 b	9,18 b	1600,8 b	0,3046 b
PD	328,26 b	2064,9 a	5,15 a	1633,3 a	0,4612 a
F	279,44 **	15,191 **	660,75 **	301,63 **	59,652 **
D.M.S (5%)	0,0105	0,0167	0,4983	0,0028	0,1537
Calagem (C)					
C0	251,28 d	1968,1 b	4,75 d	1598,1 c	0,2646 d
C2	327,22 c	2057,3 a	5,04 c	1617,5 b	0,3061 c
C4	422,72 a	2087,3 a	11,53 a	1634,5 a	0,5117 a
C6	343,35 b	2040,7 a	7,34 b	1618,1 b	0,4493 b
F	2729,9 **	13,451 **	1210,7 **	9099,2 **	346531 **
D.M.S (5%)	0,0166	0,0269	0,3599	0,0004	0,0032
Gessagem (G)					
G0	309,99 b	1794,2 b	5,37 b	1611,2 b	0,3085 b
G2	362,96 a	2282,5 a	8,96 a	1622,9 a	0,4574 a
F	1523,3 **	1290,8 **	3625,2 **	5548,3 **	573192 **
D.M.S (5%)	0,0086	0,0139	0,1232	0,0002	0,0016
MxC	234,24 **	1,0033 ns	110,8 **	1,9997 ns	28824 **
MxG	223,91 **	1,8618 ns	34,58 **	0,0664 ns	10511 **
CxG	10,808 **	0,7652 ns	269,72 **	1,0907 ns	177108 **
MxCxG	22,313 ns	1,0073 ns	272,35 *ns	1,0006 ns	7,5 ns
C.V. (%) (M)	21,73	12,35	18,46	17,6	20,95
C.V. (%) (C)	29,64	16,31	19,65	15,52	17,11
C.V. (%) (G)	28,29	11,82	20,9	12,25	22,66

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* significativo a 5%. D.M.S. Diferença Mínima Significativa. C.V. Coeficiente de Variação

**Tabela 2.** Desdobramento das interações MxC, MxG e CxG para volume (mm<sup>3</sup>) do sistema radicular na camada de 0 a 40cm de solo.

	C0		C2		C4		C6		F	D.M.S (5%)
PC	280,82	aD	333,19	aC	407,98	bA	354,11	aB	693,65	**
PD	221,74	bD	321,25	bC	437,46	aA	332,58	bB	2270,5	**
F	838,27	**	30,817	**	58,833	**	56,8	**		
D.M.S (5%)	0,00173									
	G0		G2		F		D.M.S (5%)			
PC	326,71	aB	364,57	aA	289,57	**	0,0121			
PD	291,95	bB	361,34	aA	1457,6	**				
F	502,68	**	2,7425	ns						
D.M.S (5%)	0,0126									
	G0		G2		F		D.M.S (5%)			
C0	231,84	dB	270,72	cA	392,54	**	0,0171			
C2	296,64	cB	357,8	bA	526,87	**				
C4	321,98	aB	458,59	aA	409,92	**				
C6	386,85	bB	364,71	bA	226,37	**				
F	1380,3	**	1360,5	**						
D.M.S (5%)	0,0222									

Médias seguidas pela mesma letra na linha e coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* significativo a 5% de. D.M.S. Diferença Mínima Significativa. C.V. Coeficiente de Variação.

**Tabela 3.** Desdobramento das interações MxC, MxG e CxG para diâmetro médio ponderado (mm<sup>2</sup>) do sistema radicular na camada de 0 a 40cm de solo

	C0		C2		C4		C6		F	D.M.S (5%)
PC	2,91	bC	3,24	bC	8,19	bA	6,26	bB	394,42	**
PD	6,59	aD	6,83	aC	14,86	aA	8,42	aB	927,09	**
F	278,29	**	263,52	**	910,46	**	95,36	**		
D.M.S (5%)	0,4924									
	G0		G2		F		D.M.S (5%)			
PC	3,53	bB	6,77	bA	1475,8	**	0,1743			
PD	7,21	aB	11,15	aA	2183,9	**				
F	480,65	**	681,91	**						
D.M.S (5%)	0,5333									
	G0		G2		F		D.M.S (5%)			
C0	2,06	dB	6,12	dA	2023,8	**	0,2464			
C2	3,98	cB	7,43	cA	314,57	**				
C4	8,93	aB	14,13	aA	1895,5	**				
C6	6,49	bB	8,19	bA	200,47	**				
F	766,07	**	1080,6	**						
D.M.S (5%)	0,4139									

Médias seguidas pela mesma letra na linha e coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* significativo a 5% de. D.M.S. Diferença Mínima Significativa. C.V. Coeficiente de Variação.

**Tabela 4.** Desdobramento das interações MxC, MxG e CxG para biomassa (g/183 cm<sup>3</sup>) do sistema radicular na camada de 0 a 40cm de solo

	C0	C2	C4	C6	F	D.M.S (5%)
PC	0,2196 bC	0,1879 bD	0,4371 bA	0,3741 bB	219166 **	0,0046
PD	0,3096 aD	0,4243 aC	0,5864 aA	0,5246 aB	156189 **	
F	26,602 **	203,17 **	28,497 **	37,655 **		
D.M.S (5%)						0,1537

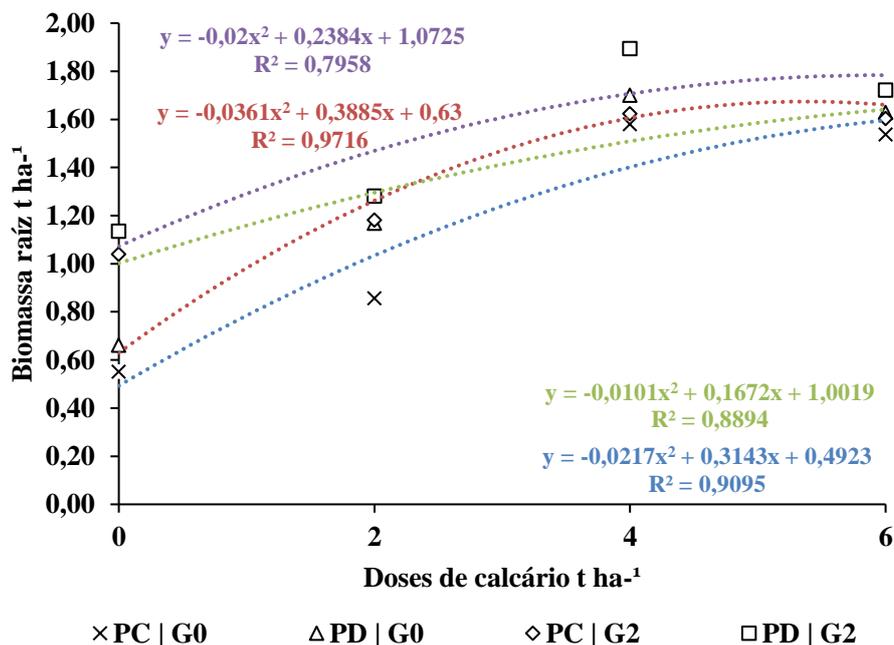
  

	G0	G2	F	D.M.S (5%)
PC	0,2543 bB	0,355 bA	214231 **	0,0023
PD	0,3627 aB	0,5597 aA	369472 **	
F	41,22 **	81,456 **		
D.M.S (5%)			0,1537	

	G0	G2	F	D.M.S (5%)
C0	0,1116 dB	0,4173 dA	930237 **	0,0033
C2	0,2143 cB	0,3978 cA	157027 **	
C4	0,4617 aB	0,5563 aA	16659 **	
C6	0,4407 bB	0,458 bA	563,62 **	
F	489665 **	36395 **		
D.M.S (5%)			0,0043	

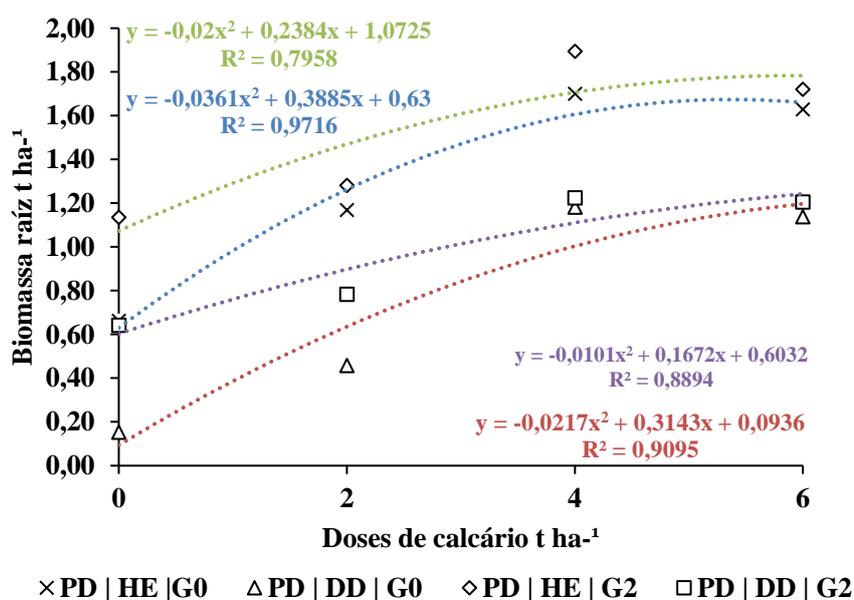
Médias seguidas pela mesma letra na linha e coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* significativo a 5% de. D.M.S. Diferença Mínima Significativa. C.V. Coeficiente de Variação.



**Figura 6.** Biomassa de raiz t ha<sup>-1</sup> na camada 0-40cm de solo.

De maneira geral, o gesso aumentou a biomassa seca das raízes em 47% (testemunha), 28% (2,0 t/ha de calcário), 3% (4,0 t/ha) e 4% (6 t/ha) e 42%, 9%, 10% e 5%, respectivamente no manejo plantio direto e preparo convencional. Considerando a resposta da haste escarificadora versus disco duplo

desencontrado no manejo plantio direto, verifica-se que a “botinha” na distribuição do fertilizante aumentou a biomassa seca das raízes em 77%, 51%, 31% e 30%, respectivamente na testemunha, 2.0 t/ha, 4.0 t/ha e 6.0 t/ha de calcário na ausência do gesso e 44%, 39%, 35% e 30% na presença do gesso. Pesquisas conduzidas com soja cultivada em rotação com arroz de várzea, demonstram que o uso da haste escarificadora proporcionou aumento médio de 12% na produtividade de grãos (Sartori et al., 2015) e aumentou o comprimento, a área e o volume das raízes de soja, quando comparado ao uso do disco duplo desencontrado (Werle et al., 2016). Trabalho conduzido nas condições do Paraná, por Santos et al. (2019), avaliaram o efeito da escarificação com e sem gesso em área de plantio direto contínuo, concluiu que o gesso aumentou o comprimento das raízes na camada de 20-40 cm.



**Figura 7.** Biomassa de raiz t ha<sup>-1</sup> na camada 0-40cm de solo, considerando o fator haste escarificadora somente para o tratamento plantio direto.

Na Figura 7 observa-se que a combinação do fornecimento de gesso com uso da haste escarificadora proporcionou aumentos significativos na biomassa seca de raiz, sendo que a magnitude do efeito é diminuída em função do aumento da dose de calcário, demonstrando que tanto a haste escarificadora quanto o fornecimento de gesso são estratégias importantes para favorecer o

crescimento das raízes e mitigar os prejuízos da compactação do excessiva do solo.

### **4.3 Características agronômicas e produtividade**

Os resultados referentes à produtividade e componentes da produção da cultivar TMG 7062 tanto para estudar o efeito do gesso quanto o efeito das hastes escarificadoras estão apresentados na Tabela 4. Observa-se que houve pelo menos uma interação significativa para as principais característica avaliadas. Os desdobramentos das diversas interações encontram-se nas tabelas 6,7 e 8. É possível identificar que os efeitos dos fatores testados (manejo, calagem, gesso e haste escarificadora) proporcionaram resultados que se correlacionam com as características discutidas anteriormente, tais como; acúmulo da biomassa seca, crescimento do sistema radicular e extração de nutrientes.

O aumento da dose de calcário em ambos os manejos de solo, na presença e ausência de gesso proporcionaram maior altura das plantas, maior altura de inserção da primeira vagem, maior número de nós reprodutivos e número de vagens por planta.

Da mesma forma que o efeito verificado para o sistema radicular, observa-se que para a adoção da haste escarificadora como mecanismo de sulcador/distribuição de fertilizante combinado com gesso, na dose de 4,0 t/ha de calcário, proporcionou aumentos de 978 kg/ha na produtividade de grãos, representando ganhos de 16,3 sacas/ha acima da produtividade média (56sc/ha) no sistema de plantio direto. A literatura informa que a resposta do uso de hastes escarificadoras não é conclusiva, com artigos informando ganhos de 12% na produtividade da soja (Sartori et al., 2015) e outros sem resposta (Santos et al., 2019). Quanto a uso do gesso, pesquisas de longa duração sinalizam que ocorre resposta sobre a produtividade da soja em anos com ocorrência de veranico (Caires e Churka, 2011) e quando associado com calcário potencializa os resultados (Costa e Crusciol, 2016; Crusciol et al., 2018). Portanto, as duas ferramentas são viáveis para o sistema soja/cana.

**Tabela 5.** Valores médios dos componentes agrônômicos de produção: Altura de planta (cm)(AP), altura de inserção 1ªVagem (cm) (AV), número de nós reprodutivos por planta (NR), número de vagens por planta (NV), peso de mil sementes (g) (PMS) e produtividade kg ha<sup>-1</sup> (PROD) em sistemas de manejo do solo (M) plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), doses de calcário (C) (0, 2, 4 e 6 t ha<sup>-1</sup>) e gesso agrícola (G) (0 e 2,5 t ha<sup>-1</sup>), Ribeirão Preto, 2019

Manejos (M)	AP	AV	NR	NV	PMS	PROD
PC	84,21 b	15,84 b	22,17 b	35,98 b	146,89 b	3215,09 b
PD	87,3 a	16,31 a	29,21 a	42,7 a	162,43 a	3528,5 a
F	664,88 **	638,62 **	662,07 **	666,11 **	660,72 **	660,78 **
D.M.S (5%)	0,3794	0,0601	0,871	0,8295	1,9247	38,8
Calagem (C)						
C0	75,05 d	14,39 d	17,85 d	32,46 d	145,09 c	3129,37 d
C2	85,56 c	15,83 c	23,14 c	38,22 c	149,63 b	3395,33 b
C4	92,97 a	17,45 a	36,88 a	45,49 a	178,87 a	3780 a
C6	88,98 b	16,62 b	24,89 b	41,18 b	145,75 c	3182,48 c
F	1279,26 **	1340,94 **	1317,91 **	1141,86 **	1318,41 **	1229,1 **
D.M.S (5%)	0,5891	0,0422	0,885	0,6474	1,7786	33,67
Gessagem (G)						
G0	83,57 b	15,34 b	23,98 b	37,46 b	149,53 b	3081,64 b
G2	87,94 a	16,81 a	27,4 a	41,45 a	159,79 a	3661,95 a
F	5237,02 **	5307,77 **	5179,96 **	2209,37 **	5230,91 **	5022,59 **
D.M.S (5%)	1,589	0,2555	0,0981	0,1853	0,293	16,9
MxC	37,5 **	0,29 ns	4,43 **	179,94 **	2,99 ns	92,46 **
MxG	1,66 ns	1,16 ns	17,49 **	5,82 *	11,84 **	0,49 ns
CxG	8,83 **	9,09 **	22,77 **	678,66 **	12,32 **	87,78 **
MxCxG	0,29 ns	0,01 ns	0,09 ns	0,94 ns	0,03 ns	0,15 ns
C.V. (%) (M)	6,55	7,41	8,26	6,25	6,65	6,44
C.V. (%) (C)	9,78	8,53	7,44	7,67	9,15	9,96
C.V. (%) (G)	8,16	8,35	9,73	9,12	7,61	9,47

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* significativo a 5%. \* significativo a 1%. D.M.S. Diferença Mínima Significativa. C.V. Coeficiente de Variação

**Tabela 6.** Desdobramento das interações MxC e CxG para altura de plantas (cm)

	C0		C2		C4		C6		F	D.M.S (5%)
PC	75,88	aD	83,47	bC	90,7	bA	86,81	bB	453,34	**
PD	75,12	aD	87,64	aC	95,24	aA	91,15	aB	863,42	**
F	3,96	ns	120,08	**	141,91	**	129,6	**		
D.M.S (5%)	0,79									

	G0		G2		F	D.M.S (5%)
C0	73,48	dB	77,52	dA	1120,16	**
C2	83,27	cB	87,85	cA	1439,51	**
C4	90,93	aB	95,02	aA	1147,35	**
C6	86,6	bB	91,36	bA	1556,49	**
F	1163,25	**	1199,56	**		
D.M.S (5%)	0,8575					

Médias seguidas pela mesma letra na linha e coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* significativo a 5%. D.M.S. Diferença Mínima Significativa. C.V. Coeficiente de Variação.

**Tabela 7.** Desdobramento da interação CxG para altura de inserção da 1ª vagem (cm)

	G0		G2		F	D.M.S (5%)
C0	13,73	dB	15,05	dA	1060,02	**
C2	15,11	cB	16,56	cA	1283,5	**
C4	16,65	aB	18,26	aA	1572,05	**
C6	15,86	bB	17,39	bA	1419,47	**
F	919,68	**	1109,61	**		
D.M.S (5%)	0,1578					

Médias seguidas pela mesma letra na linha e coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* significativo a 5%. D.M.S. Diferença Mínima Significativa. C.V. Coeficiente de Variação.

**Tabela 8.** Desdobramento das interações MxC, MxG e CxG para n° de nós reprodutivos/planta

	C0		C2		C4		C6		F	D.M.S (5%)
PD	20,91	aD	26,51	aC	41,05	aA	28,36	aB	737,55	**
F	169,41	**	205,02	**	313,24	**	217,59	**		
D.M.S (5%)	0,9988									

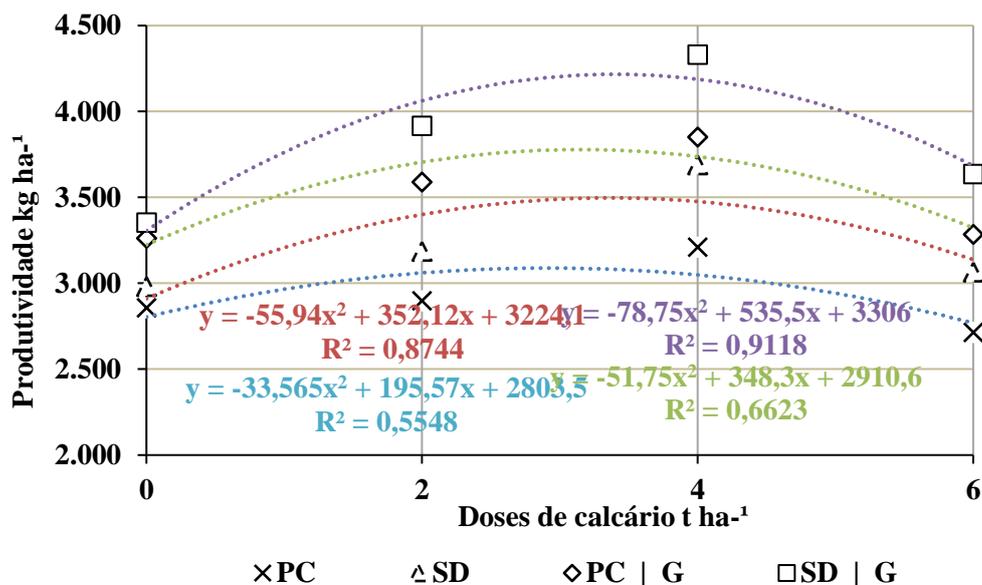
  

	G0		G2		F	D.M.S (5%)
PC	20,56	bB	23,78	bA	2297,7	**
PD	27,4	aB	31,02	aA	2899,76	**
F	606,93	**	679,49	**		
D.M.S (5%)	0,884					

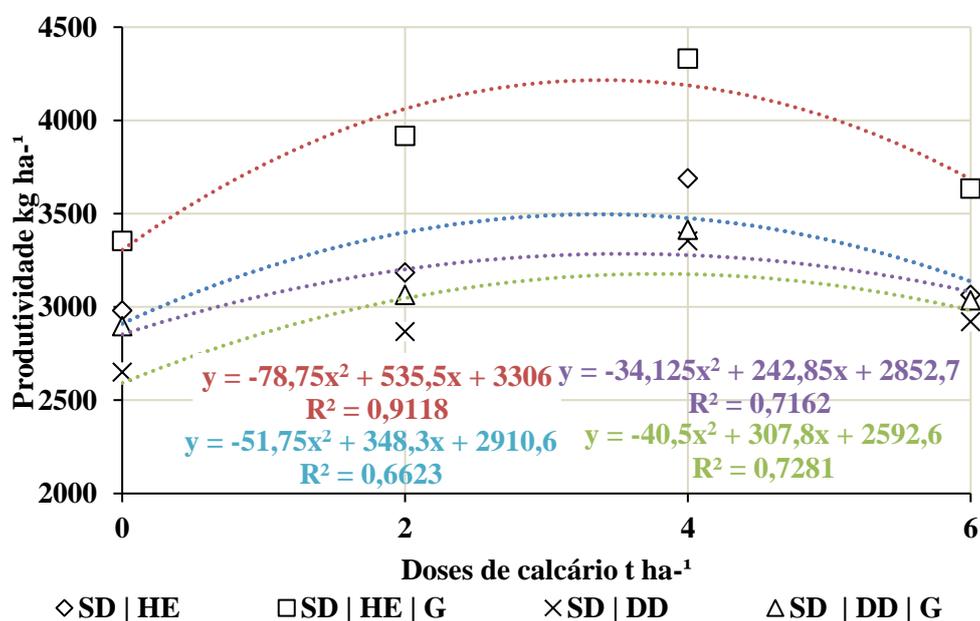
  

	G0		G2		F	D.M.S (5%)
C0	16,36	dB	19,34	dA	981,56	**
C2	21,5	cB	24,78	cA	1188,42	**
C4	34,85	aB	38,9	aA	1817,16	**
C6	23,2	bB	26,57	bA	1261,14	**
F	1189,81	**	1331,97	**		
D.M.S (5%)	0,9006					

Médias seguidas pela mesma letra na linha e coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* significativo a 5%. D.M.S. Diferença Mínima Significativa. C.V. Coeficiente de Variação



**Figura 8.** Valores médios de produtividade kg ha<sup>-1</sup> (PROD) em sistemas de manejo do solo (M) plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), doses de calcário (C) (0, 2, 4 e 6 t ha<sup>-1</sup>) e gesso agrícola (G) (0 e 2,5 t ha<sup>-1</sup>) Ribeirão Preto, 2019.



**Figura 9.** Valores médios de produtividade kg ha<sup>-1</sup> (PROD) em mecanismos sulcadores e distribuidores de adubo da semeadora (M) Haste escarificadora e disco duplo desencontrado, doses de calcário (C) (0, 2, 4 e 6 t ha<sup>-1</sup>) e gesso agrícola (G) (0 e 2,5 t ha<sup>-1</sup>) Ribeirão Preto, 2019

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola antes da semeadura das cultivares de soja TMG 7062 IPRO, associado com uso de haste escarificadora na semeadora, proporcionou ganhos acima da média (56 sc/ha) de 978 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos (+ 16,3 sc/ha) em sistema estabilizado (20 anos) de semeadura direta sobre palhada de cana crua, considerando a dose de calcário de 4,0 t/ha.

O sistema radicular, enquanto o gesso proporcionou aumento expressivo na biomassa seca somente na ausência de calcário; a haste escarificadora conferiu incrementos independentemente da calagem, que variaram entre 30% e 77%, bem como aumentou o comprimento, área, volume e diâmetro médio ponderado.

## 6. REFERÊNCIAS

Ahmad W, Dijkstra FA, Dalai RC (2016) Soil warming and liming impacts on the recovery of <sup>15</sup>N in a acidic soil under soybean cropping. **J. Plant Nutri. Soil Sci.**, 179, p. 193-197.

Barbosa, J.C.; Maldonado Júnior, W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp.2015.

Barini RT, Bolonhezi D, Gonçalves LHO, Ambrosio LMS, Betiol V, Leal ERP, Scarpellini JR (2017) Produtividade de Grãos e Características Agrônômicas de Soja em Semeadura Direta sobre Palhada de Cana Crua.In: WORKSHOP AGROENERGIA MATÉRIAS-PRIMAS, XI, APTA/IAC, Ribeirão Preto. **ANAIS...** Instituto Agrônômico, APTA, Ribeirão Preto, [CD-Rom].

Beutler AN, Centurion F (2004) Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588.

Bolonhezi D (2019) Sistema radicular e produtividade da soja em ensaio de longa duração sobre plantio direto e calagem em reforma de cana crua, **Relatório Técnico Final – Fundação Agrisus**, disponível em: [http://www.agrisus.org.br/arquivos/relatorio\\_final\\_PA2526.pdf](http://www.agrisus.org.br/arquivos/relatorio_final_PA2526.pdf)

Bolonhezi D (2013) Plantio direto e calagem na reforma de cana crua. **A Granja**, v.769, n.1, p.75-77, 2013.

Bolonhezi D, Cantarella H, Pereira JCVNA, Landell MGA (2000) Produção de soja com diferentes doses de calcário no sistema convencional e plantio direto sobre palhada de cana-de-açúcar. In: FERTBIO 2000, 2, Santa Maria, RS, 2000. **Anais...Santa Maria**, UFSM.

Bolonhezi D, Tanimoto OS (2001) Plantio direto de culturas de sucessão sobre palhada de cana crua. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO, 4, Ribeirão Preto, 2001. **Anais...Campinas**, Instituto Biológico, p.87-94.

Borges WLB (2013) Desempenho De Cultivares De Soja Em Palhada De Cana-De-Açúcar No Noroeste Paulista. **Nucleus**, [s.l.], v. 3, n. 3, p.43-55.

Caires EF, Rosolem CA (1998) Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 1, p.175-184.

Caires EF, Barth G, Garbuió, FJ, Churka S (2008) Soil acidity, liming and soybean, performance under no-till. **Sci. agric.**, 65(5):532-540.

Caires EF, Banzatto DA, Fonseca AF (2000) Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.161-169

Caires EF, Alleoni LRF, Cambri MA, Barth G (2005) Surface application of lime for crop grain production under no-till system. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 791-798, 2005.

Caires EF, Barth G, Garbuió FJ, Churka S (2008) Soil acidity, liming and soybean performance under no-till. **Scientia Agricola.**, v. 65, n. 5, p. 532-540.

Caires EF, Blum J, Barth G, Garbuió FJ, Kusman MT (2003) Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 275-286.

Caires EF, Fonseca AF, Feldhaus IC, Blum J (2001) Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada em sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, n. 4, p. 1029-1040.

Caires EF, Joris HAW, Churka S (2011) Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, v. 27, p. 45-53.

Calonego JC, Rosolem CA (2010) Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, 33, p. 242-249.

Câmara GMS, Monteiro CA (1997) Potencial da cultura do girassol para rotação com cana-de-açúcar. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 12, 1997, Campinas. **Resumos...** Campinas: Fundação Cargill, p. 1-4.

Câmara RK, Klein VA (2005) Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 789-796.

Cardoso EG, Zoratelli L, Piccinin JL, Torres E, Saraiva OF, Guimarães MF (2006) Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493-501, 2006.

Christoffoleti PJ, Carvalho SJP, Lopez-Overejo RF, Nicolai M, Hidalgo E, Silva JE (2007) Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, v. 26, p. 383-389.

Conab Companhia nacional de abastecimento. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_11\\_11\\_14\\_54\\_21\\_bro\\_letim\\_graos\\_novem\\_bro\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_11_11_14_54_21_bro_letim_graos_novem_bro_2016.pdf)> Acesso em 29/05/2019.

Costa CHM, Crusciol CAC (2016) Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean-oat-sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 119-132.

Crusciol CAC, Marques RR, Carmeis Filho ACA, Soratto RP, Costa, CHM, Ferreira Neto J, Castro GSA, Pariz CM, Castilhos AM, Franzluebbbers AL (2018) Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutr. Cycl. Agroecosyst** <https://doi.org/10.1007/s10705-019-10017-0>.

Doná S, Kanthack RAD, Cação MMF, Santos GXL, Cordeiro Junior PS, Nakayama FT, Finoto EL, Leão, PCL (2009) Desempenho agrônômico de cultivares de soja no Vale do Parapanema, safras 2017/18 e 2018/19. **Núcleo, Edição Especial**, 4º Encontro Técnico sobre as Culturas da Soja e Milho no Noroeste Paulista, p. 63-76.

Drescher MS, Eltz FLF, Denadir JE, Faganello A (2011) Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p. 1713-1722.

Drescher MS, Eltz FLF, Denadir JE, Faganello A (2012) Resistência à penetração e rendimento da soja após a intervenção mecânica em Latossolo Vermelho sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 36, p. 1836-1842, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (Documentos, 1).

Evans LT, Fisher RA (1999) Yield Potential: its definition, measurement, and significance. *Crop Science*, v. 39, n. 6, p. 1544-1551.

Fan J, McConkey B, Wang H, Janzen H (2016) Root distribution by depth for temperate agricultural crops. **Fields Crops Research**, 189, p. 68-74.

Fenta B, Beebe SE, Kunert KJ, Burridge JD, Barlow KM, Lynch JP, Foyer CH (2014) Field phenotyping of soybean roots for drought stress tolerance. **Agronomy**, v.4, p. 418-435.

Finoto EL (2015) Avaliação de genótipos de soja RR e intacta RR2 PRO® em semeadura direta na reforma de cana crua. **Ciência & Tecnologia**, v. 7, n. esp.

Fujiwara M. (1994) A técnica de estudo de raízes pelo método do trado. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n. 153, 1994. 9 p.

Girardello VC, Amado TJC, Santi AL, Lanzasova E, Tasca A (2017) Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 86-96.

Inforzato R (1969) Estudo do sistema radicular da soja (*Glycine max*, L. Merrill) em solo Latossolo Roxo adubado e sem adubo. **Bragantia**, v. 28, n. 13, p. 175-180.

Jorge LAC, Silva DJCB (2010) **Safira**: Manual de utilização. São Carlos, Embrapa Instrumentação Agropecuária. 28p.

Kader MA, Senge M, Mojid MA, Nakamura K (2017) Mulching type-induced soil moisture and temperature regimes and water use efficiency of soybean under rain-fed condition in central Japan. **International Soil and Water Conservation Research**, v.5, p. 302-308.

Klein VA, Camara RK (2007) Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p.221-227.

Martins OC, Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Ribeiro AC (1998) Respostas à aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso em solos. II Crescimento de raízes, absorção de nutrientes e produtividade da soja. **Revista Ceres**, 45(261):451-466.

Mascarenhas HAA (1994) **Efeito residual de leguminosas sobre o rendimento físico e econômico da cana-planta**. Campinas, 15 p. (Boletim Científico nº 32).

Mascarenhas HAA, Miyasaka S, Igue T, Freire ES, Sordi G (1969) Resposta da soja à calagem e à adubação mineral com fósforo e potássio em um Latossolo Roxo. **Bragantia**, 28:17-21.

Nolla A, Anghinoni I (2006) Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 475-483.

Pauletti V, Pierri L, Ranzan T, Barth G, Motta ACV (2014) **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505.

Pavão MA, Alencar LD, Zanello CA, Morais JPG, Cardoso JC (2015) Cultivo e produção de soja em reforma de canavial. **Ciência, Tecnologia e Ambiente**, v.2, n.1, p. 17-25.

Quaggio JA, Raj B Van, Gallo PB, Mascarenhas HAA (1993) Resposta da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 28:375-383.

Rosolem CA, Almeida ACS, Sacramento LVS (1994) Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p.259-266.

Santos EL, Debiasi H, Franchini JC, Vieira MJ, Balbinot Junior AA (2019) Chiseling and gypsum application affecting soil physical attributes, root growth and soybean yield. **Revista de Ciência Agronômica**, n. 50, n. 4, P. 536-542.

Sartori GM, Marchesan E, David R, Carlesso R, Petry MT, Donato G, Cargnelutti Filho A, Silva MF (2015) Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de plantio e irrigação por superfície em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 12, p. 1139-1149.

Sentelhas PC, Battisti R, Câmara GMS, Farias JRB, Hampf A, Nendel C (2015) The soybean yield gap in brazil magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, p. 1394-1411.

Silva AC, Martins CC, Martins D (2016) Effects of sugarcane straw on grass weeds emergence under field conditions. **Biosciences journal**, Uberlândia, v. 32, n. 4, p.863-872.

Silva VR, Reichert JM, Reinert DJ (2004) Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 2, n. 34, p.399-406.

Tanimoto OS, Bolonhezi D (2002) **Plantio direto de soja sobre palhada de cana-de açúcar**. Campinas: CATI, 18 p.

Werle IS, Marchesan E, Coelho LL, Shultz RP, Oliveira ML (2016) Efeito de sulcadores em propriedades físicas e sistema radicular de soja em várzea. In: **salão internacional de ensino, pesquisa e extensão**, V. 8, n.2, 2016.