

RÔNEGA BOA SORTE VARGAS

**TECNOLOGIA EM SEMEADURA DE SOJA: INTERAÇÃO DE FORÇAS
DESCENDENTES E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO EM UMA UNIDADE DE
LINHA DE UMA SEMEADORA-ADUBADORA**

BOTUCATU

2025

RÔNEGA BOA SORTE VARGAS

**TECNOLOGIA EM SEMEADURA DE SOJA: INTERAÇÃO DE FORÇAS
DESCENDENTES E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO EM UMA UNIDADE DE
LINHA DE UMA SEMEADORA-ADUBADORA**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutora em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Arbex
Silva

BOTUCATU

2025

V297t

Vargas, Rônega Boa Sorte

Tecnologia em semeadura de soja : interação de forças descendentes e velocidade de deslocamento em uma unidade de linha de uma semeadora-adubadora / Rônega Boa Sorte Vargas. -- Botucatu, 2025

95 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Paulo Roberto Arbex Silva

1. agricultura de precisão. 2. plantabilidade. 3. mecanização agrícola. 4. Glycine max. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TECNOLOGIA EM SEMEADURA DA CULTURA DA SOJA: INTERAÇÃO DE FORÇAS
ENTRE DESCENDENTES E VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO EM UMA UNIDADE
SEMEADORA-ADUBADORA**

AUTORA: RÔNEGA BOA SORTE VARGAS

ORIENTADOR: PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Engenharia Agrícola,
pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. LUAN PEREIRA DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Horticulture / University of Georgia

Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / FCA UNESP Botucatu

Prof. Dr. ALDIR CARPES MARQUES FILHO (Participação Virtual)
Engenharia Agrícola / Universidade Federal de Lavras

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos, à Deus, a figura mais importante da minha vida. Sem dúvida é ele que me iluminou e sempre irá me iluminar para que as coisas aconteçam no momento certo. Espero que eu tenha cada vez mais sabedoria para entender esses momentos.

Aos meus pais, Getúlio Vargas da Silva e Joserita Maria Dias Boa Sorte por ter acreditado no meu sonho é entendido minha ausência nos últimos anos, pelos valores e caráter que me fez tornar uma “Princesa”.

À minha filha de quatro patas, Marie, por ter se comportado muito bem com sua nova tutora vovó Joserita, por fazer chamadas de vídeos prestando atenção em minha voz e demonstrando muito amor por mim sempre que precisei.

À toda minha família que são minha rede de apoio. Sempre com palavras e conselhos que contribuem para nos tornarmos pessoas mais evoluída, não só intelectualmente como também pessoalmente.

Ao, meu orientador, professor Dr. Paulo Arbex, companheiro na jornada de ensino da mecanização agrícola, pela supervisão, conselhos e oportunidade de aprimorar meus estudos na área da plantabilidade. Antes eu tinha um carinho grande por essa área, hoje tenho verdadeira paixão.

Ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Urutaí e todo o departamento de Engenharia Agrícola por viabilizar minha ausência temporária das atividades de docência.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual de São Paulo - Câmpus de Botucatu e todos os seus docentes e funcionários que estiveram presentes no curto período que estive presencialmente na instituição.

Ao Grupo de Plantio Direto (GPD), em especial ao Júlio Cesar e Nayara Parizotto, que caminharam junto comigo na jornada da plantabilidade.

A professora de estatística Dra. Maria Márcia Sartori e a minha ex-aluna é agora Dr. Bruna Rithielly por me auxiliar na difícil tarefa de análise dos dados.

Aos meus orientadores Dr. Delvio Sandri (graduação), Dr. Marcus Campos (pós-graduação), Dr. José Teixeira (mestrado), Dr. Paulo Arbex (doutorado) que foram meus tutores nessa jornada do conhecimento.

A banca examinadora composta por Dr. Aldir Filho, Dr. Luan Oliveira, Dr. Kleber Pereira, Dr. Ulisses Rocha Antuniassi, pela disponibilidade, e por contribuírem cientificamente em aprimorar a tese.

Aos meus pais pósticos da cidade de Rio Verde - Goiás, Glaucia e Luiz, ter vocês por perto foram simplesmente fundamentais para que a realização da parte experimental fosse finalizada. Tenho uma imensa gratidão por tudo que me proporcionaram e por me tratar como uma filha de verdade. Não consigo descrever em poucas linhas as inúmeras contribuições e carinhos dedicados a mim.

Ao Kleber por ter me apresentado para as empresas da cidade de Rio Verde e feito toda a ponte necessária para o início das excelentes parcerias.

À empresa Prisma Inteligência Agronômica, em nome de Camila Rozas e Lucas Rozas, que aceitaram o desafio da realização do projeto experimental e não mediram esforços para que todos os requisitos necessários fossem cumpridos.

À Estação Experimental da AgroCarregal pesquisa e proteção de plantas que abriu portas (na verdade plot) para que nossa pesquisa fosse realizada. Trabalhar com essa equipe foi muito gratificante. Pude ver uma empresa extremamente organizada, dedicada e inovadora. Parabéns, Luís Carregal e Rogério Castro pelo empenho.

À Tk inglês, na pessoa de Tiago e Karine, por ter feito eu acreditar que era possível aprender inglês de forma simples e descomplicada.

À Capes-Print por oportunizar meu doutorado sanduíche na Universidade da Geórgia (UGA).

Ao meu supervisor na UGA, Dr. Luan Oliveira, que é um verdadeiro exemplo de profissional e pessoa. Me acolheu imensamente bem desde o primeiro contato (via Instagram) até nossa despedida da cidade de Tifton (que não é para sempre).

Ao melhor time que eu poderia ter, En'ya Touze, Me. Lucas Sales, Dr. Marcelo Barbosa e Dr. Regimar dos Santos. No melhor departamento de Agricultura de Precisão para Horticultura DO MUNDO.

A família que construí nos EUA, Ana Julia, Paulo, Juliana, Laura, João e Sarah.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização desta tese. Bem como os interessados na temática que irão ler e desfrutar das informações presentes aqui. Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

A semeadura de precisão contribui para o aumento da eficiência produtiva das lavouras. Dentre as tecnologias empregadas, o uso de forças descendentes hidráulicas visa melhorar a uniformidade de distribuição longitudinal e a profundidade de deposição das sementes propiciando uma emergência uniforme das lavouras e aumentar o rendimento das culturas. A pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar a plantabilidade de uma semeadora-adubadora em função de níveis de forças descendentes fixas e variáveis aplicadas na linha de semeadura em diferentes velocidades de deslocamento. Para tanto, os experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas de 2022/23 e 2023/24. A área experimental localiza-se na estação experimental da Agro Carregal, no município de Rio Verde/GO. O delineamento experimental foi em esquema de arranjo fatorial em faixas 7x3 com quatro repetições. Sendo o fator A as sete forças (três fixas e quatro variáveis) e o fator B três velocidades de deslocamento do conjunto trator-semeadora (4; 6,5 e 10 km.h⁻¹), totalizando 21 tratamentos. Foram avaliadas as variáveis: velocidade de emergência de plântulas, profundidade real da deposição de semente, distribuição longitudinal, variáveis os agrônômicos e produtividade de grãos de soja. Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e posteriormente comparou-se as médias quando significativo. Os resultados foram submetidos a análise de componentes principais (PCA) a fim de verificar as possíveis inter-relações entre as variáveis os. Os níveis de forças descendentes fixas e variáveis bem como a velocidade de deslocamento do conjunto trator semeadora influenciaram na plantabilidade. Nas condições do presente estudo, adotando uma profundidade de sementes de 3cm como ideal é indicado realizar a semeadura a uma velocidade inferior a 10kmh⁻¹ e pode-se utilizar forças descendente médias e altas independentemente do modo de operação visando uma melhor plantabilidade e capacidade de campo operacional.

Palavras-chave: agricultura de precisão; plantabilidade; mecanização agrícola; Glycine max.

ABSTRACT

Precision seeding contributes to increased crop production efficiency. Among the technologies employed, the use of hydraulic downforce aims to improve the uniformity of longitudinal seed distribution and seeding depth, promoting uniform crop emergence and increasing crop yield. This research aimed to evaluate the plantability of a planter-fertilizer as a function of fixed and variable downforce levels applied to the seed row under different travel speeds. The experiments were conducted during the 2022/23 and 2023/24 crop years. The experimental area is located at the Agro Carregal experimental station in Rio Verde, Goiás, Brazil. A 7x3 strip factorial design with four replications was used. Factor A consisted of seven downforce levels (three fixed and four variable), and Factor B included three travel speeds of the tractor-planter set (4, 6.5, and 10 km·h⁻¹), totaling 21 treatments. The evaluated variables included: seedling emergence speed, actual seeding depth, longitudinal distribution, agronomic variables, and soybean grain yield. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), and means were compared when significant. Principal component analysis (PCA) was performed to assess possible interrelationships among the variables. Fixed and variable downforce levels, as well as the travel speed of the tractor-planter set, affected plantability. Under the conditions of this study, considering an ideal seeding depth of 3 cm, it is recommended to sow at speeds below 10 km·h⁻¹, using medium to high downforce levels regardless of the operation mode to achieve better plantability and operational field capacity.

Keywords: precision agriculture; plantability; agricultural mechanization; Glycine max.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Diagrama de uma unidade de linha de semeadora, com forças mecânicas identificadas	25
Figura 2 -	Tipos de sistemas de força descendente: mecânico, pneumático e hidráulico	26
Figura 3 -	Sistemas de força descendente mecânico	27
Figura 4 -	Sistemas de força descendente pneumático	28
Figura 5 -	Sistemas de força descendente hidráulico	28
Figura 6 -	Climograma da época de semeadura do experimento na primeira e na segunda safra	37
Figura 7 -	Trator para tracionar a semeadora-adubadora	38
Figura 8 -	Semeadora-adubadora pneumática	39
Figura 9 -	Sistema de acionamento elétrico (vDrive®) (A) do dosador de sementes (vSet®) (B) e sistema hidráulico (DeltaForçe®) (C)	40
Figura 10 -	Equipamento usado para aferir o Teor de Água no solo (TSA)	41
Figura 11 -	Equipamento usado para aferir a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)	42
Figura 12 -	Características da área do ensaio experimental	43
Figura 13 -	Características das unidades experimentais	44
Figura 14 -	Plantas emergidas identificadas com abraçadeiras de cores distintas	45
Figura 15 -	Medição de profundidade de semeadura	46
Figura 16 -	Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) para a área experimental	51
Figura 17 -	Análise de componentes principais para as variáveis coeficiente de variação (CV), aceitável, dupla e falha nas velocidades de 4 (a); 6,5 (b) e 10 (c) km.h ⁻¹ na primeira e segunda safra	79
Figura 18 -	Análise de componentes principais para as variáveis coeficiente de variação (cv), aceitável, dupla e falha em diferentes velocidades	80

Figura 19 -	Análise de componentes principais para as variáveis coeficiente de variação (cv), aceitável, dupla e falha nas velocidades de 4 (a) e 6,5 (b) km.h ⁻¹	81
Figura 20 -	Análise de componentes principais para as variáveis altura total de planta (cm), total de grãos por plantas (unid.), total de vagem por planta (unid.) nas velocidades de 4 (a); 6,5 (b) e 10 (c) km.h ⁻¹ na primeira e segunda safra	82
Figura 21 -	Análise de componentes principais para as variáveis altura total de planta (cm), total de grãos por plantas (unid.), total de vagem por planta (unid.) nas velocidades de 4 (a); 6,5 (b) e 10(c) km.h ⁻¹	83
Figura 22 -	Análise de componentes principais para as variáveis massa de mil grãos (g), porcentagem de emergência (%), índice de velocidade de emergência (cm.dia ⁻¹) e plantas por metro linear (plantas.m ⁻¹), população real (unid.) e produtividade (Kg.ha ⁻¹) nas velocidades de 4 (a); 6,5 (b) e 10 (c) km.h ⁻¹ na primeira e segunda safra	85
Figura 23 -	Análise de componentes principais para as variáveis massa de mil grãos (g), porcentagem de emergência (%), índice de velocidade de emergência (IVE) (cm.dia ⁻¹) e plantas por metro linear (plantas.m ⁻¹), população real (unid.) e produtividade (Kg.ha ⁻¹) nas velocidades de 4 (a); 6,5 (b) e 10 (c) km.h ⁻¹ na primeira e segunda safra.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Especificações técnicas do Trator 6130J.....	38
Tabela 2 -	Propriedades químicas do solo, referente a primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24)	40
Tabela 3 -	Descrição dos tratamentos utilizados no experimento	43
Tabela 4 -	Classificação do espaçamento entre sementes de soja conforme as recomendações de Kurachi <i>et al.</i> (1989).....	47
Tabela 5 -	Descrição dos tratamentos utilizados no experimento	49
Tabela 6 -	Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis porcentagem de emergência (%) e índice de velocidade de emergência (sem unidade) na primeira safra em função das forças e velocidades	52
Tabela 7 -	Desdobramento da interação para as variáveis Porcentagem de Emergência (%) e Índice de Velocidade de Emergência (sem unidade) aplicando teste de média de Tukey na primeira safra em função das forças e velocidades	53
Tabela 8 -	Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis porcentagem de emergência (%) e índice de velocidade de emergência (sem unidade) na segunda safra em função das forças e velocidades	55
Tabela 9 -	Desdobramento da interação para as variáveis porcentagem de emergência (%), índice de velocidade de emergência (cm.dia ⁻¹) e plantas por metro linear (plantas.m ⁻¹) aplicando teste de média de Tukey na segunda safra em função das forças e velocidades.....	56
Tabela 10 -	Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável profundidade de semeadura (cm) na primeira safra em função das forças e velocidades.....	58
Tabela 11 -	Média da profundidade de semeadura (cm) da cultura da soja na primeira safra em função das forças e velocidades	58
Tabela 12 -	Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável profundidade de semeadura (cm) na safra em função das forças e velocidades	59
Tabela 13 -	Média da profundidade de semeadura (cm) da cultura da soja na segunda safra em função das forças e velocidades	59
Tabela 14 -	Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis coeficiente de variação (CV), aceitável, falha e dupla na primeira safra em função das forças e velocidades	61

Tabela 15 -	Comparações múltiplas para as porcentagens (%) das variáveis coeficiente de variação (CV), aceitável, falha e dupla na primeira safra em função das forças	62
Tabela 16 -	Comparações múltiplas para as variáveis coeficiente variação (CV), aceitável, falha e dupla na primeira safra em função das velocidades.....	63
Tabela 17 -	Resumo da análise de variância (ANOVA) para as porcentagens (%) das variáveis coeficiente de variação (CV), aceitável, falha e dupla na segunda safra em função das forças e velocidades	64
Tabela 18 -	Comparações múltiplas para as porcentagens (%) das variáveis coeficiente de variação (CV), aceitável, falha e dupla na segunda safra em função das forças	64
Tabela 19 -	Comparações múltiplas para as porcentagens (%) das variáveis Coeficiente de Variação (CV), aceitável, falha e dupla na segunda safra em função das velocidades	65
Tabela 20 -	Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável população por metro linear (plantas.m ⁻¹) na primeira safra em função das forças e velocidades.....	66
Tabela 21 -	Desdobramento da interação para a variável plantas por Metro Linear (plantas.m ⁻¹) na primeira safra em função das forças e velocidades...	67
Tabela 22 -	Resumo da análise de variância (ANOVA) para o parâmetro População por metro linear (plantas.m ⁻¹) a segunda safra em função das forças e velocidades	67
Tabela 23 -	Desdobramento da interação para a variável plantas por metro linear (plantas.m ⁻¹) na segunda safra em função das forças e velocidades ..	68
Tabela 24 -	Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis agronômicos altura total de planta (cm), ramificações por planta (unid.), total de grãos por plantas (unid.), total de vagens por plantas (unid.), massa de mil grãos (g) na primeira safra em função das forças e velocidades	69
Tabela 25 -	Desdobramento da interação para as variáveis agronômicos altura total de planta (cm), total de grãos por plantas (unid.), total de vagem por planta (unid.) e massa de mil grãos (g) aplicando teste de média de Tukey na primeira safra.....	70
Tabela 26 -	Comparações múltiplas para a variável ramificações por planta na primeira safra em função das forças.....	72
Tabela 27 -	Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis os agronômicos Final na segunda safra em função das forças e velocidades.....	72

Tabela 28 - Desdobramento da interação para as variáveis os agrônômicos altura total de planta (cm), total de grãos por plantas (unid.), total de vagem por planta (unid.) e massa de mil grãos (g) aplicando teste de média de tukey na segunda safra.....	73
Tabela 29 - Comparações múltiplas para a variável ramificações por planta na segunda safra em função das forças	75
Tabela 30 - Comparações múltiplas para a variável Ramificações por planta na segunda safra em função das velocidades	76
Tabela 31 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável produtividade (Kg.ha^{-1}) na primeira safra em função das forças e velocidades	76
Tabela 32 - Desdobramento da interação para a variável produtividade (Kg.ha^{-1}) teste de média de Tukey na primeira safra em função das forças e velocidades	77
Tabela 33 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável produtividade (Kg.ha^{-1}) na segunda safra em função das forças e velocidades	78
Tabela 34 - Comparações múltiplas para a variável Produtividade (Kg.ha^{-1}) na segunda safra em função das forças	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Cultura da soja.....	21
2.2	Plantabilidade	22
2.3	Semeadora-adubadora.....	23
2.3.1	Força descendente (downforce) aplicada na unidade da linha de uma semeadora	25
2.4	Uniformidade de distribuição longitudinal de sementes	30
2.5	Profundidade de semeadura	32
2.6	Velocidade de deslocamento da semeadora	34
3	MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1	Área experimental	36
3.2	Dados Climáticos	36
3.3	Caracterização do trator e semeadora-adubadora.....	37
3.4	Condições experimentais	40
3.5	Ensaio experimental.....	42
3.6	Variáveis avaliadas.....	44
3.6.1	Velocidade de Emergência.....	44
3.6.2	Profundidade de semeadura	45
3.6.3	Distribuição longitudinal de plantas	46
3.6.4	Análise agronômica da cultura	47
3.6.4.1	<i>Altura total da planta.....</i>	<i>47</i>
3.6.4.2	<i>Número de ramificações por planta.....</i>	<i>47</i>
3.6.4.3	<i>Número de vagens por planta</i>	<i>47</i>
3.6.4.4	<i>Número de grãos por planta.....</i>	<i>48</i>
3.6.4.5	<i>Massa de mil grãos</i>	<i>48</i>
3.6.5	Produtividade de grãos.....	48
3.6.6	Análise estatística dos dados	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP).....	51
4.2	Velocidade de Emergência	52
4.3	Profundidade de semeadura	57

4.4	Distribuição longitudinal de plantas	61
4.5	Plantas por metro linear	66
4.6	Análise agronômica da cultura.....	68
4.7	Produtividade	76
4.8	Análise de componentes principais (PCA)	79
4.8.1	Distribuição longitudinal de plantas.....	79
4.8.2	Análise agronômica da cultura.....	82
4.8.3	Componentes de produtividade	84
5	CONCLUSÕES.....	87
	REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola em conjunto com as tecnologias do setor de produção agrícola contribui para que o Brasil seja considerado uma das potências mundiais sustentáveis na produção de grãos, tendo a soja como destaque.

Com o uso das novas tecnologias de produção o produtor busca aumentar a produtividade das culturas agrícolas, reduzir os custos e, com isso, obter maiores lucros por unidade de área. As máquinas e implementos agrícolas, tais como semeadoras, pulverizadores e colhedoras, atualmente disponíveis para mecanização agrícola dispõem de altas tecnologias que, quando bem empregadas, podem proporcionar aumento de eficiência em operações de campo de forma sustentável.

Dentre as principais tecnologias de semeadura de precisão, temos o uso de forças hidráulicas descendentes que visa melhorar a uniformidade de distribuição longitudinal e a profundidade de deposição das sementes. O objetivo dessas tecnologias em suma é propiciar uma emergência uniforme das lavouras e aumentar o rendimento das culturas.

O desempenho eficiente da semeadura depende da determinação e utilização de configurações ideais para diferentes variáveis, como velocidade de deslocamento, profundidade das sementes, força descendente na unidade de linha da semeadora, entre outros.

A velocidade de deslocamento interfere na uniformidade de distribuição longitudinal e na profundidade das sementes. Quando se aumenta a velocidade de deslocamento do conjunto trator semeadora observa-se maiores erros de plantabilidade.

A profundidade deve ser adequada para a cultura a ser semeada para que as sementes germinem uniformemente. Sementes em profundidade inadequada impedem a emergência e podem ter dificuldade de acesso aos nutrientes e água disponível no solo.

A configuração de força descendente na unidade de linha da semeadora normalmente é realizada de forma única, específica para uma cultura, e um tipo de solo, sem levar em consideração as diferenças na resistência do solo e a velocidade nessa operação. Além disso, tradicionalmente há o uso de um sistema de força descendente mecânico (molas helicoidais) em que o ajuste é realizado de forma manual. Essa configuração mecânica, quando mal ajustada, geralmente resulta em

redução do potencial produtivo. As outras opções, mais tecnificadas de forças descendentes que vem sendo incorporada nas semeadoras são os sistemas de forças descendentes pneumáticos ou hidráulicos.

A hipótese dessa pesquisa é que a distribuição de forças hidráulicas descendentes em diferentes velocidades influenciam na plantabilidade, emergência, bem como a população final das plantas. Essa tese parte do pressuposto que forças variáveis (automático) proporcionam distribuição de força mais uniforme em relação a aplicação de forças fixas (manual).

Portanto, a pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar se níveis de forças descendentes fixas e variáveis influenciam na plantabilidade. Além disso, investigar essas forças em diferentes velocidades de deslocamento do conjunto trator semeadora.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da soja

Cientificamente nomeada como *Glycine Max* (L.) Merrill, a soja apresenta potencial produtivo, valores nutritivos e composição química que proporcionam uma diversidade de utilidades como proteína vegetal, especialmente para contemplar as demandas dos setores de produção de produtos de origem animal; geração e oferta de tecnologias, que viabilizaram a expansão da exploração sojícola para várias regiões do mundo (Embrapa, 2014).

A soja é destaque no mercado mundial, devido ser o quarto grão mais produzido e consumido globalmente, ficando atrás apenas do trigo, milho e arroz. No contexto mundial, o Brasil possui significativa participação na oferta e na demanda da soja. Isso tem sido possível pelo estabelecimento e progresso contínuo de uma cadeia produtiva sustentável e bem estruturada e que desempenham papéis fundamentais para o desenvolvimento socio-econômico de várias regiões do País (Embrapa, 2014).

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) gera dados estatísticos relevantes destacando a importância da soja para a economia nacional. A área plantada no Brasil é de 45,98 milhões de hectares alcançou uma produção de 147,35 milhões de toneladas na safra 2023/2024 (CONAB, 2024). O Brasil ficou a frente dos EUA que produziram 113,34 milhões no mesmo ano (USDA, 2024).

Para o produtor permanecer atingindo altas produtividades por hectares na cultura da soja são necessários que todas as operações realizadas ao longo do ciclo da cultura sejam executadas de forma eficiente. Entre essas operações, pode se, destacar a semeadura, que é uma das etapas de grande importância no ciclo agrícola.

Segundo Marques Filho *et al.* (2020), é preciso investir em conhecimentos técnicos na área de plantabilidade para aperfeiçoamento das atividades produtivas da cultura da soja, onde cada detalhe torna-se imprescindível para a evolução dos processos agrícolas. Observa-se que, com crescente melhoramento dos níveis tecnológicos utilizados pelos produtores rurais em todo mundo, alavancou-se também a preocupação com a plantabilidade.

2.2 Plantabilidade

A plantabilidade corresponde a uniformidade de espaçamentos equidistantes entre as plantas na linha de cultivo, na densidade de plantas e população desejada e na profundidade correta (Jorge *et al.*, 2024). Uma adequada plantabilidade aprimora a absorção da água, nutrientes e luz, diminuindo a competição entre plantas e ampliando a eficiência no uso de recursos. Existem vários fatores que afetam a operação de semeadura e interferem em uma boa plantabilidade (Embrapa, 2018).

Sementes mal distribuídas e de baixo vigor, provocam efeitos negativos diretos e indiretos sobre a produtividade. Em compensação, a utilização de sementes com alto vigor juntamente com uma distribuição uniforme das sementes contribui para uma maior produtividade da cultura da soja. Além disso, melhora o desenvolvimento inicial das plantas e favorece o estabelecimento do estande (Pimentel, 2022).

A plantabilidade, ou qualidade de semeadura, depende em ampla parte do conjunto trator-semeadora. Os mecanismos dosadores de sementes, sejam eles de disco horizontal e pneumático, interfere na distribuição, sendo o sistema a pneumático o que apresenta eficiência mais satisfatória (Embrapa, 2018).

O tipo e a altura do tubo condutor da semente são elementares na sua distribuição no solo, bem como a correta abertura e fechamento do sulco pelo mecanismo (Embrapa, 2018).

Um outro fator é a correta deposição da semente na profundidade adequada. Na teoria, a regulação do mecanismo limitador de profundidade cria um intervalo de profundidade que vai de zero à profundidade limitada pelas rodas. Essa variação é devido à resistência à penetração dos discos no solo, na qual varia em virtude da compactação, textura e umidade do solo. Além disso, a força descendente da unidade de uma semeadora varia sobre o solo de acordo com o nível de sementes no reservatório. Esse segundo ponto destacado é o mais evidenciado, pois se torna visível em vários cultivos pré-emergência maior no início da linha e ao final a emergência mais precoce (Oliveira, 2019).

As semeadoras modernas apresentam mecanismo que auxilia nesse contexto, que é o sistema de força descendente na linha (*downforce*) automatizado. A força pode ser aplicada de forma hidráulica ou pneumática. Para ambos os mecanismos, a força é aplicada no sentido vertical na unidade de semeadura contra o solo, isso evita

a flutuação, mantendo as discos sulcadores em profundidade constante (Oliveira, 2021).

2.3 Semeadora-adubadora

O processo de semeadura mecanizada envolve abrir um sulco no solo, colocar as sementes em uma profundidade pré-determinada e fechar e compactar o sulco para garantir o contato adequado da semente com o solo (Oliveira *et al.*, 2025).

Para isso, as semeadoras-adubadoras são constituídas por reservatório, mecanismo de corte da palhada, mecanismo dosador, mecanismo de condução e lançamento das sementes, mecanismo abridores de sulco, mecanismo de controle de profundidade, mecanismo de adensamento do leito de semeadura, mecanismos de transmissão de movimento, mecanismos de acoplamento e sustentação.

Os reservatórios têm a função principal de manter temporariamente um determinado volume de semente e adubo em condições ideais para serem posteriormente escoados ao sistema de dosagem. Eles são frequentemente produzidos em plástico injetado (polietileno), embora também possam ser fabricados em outros materiais, como ligas de aço e aço inoxidável (Francetto *et al.*, 2024). Os reservatórios podem ser de linhas individuais independentes ou dependentes.

Nas semeadoras-adubadoras de reservatórios de linhas individuais independentes, cada carrinho das linhas funciona como uma unidade totalmente autônoma. Cada carrinho apresenta seus próprios reservatórios, mecanismo dosadores, abridores de sulco, rodas, etc. (Mialhe, 2012).

Já as semeadoras-adubadoras de reservatórios de linhas individuais dependentes os carrinhos não são totalmente autônomos, apresentando reservatórios ou mecanismo de uso comum (Mialhe, 2012).

O mecanismo dosador é responsável por subdivisão da massa de sementes/adubos em quantidade que satisfaçam uma preestabelecida razão de semeadura (Mialhe, 2012). As semeadoras-adubadoras nacionais atualmente dispõe de dois sistemas de dosagem para semente, o disco horizontal mecânico e o dosador pneumático (Jorge *et al.*, 2024). Para os mecanismos dosadores de adubo empregam-se sistema helicoidais, em sua maioria (Balastreire, 1990).

Para conduzir as sementes liberadas pelos mecanismos dosadores até os órgãos abridores de sulco e necessário o mecanismo de lançamento das sementes.

Esses mecanismos podem ser agrupados em três categorias (condução por gravidade, condução forçada e agrupamento de sementes) (Mialhe, 2012).

A condução por gravidade é composta por um tubo condutor localizado abaixo do dosador. A forma como as sementes são liberadas pelo dosador influencia diretamente na trajetória ao longo do tubo. Além disso, aspectos intrínsecos ao próprio mecanismo, como o diâmetro, comprimento, rugosidade interna e perfil, bem como a angulação e altura em relação ao solo, influenciam diretamente a precisão da deposição (Francetto *et al.*, 2024).

Dentro dos componentes constituintes da semeadora-adubadora, o mecanismo abridor de sulco constitui um dos elementos mais críticos na interação entre o solo e a máquina no contexto de semeadura direta. Para essa finalidade são usados sulcadores que podem ser de discos duplos desencontrados e defasados, além de hastes sulcadoras (botinhas) como órgão ativo fixo (Jorge *et al.*, 2024).

Os mecanismos de controle de profundidade foram projetados para garantir que os órgãos ativos, como discos de corte, sulcadores e outros mecanismos, mantenham uma profundidade de trabalho consistente ao longo de todo o percurso de semeadura (Francetto *et al.*, 2024).

O mecanismo de adensamento do leito de semeadura tem a função de melhorar o contato entre a semente e o solo, isso é possível com a aplicação de uma pressão lateral e sobre o sulco de semeadura. Este adensamento visa garantir um bom contato da semente com o solo, sendo essencial para o processo de germinação (Silva *et al.*, 2004). Segundo Mialhe (2012), geralmente são utilizadas rodas compactadoras, que podem ser de borracha ou ferro, lisa ou ranhuradas. Em termos gerais, as rodas compactadoras côncavas firmam o solo sobre a semente, enquanto as rodas em formato de “V” pressionam o solo lateralmente à semente.

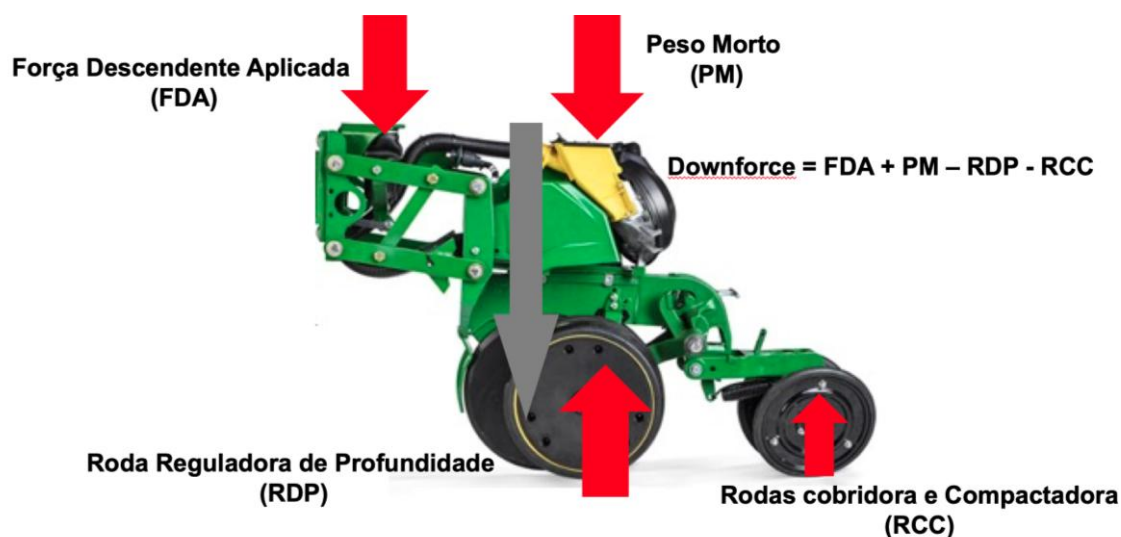
Os mecanismos de transmissão de movimento são um conjunto de elementos responsáveis por gerar, receber e/ou transmitir energia necessária para acionar os eixos dos dosadores de sementes e/ou adubos. A energia mecânica pode ser fornecida pela própria semeadora-adubadora, ou por motores hidráulicos ou elétricos, os quais recebem energia proveniente do acoplamento com o trator (Francetto *et al.*, 2024).

Por fim, os mecanismos de acoplamento e sustentação recebem os demais órgãos da máquina e possibilitam seu acoplamento à fonte de potência (Mialhe, 2012).

2.3.1 Força descendente (downforce) aplicada na unidade da linha de uma semeadora

A transferência de força vertical ao mecanismo abridores de sulco e o controle da profundidade de semeadura são propriedades que estão intimamente correlacionados ao sistema de força descendente (na língua inglesa “downforce”) aplicada na unidade da linha de uma semeadora-adubadora para plantio direto.

Figura 1 - Diagrama de uma unidade de linha de semeadora, com forças mecânicas identificadas



Fonte: Adaptada John Deere (2023).

Quantitativamente, a força descendente total (downforce) da linha de uma semeadora refere-se a força necessária para deslocar o solo para criar o sulco no qual as sementes são depositadas. Essa força é dividida em dois componentes principais. O primeiro é chamado de peso morto (PM) de uma unidade de linha individual, já o segundo é qualquer força mecânica aplicada à unidade de linha de um sistema montado na barra de ferramentas da semeadora (Figura 1) denominado como força descendente aplicada (FDA). Na configuração da semeadora, essas forças são neutralizadas por reações de "força ascendente" do solo aplicadas a roda reguladora de profundidade (RRP) e rodas cobridora e compactadora (RCC) (Brune *et al.*, 2018).

Basicamente, o somatório resultando da força descendente total (downforce) precisam ser um valor positivo para que os mecanismos consigam penetrar no solo. Entretanto, uma somatória extremamente positiva ocorrerá um aprofundamento

excessivo. Por outro lado, uma somatória negativa demonstra que nenhum trabalho será realizado. Sendo assim, a condição ideal irá permitir uma melhor formação de sulco, além de melhorar a qualidade da distribuição e condução das sementes (Francetto *et al.*, 2024).

Tradicionalmente, a força descendente (Figura 2) é aplicada na unidade de linha de uma semeadora por um sistema mecânico, mas mecanismos pneumáticos e hidráulicos estão em expansão no mercado (Oliveira, 2021).

Figura 2 - Tipos de sistemas de força descendente: mecânico, pneumático e hidráulico



Mecânico



Pneumático



Hidráulico

Fonte: John Deere (2023).

O sistema mecânico de força descendente na linha de semeadura (Figura 3) é o mais difundido nas semeadoras atuais. Esse sistema é composto por molas helicoidais que são reguladas manualmente para fornecer a força desejada. A força permanece constante no decorrer do trabalho, sendo necessário um monitoramento do operador para certificar de que as condições desejadas de semeadura estão sendo atingidas. Essa abordagem fornece uma regulagem simples e confiável, sendo uma escolha devido à sua eficácia, baixo custo e facilidade de manutenção (Francetto *et al.*, 2024). Porém, pode ser que a transferência de carga a esses mecanismos e um adequado controle de profundidade de semeadura não seja atingido (Morrison Jr., 1988). Isso porque, na operação de semeadura há variabilidade da resistência do solo linha a linha (devido a fatores como textura do solo, umidade do solo, compactação do tráfego de rodas, terreno, velocidade de semeadura, etc.) que pode exigir uma

configuração variável de força descendente em tempo real para cada unidade de linha da semeadora (Sharda, 2017).

Figura 3 - Sistemas de força descendente mecânico

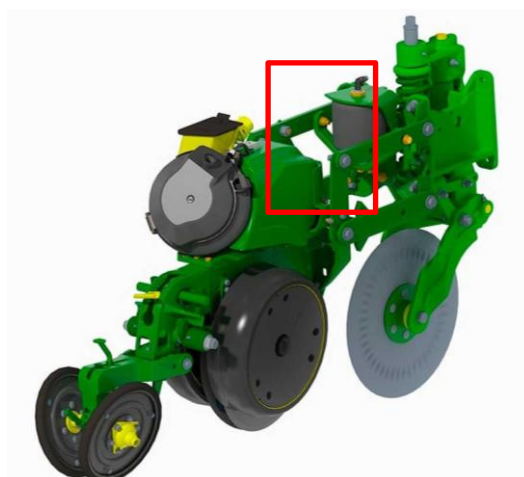


Fonte: John Deere (2023).

Com os avanços na tecnologia de semeadura de precisão nos últimos anos, sistemas de controle mais novos e melhores foram desenvolvidos com o uso de sistemas pneumáticos ou hidráulicos para proporcionar forças descendentes consistentes em toda a amplitude de movimento da unidade de linha da semeadora (Virk, 2020).

O sistema pneumático de regulação de força descendente (Figura 4) usa bolsa de ar em vez da mola helicoidal, ajustando a força descendente ao inflar e desinflar. Esse sistema tem um melhor efeito de controle de estabilidade de força descendente na linha sob a condição de ondulação da superfície e uma redução de vibração. Isso porque fornece força descendente mais consistentes em toda a faixa de deslocamento da linha de semeadora que os sistemas mecânicos de força descendente de mola helicoidal (Cao *et al.*, 2022).

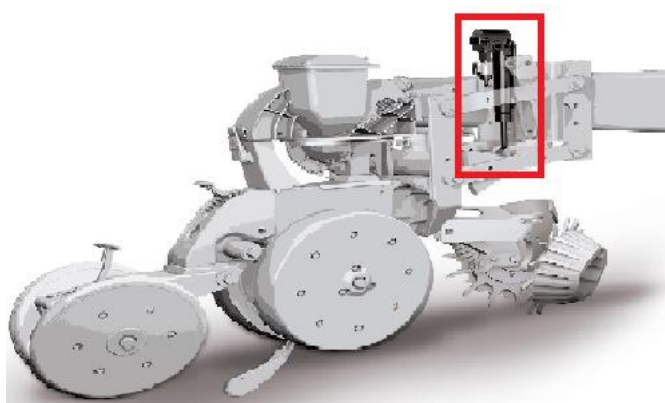
Figura 4 - Sistemas de força descendente pneumático



Fonte: John Deere (2023).

Já o sistema hidráulico de força descendente na linha de semeadura (Figura 5) utiliza-se de um atuador hidráulico (DeltaForce) que é acionado por um controlador de sensor de células de carga (Loadpin). O atuador aplica a força definida (fixa ou variável), a cada centímetro, em cada unidade de linha de semeadura (Sharda, 2017). A força é aplicada as cargas de forma fixa, sem considerar as variabilidades do solo. Já nas forças variáveis as cargas são aplicadas com a variabilidade do solo, utilizando forças ascendentes e descendentes para manter um alvo de carga dependente da variabilidade da resistência mecânica do solo (Oliveira, 2022).

Figura 5 - Sistemas de força descendente hidráulico



Fonte: Precision Planting (2020).

O sistema pneumático de regulação de força descendente se diferencia do sistema hidráulico de força descendente. No sistema pneumático, o ar é compressível e permite a flutuação individual da semeadora sem fluxo de ar. Já no sistema hidráulico, o óleo é incompressível e deve fluir para os cilindros hidráulicos de pressão

descendente durante a flutuação. O controle do fluxo de ar pelo sistema de controle de profundidade fornece pressão descendente adequada com modulação de posição vertical em vez de controle de pressão de ar. Embora seja verdade que os sistemas hidráulicos também possam ser operados como controles de posição, a incompressibilidade do óleo requer válvulas e circuitos para conseguir a flutuação da unidade (Morrison, 1988). Além disso, o sistema hidráulico proporciona maior flexibilidade e capacidade de adaptação às variações nas condições do solo e possibilita ajustes rápidos e precisos diretamente do painel de controle da máquina (Francetto *et al.*, 2024).

Porém os produtores rurais geralmente usam uma única configuração de força descendente específico para uma cultura, em todo o campo, e às vezes entre os campos sem levar em consideração a variabilidade do solo que existe dentro e entre os campos. Esta configuração aumenta a chance de sementes serem plantadas muito rasas ou muito profundas. Pesquisas anteriores sugerem que a força descendente da semeadora deve ser otimizada para diferentes tipos de solo, garantindo condições para uma profundidade de semeadura uniforme. Uma vez que a força descendente ideal muda com as condições de solo, sendo assim é necessário medir e quantificar a variabilidade do solo em campo para compreender completamente os requisitos de força descendente ideal em várias condições de solo na semeadura (Virk, 2020).

Zhao *et al.* (2019) e Jing *et al.* (2020) obtiveram resultados que mostraram que o mecanismo hidráulico de forças descendentes tiveram melhor desempenho em termos de consistência de profundidade e índice de qualificação da profundidade de semeadura do que o ajuste do mecanismo mecânico convencional por molas helicoidais.

Um dos sistemas mais modernos de controle de força descendente é o sistema hidráulico. Quando acoplado às unidades de semeadura tem como característica fundamental manter as rodas reguladoras de profundidade em constante contato com a superfície do solo, bem como a profundidade de semeadura (Oliveira, 2021). No entanto, os benefícios desses sistemas não podem ser totalmente realizados sem a compreensão da força descendente real requisitada pela semeadora em diferentes condições de solo (Virk, 2020).

Porém, segundo Oliveira *et al.* (2019), o investimento nessa tecnologia reflete na qualidade de semeadura, na uniformidade da profundidade e posteriormente na produtividade da lavoura.

2.4 Uniformidade de distribuição longitudinal de sementes

O processo de aferir a uniformidade de distribuição longitudinal na semeadura é relevante pois expõe se a semeadura está sendo eficiente ou se é possível aprimorá-lo, e extrair todo potencial do conjunto trator-semeadora (Muniz *et al.*, 2021). Essa uniformidade de distribuição longitudinal pode ser determinada pelo coeficiente de variação (CV) de espaçamentos e a distribuição longitudinal de sementes, sendo eles a percentagem de espaçamentos aceitáveis, duplos e falhos (Kurachi *et al.*, 1989).

O coeficiente de variação (CV) é uma medida de dispersão que é dada em porcentagem e calculada pelo desvio padrão dividido pela média dos espaçamentos entre as sementes/plantas. Sendo assim, quanto maior o valor obtido de CV%, maior é a variação dos espaçamentos em relação a média, ou seja, menor a uniformidade de distribuição (Jorge *et al.*, 2024).

Mialhe (2012) expõe que um afastamento acima ou abaixo da distribuição longitudinal, resulta em perdas na produtividade e, conseqüentemente, desperdício de recursos e de trabalho. Kurachi *et al.* (1989) afirmam que as distâncias entre plantas precisam ser uniformes e seguir as recomendações agronômicas do número de plantas por hectare, também conhecido como estande.

O estande de plantas pode sofrer modificações baseado em alguns fatores, sendo, a cultivar e a disponibilidade de água e nutrientes um deles. No caso do não alcance do estande desejado dois problemas são observados, o aparecimento de duplas e falhas. Quando a distância entre as sementes/plantas for menor que 0,5 vezes a distância ideal é considerável dupla. Quando o valor da distância entre sementes/plantas estiver 1,5 vezes maior que a distância ideal é considerável falha. O que se espera, é que se tenha uma distância maior que 0,5 e menor que 1,5 vezes para o espaçamento ser ideal é considerar a distribuição aceitável ou normal (Kurachi *et al.*, 1989). Esta denominação de distribuição aceitável, dupla e falha tem relação direta com a uniformidade, em razão de que, quanto maior o número de espaçamentos aceitáveis, maior é a uniformidade do estande (Martin *et al.*, 2022).

É quase impossível se obter 100% dos espaçamentos aceitáveis em uma semeadura. Isso porque existem fatores que interferem nesse processo, pode ser citado, o balançar da semeadora, condições do terreno ou até mesmo falta de regulação do conjunto trator-semeadora. Porém é preciso mitigar a quantidade de duplas e falhas para ter-se uma melhor plantabilidade (Jorge *et al.*, 2024).

Weirich Neto *et al.* (2015) ao avaliarem a qualidade da semeadura no milho durante cinco anos agrícolas em 30 propriedades totalizando 64 semeadoras-adubadoras, constatou espaçamentos falhos e duplos. Para os autores uns dos principais motivos para isso foi o uso de disco e/ou anel inadequados para a peneira do híbrido, pressão indevida no sistema pneumático, mau posicionamento das sementes dentro do sulco, umidade do solo inadequada para semeadura, incorreta abertura e fechamento do sulco e contato solo-semente dificultado pela quantidade de palha no sistema de semeadura direta.

Na cultura da soja o agrupamento na linha de semeadura, conhecido como duplas, pode ocasionar o desenvolvimento de plantas de maior porte, todavia menos ramificadas, com baixa produção individual, diâmetro de haste reduzido e, portanto, mais propensas ao acamamento. Além disso, os espaços falhos facilitam o surgimento de plantas com tamanho reduzido e, como resultado, favorece o crescimento de plantas daninhas diminuindo a produtividade (Souza, 2021).

Algumas instituições de ensino e pesquisa mostram que, em média o CV% para a cultura da soja deve ser em torno de 50%, enquanto que para a cultura do milho o valor é menor (30%). No entanto, esses valores podem variar devido as diferentes condições de solo e tecnologias aplicadas na semeadura. Além disso, percebe-se que quanto mais alta for a população de plantas, teoricamente, maior será o valor obtido de CV% (Jorge *et al.*, 2024).

Ao avaliarem a semeadura de soja em função de mecanismos dosadores (convencional e titanium) em diferentes velocidades operacionais, constataram que a velocidade interfere nos resultados de uniformidade de distribuição. Os valores de aceitáveis foram maiores quanto menor a velocidade. Já os valores de falhas foram crescentes quando se aumentou a velocidade. Porém, notou-se que o dosador titanium evidenciou uma performance ligeiramente superior ao dosador convencional (Correia *et al.*, 2020).

Marques Filho *et al.* (2020) corroboram com os autores citados anteriormente que a baixa velocidade de deslocamento tem efeito positivo nos espaçamentos aceitáveis, duplos e falhos. Além disso eles destacaram que a seleção do conjunto disco-anel correto afeta positivamente a distribuição longitudinal de sementes.

A distribuição longitudinal uniforme ao longo da linha de semeadura proporciona maior produtividade na cultura da soja. Já a ocorrência de plantas duplas ou triplas em uma população diminui a produtividade (Fiss *et al.*, 2018).

Mesmo atingindo as recomendações agronômicas do número de plantas por hectare, pode haver comprometimento do potencial produtivo da lavoura se as sementes não forem distribuídas de forma uniforme nas linhas de semeadura (Sangoi *et al.*, 2012).

2.5 Profundidade de semeadura

A adequada profundidade na semeadura é fundamental para que ocorra a emergência homogênea e consistente das plântulas, uma vez que a variabilidade no processo de desenvolvimento interfere o rendimento final das culturas (Nielsen *et al.*, 2018).

A profundidade ótima de semeadura varia muito para as diferentes culturas, uma vez que este fator é influenciado pelas condições de umidade e temperatura do solo, época de semeadura, fertilidade do solo, etc (Balastreire, 1990). Na cultura do milho semeadura entre 6 e 8 cm de profundidade proporciona maior velocidade de emergência de plantas (Silva *et al.*, 2015). No trigo a profundidade de semeadura deve ficar entre 2 e 5 cm (Godoy *et al.*, 2014). Virk *et al.* (2020) relataram que, dependendo das condições de solo o algodão é semeado em profundidades que variam de 0,6 a 2,5 cm. Normalmente, para a cultura da soja a semeadura é realizada a uma profundidade entre 3 e 5 cm (Silva *et al.*, 2008).

Caso essas sementes sejam semeadas em profundidade maior, pode ocasionar prejuízos à emergência das plântulas, visto que há um maior gasto de energia da plântula e conseqüentemente uma demora expressiva na emergência, com impacto no vigor inicial da cultura, principalmente com a ocorrência de impedimentos sobre as mesmas como pedras e crostas superficiais sobre o terreno. Além disso, profundidade maior pode facilitar o ataque de micro-organismos sobre os primeiros tecidos vegetais lançados pela semente, no início do desenvolvimento da plântula, afetando a produtividade. Por outro lado, profundidades menores levam à competição entre as plantas por água, luz e nutrientes, além de favorecer a ocorrência de exposição das sementes a qualquer variação ambiental, por exemplo, hídrica ou térmica (Francetto *et al.*, 2024; Mialhe, 2012).

A disponibilidade hídrica é importante em dois períodos. O primeiro é a germinação-emergência, e o segundo a floração-enchimento de grãos. Na germinação, o excesso e a falta hídrica são prejudiciais a plantabilidade. O

recomendado é que, nessa fase o conteúdo de água no solo fique entre 50% e 85%. A baixa disponibilidade de água nessa fase pode prejudicar a altura das plantas, aumentando as perdas na colheita. Já no período de floração, a exigência hídrica é aumentada, devido a ampliação da área foliar. Nesse período pode-se ter plantas de pequenas estaturas quando ocorre secas severas, devido a diminuição nos números de nós e no comprimento dos entrenós. Por outro lado, o excesso hídrico no solo pode acarretar acamamento, resultando em queda de produtividade (Silva *et al.*, 2022).

A temperatura média do solo apropriado à semeadura da soja varia de 20°C a 30°C. Para que ocorra germinação rápida e emergência uniforme, a temperatura média ótima do solo deve estar ao redor de 25°C. Semeaduras com temperaturas de solo menores do que 20°C podem prejudicar a germinação e a emergência das plântulas (Garcia *et al.*, 2007).

Conceição *et al.* (2023) fizeram experimento de semeadura em bandejas plásticas preenchidas com areia grossa e constaram que a semeadura profunda aumenta o tempo de emergência. Além disso, também reduz a altura das plantas bem como o volume de raízes, biomassa fresca total, da parte aérea e das raízes.

Dias *et al.* (2020), ao avaliarem a cultura da soja semeada à campo em diferentes profundidades das sementes e épocas de semeadura, verificaram que a plantabilidade é prejudicada. Isso foi constatado pelo erro da profundidade de semeadura, representada pela emergência e sobrevivência de plantas que foram impactadas negativamente no momento do estabelecimento da cultura.

Conforme citado por Nielsen *et al.* (2018), o controle de profundidade de semeadura por sistemas de semeadora de precisão melhorou a uniformidade da profundidade em todas as velocidades testadas quando comparada a um sistema de semeadora padrão. Esses autores afirmam que há necessidade de uma aplicação automatizada como sistema de controle de profundidade, para reduzir desvios indesejados da profundidade na etapa de semeadura.

Poncet *et al.* (2019) concluíram que a profundidade da unidade de linha de uma semeadora bem como a força descendente aplicada, não afetaram a emergência quando a temperatura do ar estava acima do considerado normal para a cultura do milho em diferentes condições de campo.

Virk *et al.* (2019), ao realizarem uma pesquisa ampla com a cultura do milho, obtiveram, entre outros resultados, informações com relação ao uso da semeadora. Para os autores, a profundidade final da semeadura foi afetada pela profundidade da

semente e força descendente aplicada nos diferentes tipos de solo estudados. Porém, não houve efeito significativo da força descendente com relação a emergência.

Oliveira (2021), ao avaliar a qualidade da distribuição de forças verticais pelo mecanismo de força descendente hidráulico e o seu impacto na profundidade de semeadura e emergência do milho e algodão confirmou que o modo de aplicação de força variável foi mais eficiente com relação ao modo fixo, proporcionando uma uniformidade de distribuição da força descendente melhor. Verificou-se também impacto na profundidade de semeadura. Forças verticais médias, altas ou muito altas independentemente do modo de operação proporciona melhor qualidade de semeadura.

O aumento da força descendente da semeadora ocasionou uma mais profundidade de semeadura em ambos os modos operacionais (fixo e variável). Além disso, quando comparado a não utilização de força descendente com todas as demais forças aplicadas observou que a profundidade foi maior. Os autores afirmam que os sistemas de força descendente são benéficos para atingir as profundidades de semeadura alvo (Oliveira *et al.*, 2025).

2.6 Velocidade de deslocamento da semeadora

A velocidade de deslocamento ideal para a semeadura é aquela em que o sulco é aberto e fechado sem deslocar o excesso de solo, permitindo a uniformidade de espaçamentos equidistantes entre as plantas na linha de cultivo e depositando a semente na profundidade correta (Rodrigo *et al.*, 2011).

De acordo com dados observados em campo, a velocidade ideal para semeadoras com mecanismos dosadores pneumáticos é de 6,0 km.h⁻¹, podendo ser tolerado um limite de 7,5 km.h⁻¹ em condições ótimas de campo e com máquinas de alta tecnologia empregada, sem afetar a qualidade de semeadura. Em semeadoras com mecanismos dosadores mecânicos esse valor de velocidade ideal diminui, recomenda-se trabalhar em uma velocidade de 5 km.h⁻¹, sendo o limite, dentro das condições de campo, de até 5,5 km.h⁻¹(Jorge *et al.*, 2024).

A velocidade de semeadura interfere na uniformidade de espaçamentos equidistantes. A elevação da velocidade de semeadura, aumenta os espaçamentos duplos e reduz os aceitáveis (Correia *et al.*, 2020), o que por sua vez diminui o rendimento da soja (Bortoli *et al.*, 2021).

Para Franco *et al.* (2021) e Naves *et al.* (2020) as semeadoras de precisão são submetidas as diversas condições de trabalho, o que pode causar variação de distribuição de sementes na linha de semeadura. Para os autores o incremento da velocidade de semeadura influenciou na redução da porcentagem de espaçamentos aceitáveis e consequentemente, aumentou a porcentagem de espaçamentos duplos e falhos. Entretanto, não influenciaram na produtividade e massa de mil grãos.

Zhao *et al.* (2019) concluíram que com o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora e da compactação do solo, o coeficiente de variação da profundidade de semeadura apresentou tendência de aumento e a consistência da profundidade de semeadura apresentou tendência de declínio.

Para Badua *et al.* (2021) a velocidade do conjunto trator-semeadora influencia na força descendente da semeadura. Velocidade de deslocamento mais baixas, proporciona uma semeadura mais uniforme, com o aumento da velocidade, maiores forças descendentes são exigidas para alcançar a profundidade desejada.

Embora os estudos tenham relatado o impacto potencial da força descendente e da velocidade do solo, Badua *et al.* (2021) afirma que nenhum dado foi publicado para determinar o impacto da interação entre configurações de controle de força descendente hidráulica e velocidades de operação na profundidade de semeadura e espaçamento entre plantas. Sendo assim, Badua *et al.* (2018), recomendaram esforços de pesquisas para quantificar a influência de diferentes velocidades de semeadura e configurações de controle de força descendente na uniformidade de colocação de sementes em campos variados e condições de funcionamento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

A área experimental está localizada na estação experimental da Agro Carregal pesquisa e proteção de plantas, em um talhão de teste sob as coordenadas: S - 17°47'0,984" e W -51°0'28,42210" e altitude de 771,6m, localizada no município de Rio Verde/GO, na Região Sudoeste do Estado de Goiás, Brasil. O experimento foi conduzido em duas safras. A primeira safra correspondeu ao ano agrícola 2022/23 e a segunda safra a 2023/24.

Para classificação climática de Köppen o município de Rio Verde/GO caracteriza-se em clima Aw Tropical com estação seca no inverno pela classificação de Köppen e B1 w A', subtipo climático a' de clima megatérmico úmido com DEF moderada no inverno pela classificação de Thornthwaite. As temperaturas médias anuais no mês mais frio de 21,4 °C (junho) e o mais quente 24,5 °C (fevereiro) com precipitação em torno de 217mm ao ano (Lopes Sobrinho, 2020).

O solo do local foi classificado como latossolo vermelho distroférico com textura argilosa (Embrapa, 2006).

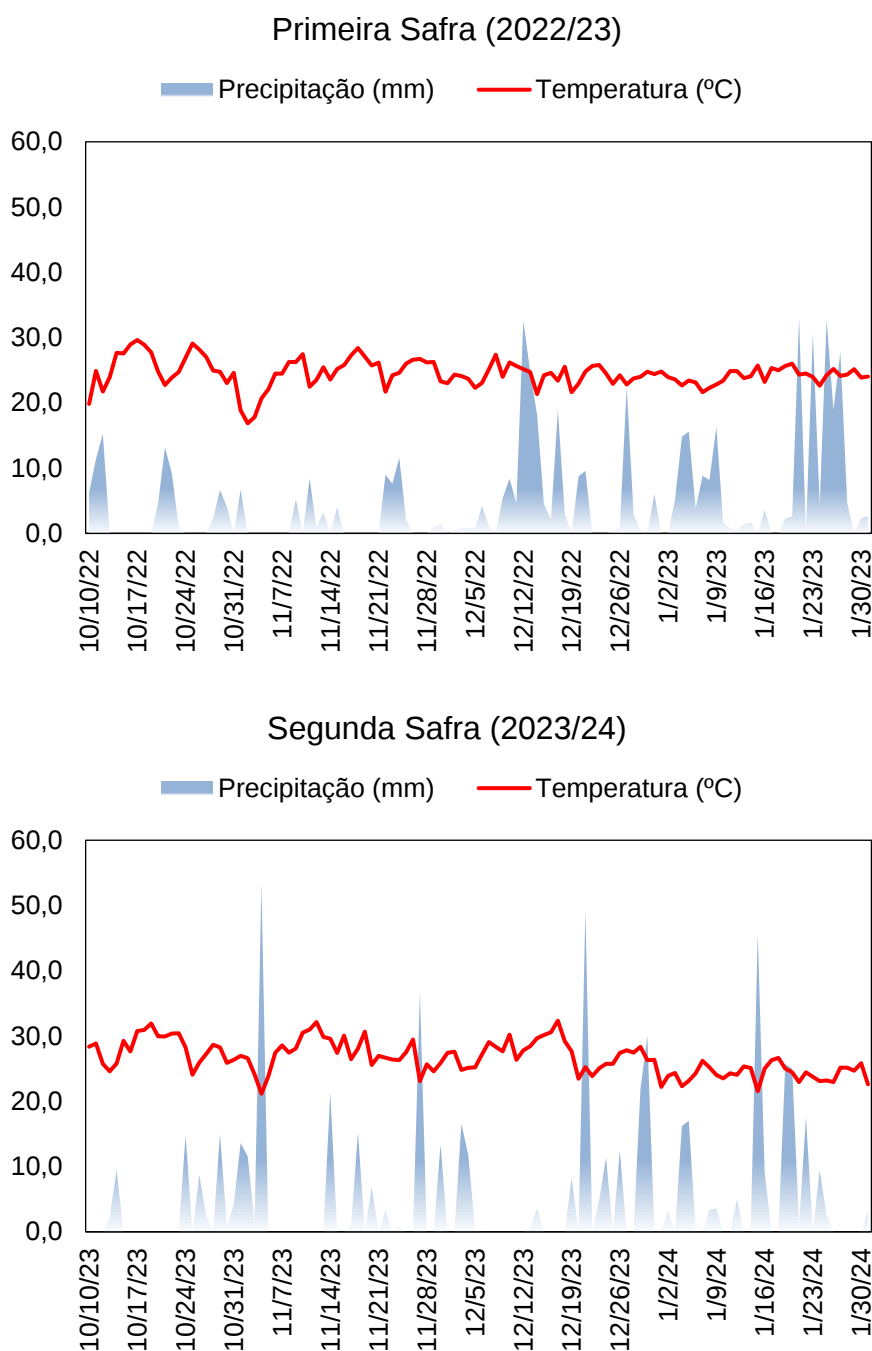
3.2 Dados Climáticos

Na Figura 6 são apresentados os dados climáticos referentes a primeira e segunda safra do experimento. Os dados foram obtidos da estação meteorológica de Rio Verde disponibilizado por CLIMATEMPO.

A semeadura da primeira safra (2022/23) foi realizada no dia 14/10/22 a temperatura média nessa data foi de 27,7° e não houve precipitações.

Na segunda safra (2023/24) a semeadura ocorreu no dia 28/10/23, observa-se que no dia anterior houve uma precipitação de 2,4 mm.

Figura 6 - Climograma da época de semeadura do experimento na primeira e na segunda safra



3.3 Caracterização do trator e semeadora-adubadora

Na execução do experimento foi utilizado um trator de pneus (Figura 7) da marca John Deere, modelo 6130J, com potência de 130cv (95,6148kW) no motor, utilizado para tracionar a semeadora-adubadora. Suas principais especificações técnicas estão destacadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações técnicas do Trator 6130J.

Especificações Técnicas	Trator 6130J
Peso Máximo com Lastro	7.000 kg
Distâncias entre eixos	2.650 mm
Comprimento total	4.921 mm
Rotação nominal do TDP	540/1.000 rm
Força máxima de levantar na barra de tração	4.650 kgf

Fonte: John Deere (2024).

Figura 7 - Trator para tracionar a semeadora-adubadora



Fonte: John Deere (2023).

A semeadora-adubadora utilizada foi da marca John Deere modelo 1111JD pantográfica, com dosador de sementes pneumático (Figura 8) de 10 linhas com espaçamento entrelinhas de 0,50m.

Figura 8 - Semeadora-adubadora pneumática.



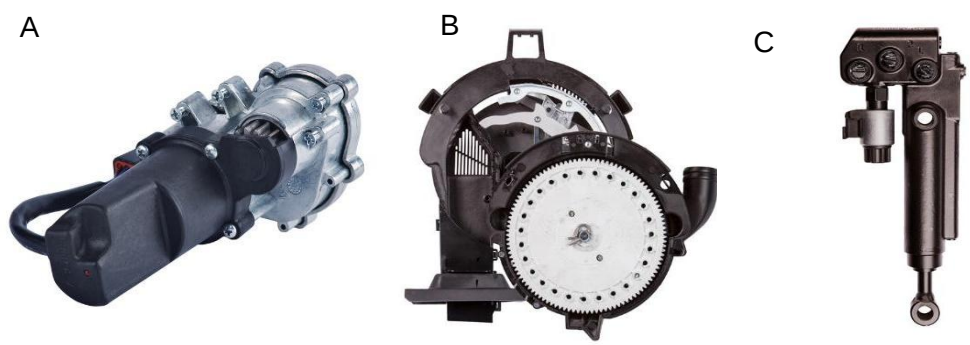
A semeadora-adubadora era equipada com equipamentos que dão suporte a agricultura de precisão (Figura 9). O sistema de transmissão elétrico (vDrive®) substitui toda a parte de transmissão mecânica da semeadora. Esse sistema de transmissão controla a distribuição das sementes com alta precisão, permitindo o controle individual de cada unidade de linha da semeadora, ajustando a taxa de semeadura conforme a necessidade para diferentes áreas no campo.

Os dosadores de sementes (vSet®) usam um disco plano que permite as sementes não precisarem se encaixarem nas células do disco de forma perfeita, como acontece em dosadores mecânicos.

A semeadora apresentava também em cada unidade de linha da semeadura o sistema de força descendente hidráulico (Delta Force) que monitora a pressão aplicada as sementes durante a semeadura, garantindo que elas fossem colocadas com a pressão adequada, com isso ajuda a evitar problemas de compactação excessiva do solo ou semeadura muito superficial.

O monitoramento foi realizado da cabine do operador do trator. Existia uma tela digital onde os valores de referências da pressão hidráulica a ser aplicada, são inseridos. Os dados de valores de pressão hidráulica juntamente com informações da célula de carga presente na roda reguladora de profundidade, ajustaram a quantidade de força que foi aplicada no sistema pantográfico pelo Delta Force.

Figura 9 - Sistema de acionamento elétrico (vDrive®) (A) do dosador de sementes (vSet®) (B) e sistema hidráulico (DeltaForce®) (C)



Fonte: Precision Planting (2020).

3.4 Condições experimentais

O experimento foi conduzido em uma área de sistema de plantio direto em que nos últimos dez anos, houve a sucessão de culturas. A soja era cultivada na primeira safra, e o milho cultivado na segunda safra.

Tabela 2 - Propriedades químicas do solo, referente a primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24)

Ano	Profundidade (cm)	Ca	Mg	K	Al ³	M.O.
		-----mmol _c dm ⁻³ -----				g dm ⁻³
2022	0-20	19	3	0,6	0,0	15
	20-40	9	2	0,3	0,0	17
	Profundidade (cm)	Cu	Fe	B	Zn	Mn
		-----mg dm ⁻³ -----				
	0-20	0,6	5,0	0,61	2,5	2,5
	20-40	0,0	0,0	0,16	0,0	0,0
Ano	Profundidade (cm)	Ca	Mg	K	Al ³	M.O.
		-----mmol _c dm ⁻³ -----				g dm ⁻³
2023	0-20	31	15	1,9	0,0	18
	20-40	4	2	0,2	0,0	11
	Profundidade (cm)	Cu	Fe	B	Zn	Mn
		-----mg dm ⁻³ -----				
	0-20	15	10,0	0,0	6,4	18
	20-40	2	5,0	0,0	1,3	11

Fonte: Rônegua Boa Sorte Vargas (2024).

Antes da realização do experimento havia palhada de milho na área. Foi realizado o manejo na área com a aplicação de glifosato e zethamaxx, estes foram aplicados com o auxílio de pulverizador tratorizado.

Realizou-se amostragem para análises química do solo, cujos resultados são apresentados na tabela a seguir.

O manejo de adubação da área foi baseado nos resultados da análise química do solo. Foi realizado adubação de base com 200 kg ha⁻¹ da fórmula de aplicação de 8-37-11. O tratamento de sementes foi realizado com os produtos standak top, cell teck max e up seeds.

A população de sementes depositadas foi de 340.000 sementes por hectare, sendo distribuídas 17 sementes por metro, considerando um espaçamento entre linhas de 0,50 m. A semeadora foi regulada para que as sementes fossem depositadas na profundidade de 0,03 m.

O teor de água no solo (TAS) foi determinado, logo após a semeadura na camada de 0 a 8 cm. Utilizando-se sonda TDR (Procheck), devidamente calibrada de acordo com o manual do fabricante (Figura 10).

Figura 10 - Equipamento usado para aferir o Teor de Água no solo (TSA)



Fonte: Procheck

A porcentagem de teor de água no solo (TAS) na primeira safra variou de 14,9 a 22,3% nos tratamentos avaliados. Na segunda safra os valores médios variando entre 10,83 a 19,60%.

Figura 11 - Equipamento usado para aferir a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)



A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi determinada por meio do uso de um penetrômetro digital Falker PLG1020 (Figura 11) o perfil de compactação foi obtido até 60 cm de profundidade, com distâncias de 10 em 10 cm. Foram coletados 10 pontos em toda a área do ensaio experimental e gerado um mapa, efetuando-se mensuração em intervalos de 1 cm.

3.5 Ensaio experimental

Os tratamentos foram compostos pelas forças descendente aplicadas nas linhas da semeadora-adubadora por um mecanismo hidráulico (Delta Force) em que as forças avaliadas foram fixas e variáveis.

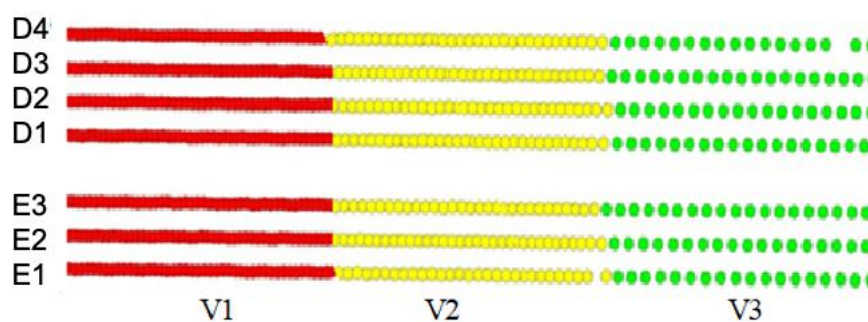
As configurações das forças descendentes fixas adotadas foram as comumente utilizadas pelos produtores devido às configurações de um sistema comercial que utiliza sistema mecânico de molas helicoidais. Já para o sistema de força descendentes variáveis partiu-se dos valores adotados nas forças fixas e levou em consideração as condições do solo (Tabela 3).

Tabela 3 - Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Modo de operação	Força aplicada	Newton (N)
Fixa	E1 - baixa	294
	E2 - média	588
	E3 - alta	883
Variável	D1 - baixa	226
	D2 - média	441
	D3 - alta	667
	D4 - sugerida	490

Fonte: Rônega Boa Sorte Vargas (2024).

As velocidades de deslocamento teóricas foram estipuladas, de acordo com a demanda de potência do trator e recomendação do fabricante da semeadora-adubadora, denominada V2, que se encontra dentro da faixa ideal para semeadura. Outras duas velocidades foram definidas, uma velocidade acima (V3) e outra abaixo (V1) dessas condições. As velocidades V1, V2 e V3 estarão em torno de 4; 6,5; 10 km.h⁻¹ respectivamente.

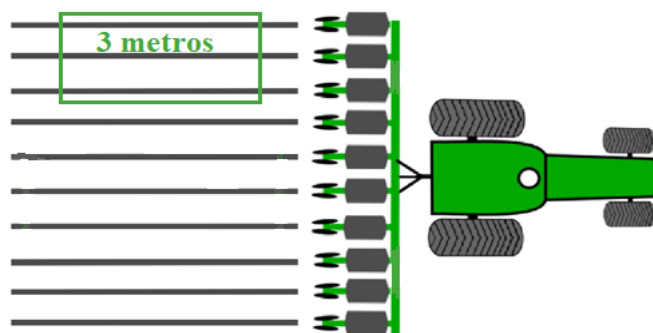
Figura 12 - Características da área do ensaio experimental

Fonte: Rônega Boa Sorte Vargas (2024).

O ensaio experimental (Figura 12) foi em esquema de arranjo em faixas 7x3 com quatro repetições. Sendo o fator A as sete forças (três fixas e quatro variáveis) e o fator B as três velocidades (4; 6,5; 10 km.h⁻¹). Totalizando 21 tratamentos.

Para a estatística descritiva e análise de variância utilizou a metodologia proposta por Krall et al. (1977) a qual as repetições das subparcelas foram constituídas por 3 m de comprimento em 3 linha da semeadora (Figura 13), totalizando uma unidade experimental de aproximadamente 4,5m². Cada passada em diferentes velocidades, correspondeu a 200m.

Figura 13 - Características das unidades experimentais.



Fonte: Adaptado Oliveira (2021).

3.6 Variáveis avaliadas

As variáveis foram avaliadas separadamente nas duas safras de condução. As variáveis os avaliados estão descritos a seguir.

3.6.1 Velocidade de Emergência

Após a semeadura, deu-se início ao monitoramento diário da área, depois de constatado a germinação das primeiras plântulas, com o intuito de quantificar o número de plântulas que germinar, ou seja, as que apresentavam cotilédones acima da superfície do solo. Essa contagem foi realizada conforme indicado por Nakagawa (1994).

Foi determinado o índice de velocidade de emergência (IVE). Para tanto foi contado o total de plântula em cada unidade experimental. Os valores do IVE foram determinados a partir da equação 1, proposta por Maguire (1962).

$$IVE = \left(\frac{G_1}{n_1} \right) + \left(\frac{G_2}{n_2} \right) + \dots + \left(\frac{G_n}{n_n} \right) \quad (1)$$

Em que:

IVE: índice de velocidade de emergência;

$g_1, g_2 \dots g_n$: número de plântulas emergidas em cada dia de contagem;

$n_1, n_2 \dots n_n$: número de dias decorridos entre a semeadura e o último dia de contagem.

Figura 14 - Plantas emergidas identificadas com abraçadeiras de cores distintas



Em cada dia de emergência foram fixadas abraçadeiras de nylon com diferentes cores (Figura 14) para identificação dos diferentes dias de emergência. Assim foi possível determinar a porcentagem de emergência em cada unidade experimental.

3.6.2 Profundidade de semeadura

A profundidade real da deposição das sementes foi aferida entre 10 e 15 dias após a emergência, por meio da remoção de quatro amostras de plântulas (Figura 15). Antes da remoção, as plântulas foram marcadas com caneta de tinta permanente na região do caule que tem contato com o perfil superficial do solo. Posteriormente elas foram desenterradas cuidadosamente. Mediu-se a distância marcada na caneta até a parte mais profunda do caule.

Figura 15 - Medição de profundidade de sementeira



Foto: Rônegia Boa Sorte Vargas - 2022

3.6.3 Distribuição longitudinal de plantas

A avaliação manual da distribuição longitudinal de plantas da unidade experimental ocorreu especificamente no estágio vegetativo V4 da escala fenológica da cultura (terceira folha trifoliada completamente desenvolvida), com utilização de trena graduada em mm e planilha de anotações. Foram avaliadas 3 linhas de 3 metros em todas as unidades experimentais.

Para o cálculo do CV (Coeficiente de Variação) foi utilizado às médias dos dados e o desvio padrão (Kurachi *et al.*, 1989).

Conforme a equação abaixo:

$$CV = \frac{S^2}{X} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

CV: coeficiente de variação, %;

S^2 : desvio-padrão de todos os espaçamentos entre plantas, cm;

X: média de todos os espaçamentos entre plantas, cm.

A medida da porcentagem de espaçamentos entre plantas (EEP) ideal foi considerado com base na densidade de sementeira adotada no ensaio. O número de sementes depositadas por metro foi de 17 sementes, então o valor de espaçamento referência foi de 5,88 cm entre cada semente. A partir disso foi possível determinar

conforme Kurachi *et al.* (1989) que são espaçamentos aceitáveis (EA), falhos (F) e duplos (D). Na Tabela 4 estão representados os valores.

Tabela 4 - Classificação do espaçamento entre sementes de soja conforme as recomendações de Kurachi *et al.* (1989)

Classificação	Espaçamentos EEP
Aceitáveis	$2,94 \text{ cm} < \text{EEP} < 8,82 \text{ cm}$
Falhos	$\text{EEP} > 8,82 \text{ cm}$
Duplos	$\text{EEP} < 2,94 \text{ cm}$

*Espaçamento desejado entre sementes em função da densidade de semeadura adotada (EEP) $\text{EEP} = 5,88 \text{ cm}$

3.6.4 Análise agronômica da cultura

Para análise agronômica da cultura foram selecionadas 10 plantas de soja ao final do ciclo e analisados os seguintes variáveis os:

3.6.4.1 *Altura total da planta*

A altura total da planta foi definida pela distância entre a base da haste principal e o ápice com auxílio de uma trena graduada em centímetros.

3.6.4.2 *Número de ramificações por planta*

Contou-se as ramificações primárias, oriundas da haste principal da planta para determinar o número de ramificações.

3.6.4.3 *Número de vagens por planta*

O número de vagens por planta foi contado após a retirada de todas as vagens da planta.

3.6.4.4 Número de grãos por planta

Somatório do número de grãos dentro de cada vagem para o cálculo do total por planta.

3.6.4.5 Massa de mil grãos

A massa de mil grãos foi definida a partir da contagem de quatro repetições de 500 grãos provenientes de cada unidade experimental. Foi aferido o teor de água dos grãos. Após isso, foi corrigido para 13% e os grãos pesados em balança eletrônica com precisão de 0,01g (MAPA, 2009).

O cálculo da massa de mil sementes foi obtido pela equação:

$$MMS = \frac{(MA \times 1000)}{NTS} \quad (3)$$

Em que:

MMS: massa de mil sementes;

MA: massa da amostra;

NTS: número total de sementes

Unidade das variáveis

3.6.5 Produtividade de grãos

A produtividade foi determinada através da colheita manual das plantas de soja presentes na metragem útil de cada unidade experimental.

As plantas foram debulhadas em uma trilhadora, pesadas individualmente em relação aos diferentes dias de emergências e posteriormente determinado a massa para cada parcela através de uma balança digital com precisão de 0,01g.

Para o cálculo da produtividade o teor de água dos grãos, previamente aferido, foi corrigido para 13% e por meio da massa de grãos produzidos por área útil da unidade experimental, foi calculada a produtividade em kg.ha⁻¹.

3.6.6 Análise estatística dos dados

O delineamento experimental adotado foi em arranjo em faixas. Os tratamentos consistiram na combinação de sete forças descendentes aplicadas em dois modos de operação (três fixas e quatro variáveis) e três velocidades (4; 6,5 e 10 km.h⁻¹), combinação de (7x3) com quatro repetições, totalizando 21 tratamentos. Os tratamentos estão descritos na próxima tabela.

Tabela 5 - Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Tratamentos	Modo de Operação	Forças (N)	Velocidade (km.h⁻¹)
T1	Fixa (E)	E1 (294N) baixa	4
T2		E1 (294N) baixa	6,5
T3		E1 (294N) baixa	10
T4		E2 (588N) média	4
T5		E2 (588N) média	6,5
T6		E2 (588N) média	10
T7		E3 (883N) alta	4
T8		E3 (883N) alta	6,5
T9		E3 (883N) alta	10
T10	Variável (D)	D1 (226N) baixa	4
T11		D1 (226N) baixa	6,5
T12		D1 (226N) baixa	10
T13		D2 (441N) média	4
T14		D2 (441N) média	6,5
T15		D2 (441N) média	10
T16		D3 (667N) alta	4
T17		D3 (667N) alta	6,5
T18		D3 (667N) alta	10
T19		D4 (490N) média	4
T20		D4 (490N) média	6,5
T21		D4 (490N) média	10

Os dados inicialmente foram submetidos a pressuposição de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade pelo teste de Bartlett à 5% de significância. Para as variáveis que não atenderam aos pressupostos de normalidade foram realizadas as seguintes transformações: valores elevados ao quadrado, elevado ao cubo e logaritmo natural; a fim de adequá-los a distribuição normal.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e complementados com os testes de Tukey e/ou Scott-Knott para comparação de médias. Considerou-se o nível de significância de 5% para os testes.

As safras 2022/23 e 2023/24 foram estudadas isoladamente. Para a associação entre as safras, de todos os dados obtidos, os resultados foram submetidos a análise dos componentes principais (PCA) a fim de verificar as possíveis inter-relações entre as variáveis.

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico utilizado foi R CORE TEAM (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

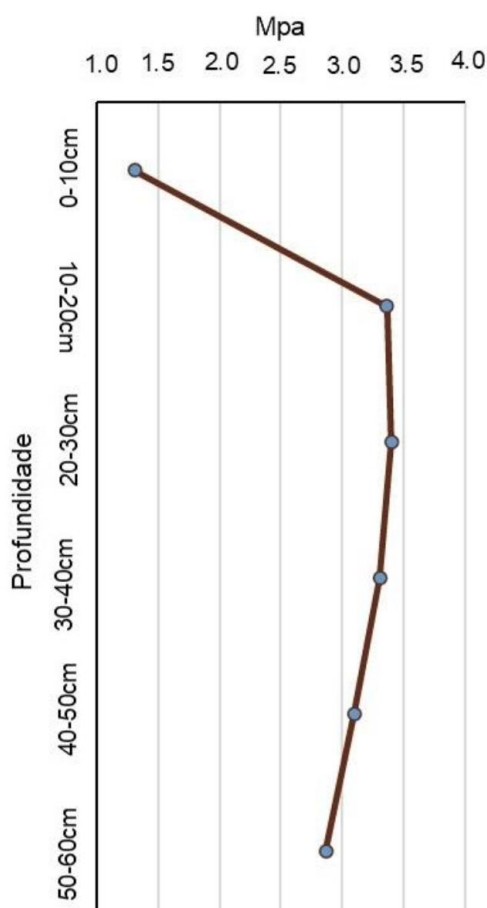
Os resultados são provenientes do experimento conduzido em esquema de arranjo em faixas 7x3 com quatro repetições. Sendo o fator A as sete forças (três fixas e quatro variáveis) e o fator B as três velocidades (4; 6,5 e 10 km.h⁻¹).

As variáveis estudadas foram apresentadas conjuntamente para cada safra da pesquisa. Posteriormente, apresentou-se os resultados de uma análise dos componentes principais (PCA) a fim de verificar as possíveis inter-relações entre as variáveis

4.1 Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)

Os valores médios de Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) para a área experimental estão apresentados na Figura 16. Na camada de 0-10cm a RMSP mínima e máxima foram de 0,12 e 3,83 respectivamente.

Figura 16 - Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) para a área experimental



Observou-se valor médio relativamente alto de RMSP na camada 10-20cm, esses valores se estendem para as demais camadas.

A resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) é afetada pela textura e densidade do solo. Os valores acima de 2,5MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes da maioria das plantas. Além disso, valores de 2,0 a 3,0MPa são limitantes à produtividade de soja (Assis *et al.*, 2009).

4.2 Velocidade de Emergência

Houve interação entre os fatores força e velocidade (Tabela 6) para as variáveis porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE) na primeira safra, dessa forma houve o desdobramento da interação aplicando teste de média de Tukey.

Segundo Kryzanowski *et al.* (2020) a porcentagem de emergência é usualmente relatada em associação com os resultados de índice de velocidade de emergência.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis porcentagem de emergência (%) e índice de velocidade de emergência (sem unidade) na primeira safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor	
	Porcentagem de Emergência (%)	Índice de Velocidade de Emergência (sem unidade)
Força	0,2135 n.s	0,0177*
Velocidade	<0,004*	0,0471*
Força*Velocidade	0,0332*	<0,0001*
CV1 (%)	38,2	16,8
CV2 (%)	31,3	15,76
CV3 (%)	33,0	13,07

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

Na Tabela 7 observou-se que quando se utilizou diferentes forças descendentes trabalhando na velocidade 4 ou 6,5 km.h⁻¹ não houve diferenças estatísticas entre os valores de porcentagem de emergência.

Consegue-se perceber uma diminuição da porcentagem de emergência quando se aumentou a velocidade em uma mesma força descendente aplicada (E1, E3, D1 e D2).

A diferença de força descendente aplicada apenas é influenciada com relação a variável porcentagem de emergência na maior velocidade estudada (10km.h⁻¹). Podemos destacar a força fixa E2 e as forças variáveis D1, D3 e D4 com melhor porcentagem de emergência. Onde a força descendente que teve melhor porcentagem de emergência na velocidade de 10km.h⁻¹ foi a força variável D4. Isso corrobora com diversos autores que afirmam que maiores valores de força variável descendente aplicada resulta em maior porcentagem de emergência (Hanna *et al.*, 2010; Oliveira, 2021). Porém para Drewry *et al.* (2021) a semeadura com uma força descendente baixa resultou em porcentagem de emergência mais alta.

Tabela 7 - Desdobramento da interação para as variáveis Porcentagem de Emergência (%) e Índice de Velocidade de Emergência (sem unidade) aplicando teste de média de Tukey na primeira safra em função das forças e velocidades

Variáveis	Forças (N)	Velocidades (Km.h ⁻¹)		
		4,0	6,5	10,0
Porcentagem de Emergência (%)	E1	75,92 aA	71,60 aA	43,52 bB
	E2	80,25 aA	77,01 aA	69,60 aA
	E3	85,49 aA	74,38 aAB	63,89 abB
	D1	80,40 aA	62,19 aB	69,44 abAB
	D2	81,33 aA	74,07 aAB	66,97 abB
	D3	77,01 aA	70,68 aA	67,75 abA
	D4	70,52 aA	72,84 aA	78,55 aA
Índice de Velocidade de Emergência (sem unidade)	E1	18,05 abA	16,28 aA	10,55 cB
	E2	19,29 abA	18,35 aA	17,42 bA
	E3	20,13 abA	18,60 aAB	15,11 bcB
	D1	21,98 abA	16,63 aB	20,09 abAB
	D2	22,30 aA	17,34 aB	16,69 bB
	D3	17,57 abA	16,03 aA	16,77 bA
	D4	16,42 bB	18,82 aB	23,13 aA

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Estudos tem mostrado o efeito da força descendente na emergência da cultura em um campo com alta variabilidade da textura do solo. Sugere-se a utilização de uma força descendente ótima específica para cada textura do solo dentro desse campo. Isso só pode ser possível usando um sistema de força descendente variável

e capaz de fazer ajustes de força descendente em movimento, monitorando e regulando a carga nas unidades de linhas da semeadora durante a semeadura (Virk *et al.*, 2021).

O aumento de forças descendentes aplicada incrementa ou diminui a porcentagem de emergência quando submetidas a diferentes condições climáticas (Hanna *et al.*, 2010).

Quando se observa o IVE proposto por Magire (1962), os autores Kryzanowski *et al.* (2020) afirmam que quanto maior o valor obtido, maior é a velocidade de emergência e, conseqüentemente, maior o vigor apresentado pelo lote.

Ao analisar o índice de velocidade de emergência não houve diferença estatísticas entre as forças aplicadas quando se trabalhou com a velocidade de 6,5 km.h⁻¹. Já na velocidade de 4km.h⁻¹ o melhor IVE foi obtido com a força variável D2, o valor obtido foi de 22,30, esse valor não diferiu estatisticamente das demais forças, com exceção da força D4. A força D4 apresentou menor IVE (16,42) na velocidade de 4 km.h⁻¹. Na velocidade de 10km.h⁻¹ houve grande diferença estatística para o parâmetro IVE entre as forças aplicadas, observamos como destaque as forças variáveis D1 e D4 que tiveram valores respectivamente de 20,09 e 23,13.

Virk *et al.* (2020) ao avaliarem forças descendentes na cultura do algodão em diferentes texturas de solo, observaram que em geral a emergência do algodão foi atrasada e não uniforme. O clima foi o principal fator que afetou a emergência (Poncet *et al.*, 2019).

Assim como na primeira safra, na segunda safra houve interação entre os fatores força e velocidade (Tabela 8) para as variáveis porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE) dessa forma houve o desdobramento da interação aplicando teste de média de Tukey.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis porcentagem de emergência (%) e índice de velocidade de emergência (sem unidade) na segunda safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor	
	Porcentagem de Emergência (%)	Índice de Velocidade de Emergência (sem unidade)
Força	<0,007*	<0,0003*
Velocidade	<0,001*	<0,0049*
Força*Velocidade	<0,0001*	<0,0001*
CV1 (%)	5,2	5,44
CV2 (%)	8,9	9,2
CV3 (%)	5,4	5,72

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

Os desdobramentos das interações estão demonstrados na Tabela 9. O parâmetro porcentagem de emergência não apresentou diferença estatística nas velocidades de $6,5\text{km.h}^{-1}$ quando se variou as forças aplicadas. Na velocidade de $4,0\text{km.h}^{-1}$ houve diferença entre as forças aplicadas para o parâmetro porcentagem de emergência. As forças fixas E1 e E2 apresentaram maiores porcentagens de emergência, diferindo estatisticamente apenas de D2. Já para a velocidade de 10km.h^{-1} observou-se uma diferença estatística. Podendo destacar a força fixa E3 e a força variável a D4 com melhores valores.

Percebeu-se uma diminuição da porcentagem de emergência quando se aumentou a velocidade em uma mesma força descendente aplicada (E1, E2, D1, D2 e D3). Os valores de porcentagem de emergência são menores quando utilizado velocidades de deslocamento mais elevada (10km.h^{-1}).

Virk *et al.* (2021) não observaram diferença significativo para a porcentagem de emergência da cultura de algodão na maioria das forças descendentes aplicadas. Porém, os autores, observaram uma interação significativa entre cultivar e força descendente em algumas condições de campo. O maior valor de emergência (67%) em condições de campo úmido, seguida por condições de campo normais (59%) e secas (40%). Os valores obtidos por eles estão bem abaixo do observado na presente pesquisa, onde temos 88,42% como maior valor de emergência e o menor valor foi de 65,43%.

Tabela 9 - Desdobramento da interação para as variáveis porcentagem de emergência (%), índice de velocidade de emergência (cm.dia⁻¹) e plantas por metro linear (plantas.m⁻¹) aplicando teste de média de Tukey na segunda safra em função das forças e velocidades

Variáveis	Forças (N)	Velocidades (Km.h ⁻¹)		
		4,0	6,5	10,0
Porcentagem de Emergência (%)	E1	86,26 aA	84,72 aA	73,92 abB
	E2	88,42 aA	82,56 aA	65,43 bB
	E3	83,64 abA	87,04 aA	80,40 aA
	D1	79,94 abAB	85,40 aA	72,07 abB
	D2	76,23 bA	84,88 aA	66,36 bB
	D3	84,57 abA	85,80 aA	69,44 bB
	D4	79,63 abA	77,47 aA	78,70 aA
Índice de Velocidade de Emergência (sem unidade)	E1	23,37 aA	23,67 abA	21,38 abcA
	E2	24,84 aA	23,64 abA	18,90 cB
	E3	23,84 aA	25,31 abA	23,61 aA
	D1	22,63 abB	25,89 aA	21,95 abB
	D2	20,14 bB	23,63 abA	19,58 bcB
	D3	24,66 aA	25,45 aA	20,04 bcB
	D4	23,15 aA	22,61 bA	23,61 aA
Plantas por metro linear (plantas.m⁻¹)	E1	15,53 aA	15,25 aA	13,30 abB
	E2	15,92 aA	14,86 aA	11,78 bB
	E3	15,05 abA	15,67 aA	14,47 aA
	D1	14,39 abAB	15,36 aA	12,97 abB
	D2	13,72 bA	15,28 aA	11,94 bB
	D3	15,22 abA	15,44 aA	12,50 bB
	D4	14,33 abA	13,94 aA	14,17 aA

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O parâmetro índice de velocidade de emergência (IVE) apresentou diferença estatísticas quando se utilizou uma mesma velocidade em diferentes forças descendentes. Observou-se que para a velocidade de 4km.h⁻¹ os piores IVE foram obtidos nas forças variáveis D1 e D2. Para a velocidade de 6,5 km.h⁻¹ o pior IVE foi para a força variável a D4, sendo que essa força não diferiu estatisticamente das forças E1, E2, E3 e D2. Quando se trabalhou com uma velocidade de 10km.h⁻¹ os piores IVE foram observados ao se aplicar a força E2, esse valor não diferiu estatisticamente de E1, D2 e D3.

Oliveira (2021) afirma que as forças descendentes muito altas em modo fixo foram estatisticamente maiores em comparação com forças muito baixas em modo

variável o. Uma observação importante feita por Hanna *et al.* (2010) diz que o índice de velocidade de emergência depende das forças descendentes aplicadas, porém também leva em consideração a umidade do solo. Sendo então explicado o motivo do presente trabalho ter bastante divergência nesse parâmetro.

A porcentagem de emergência, bem como o índice de velocidade de emergência (IVE), não foram afetados pela força descendente aplicada em campo de algodão. Porém observou-se uma ligeira tendência crescente (mas não significativa) na porcentagem de emergência ao aumentar a força descendente tanto no modo variável quanto fixo (Oliveira *et al.*, 2025). Esses resultados não colaboram com os estudos dessa presente investigação.

Diferente do observado na presente pesquisa, Soignier *et al.* (2022) afirmaram que à medida que a força descendente aumentaram, o número de plantas emergentes diminuiu. Esses autores também sugerem que, para melhorar a emergência da soja em solos de textura mais grossa, a taxa de força descendente não deve exceder 889N.

Uma emergência maior na cultura não resulta necessariamente em maior rendimento de grãos e consequentemente maior produtividade; nenhum efeito significativo foram observados por Drewry *et al.* (2021) ao pesquisar como a força descendente na unidade de linha podem afetar a germinação do milho em sistemas de produção de plantio direto.

4.3 Profundidade de semeadura

Não houve interação entre os fatores força e velocidade (Tabela 10) para a variável profundidade de semeadura na primeira safra. Sendo assim foi estudado os efeitos isoladamente. Porém não houve diferença significativa ($p < 0,05$), e não foi necessário a demonstração do teste de média. Na Tabela 11 são apresentados os valores obtidos.

Observou-se que a profundidade de semeadura variou de 3,0 a 3,8cm. As configurações das forças descendentes aplicadas em diferentes velocidades foram capazes de manter a profundidade de semeadura estatisticamente igual ao valor que a semeadora foi regulada (3,0cm). Isso indica que, mesmo com um conjunto de força descendente fixas, que poderia resultar em aplicação insuficiente ou excessiva de carga em todo o campo, essas configurações ainda foram capazes de manter as unidades de linha da semeadora no solo. na maior parte do tempo, o que resultou em

uma profundidade de semeadura uniforme, mesmo em velocidade de deslocamento mais rápida (Badua *et al.*, 2018).

A profundidade da semeadura ficou mais próxima da desejada na semeadura de milho e algodão, quando aplicada forças descendentes muito altas, altas e médias em comparação com nenhuma das forças descendentes aplicada (Oliveira *et al.*, 2025).

Tabela 10 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável profundidade de semeadura (cm) na primeira safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor
	Profundidade de semeadura (cm)
Força	0,0700 n.s
Velocidade	0,3890 n.s
Força*Velocidade	0,9902 n.s
CV1 (%)	11,7
CV2 (%)	15,9
CV3 (%)	18,9

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

Tabela 11 - Média da profundidade de semeadura (cm) da cultura da soja na primeira safra em função das forças e velocidades

Força (N)	Velocidades (Km.h ⁻¹)		
	4	6	10
E1	3,3	3,5	3,5
E2	3,3	3,0	3,5
E3	3,3	3,0	3,3
D1	3,8	3,8	3,5
D2	3,3	3,3	3,5
D3	3,3	3,3	3,5
D4	3,8	3,3	3,8

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Na Tabela 12 são apresentadas as interações entre os fatores força e velocidade para a variável profundidade de semeadura na segunda safra, dessa forma houve o desdobramento da interação aplicando teste de média de Tukey e os resultados estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 12 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável profundidade de semeadura (cm) na safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor
	Profundidade de semeadura (cm)
Força	0,0100*
Velocidade	0,4807 n.s
Força*Velocidade	0,0012*
CV1 (%)	12,9
CV2 (%)	15,4
CV3 (%)	12,5

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

A profundidade de semeadura para a segunda safra variou de 2,3 a 3,4 cm. Essas profundidades de semeadura foram ligeiramente diferentes das configurações desejadas, variando de -0,7 a +0,4 cm em algumas configurações da força descendente aplicada. Badua *et al.* (2018), afirmam que um dos motivos para essa observação seria devido ao experimento poder apresentar uma área com resíduos de colheita e cobertura de campo diferente em algumas das parcelas experimentais.

Tabela 13 - Média da profundidade de semeadura (cm) da cultura da soja na segunda safra em função das forças e velocidades

Força (N)	Velocidades (Km.h ⁻¹)		
	4	6	10
E1	3,0 aA	2,3 bA	2,5 bA
E2	2,3 bA	2,8 abA	2,4 bA
E3	3,0 abA	2,7 bA	2,8 bA
D1	2,9 abA	3,0 abA	2,8 abA
D2	2,8 abB	2,8 abB	3,4 aA
D3	2,8 abB	3,3 aA	3,0 abAB
D4	2,8 abA	2,7 bA	2,8 abA

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fulton *et al.* (2015) afirmam que a profundidade e as configurações da força descendente aplicada devem ser selecionadas simultaneamente para atingir a profundidade de semeadura desejada. Para manter a profundidade de semeadura uniforme, os resultados revelaram que as configurações da semeadora devem ser

selecionadas separadamente entre os campos e ajustados dentro dos campos para compensar a variabilidade espacial.

Na velocidade de 4 km.h⁻¹ a menor profundidade foi ao se trabalhar com a força fixa E2, essa profundidade diferiu estatisticamente apenas de E1. Na velocidade de 6,5 km.h⁻¹ a maior profundidade atingida foi de 3,3 cm ao se trabalhar com a força D3, sendo estatisticamente diferente das forças fixas E1 e E3 e da força variável a D4. Na velocidade de 10km.h⁻¹ observou-se maior valor médio de profundidade do experimento (3,4 cm), esse valor difere estatisticamente de todas as forças fixas estudadas.

Para Badua *et al.* (2018), a variabilidade na profundidade de semeadura medida foi influenciada pela velocidade de deslocamento quando a força descendente é definida em configuração baixa o que corrobora com os dados obtidos na força descendente variável D2. Porém os autores afirmam que o aumento da velocidade de deslocamento resultou em uma profundidade de semeadura menor, essa situação não foi observada na presente pesquisa. Temos apenas variação estatística da profundidade nas diferentes velocidades para D2 e D3.

Os mesmos autores indicam que velocidades de semeadura mais rápidas, sugerem um aumento na resistência ao rolamento, o que impede o disco de abertura de penetrar no solo até a profundidade desejada. Esses resultados indicaram que uma configuração de força descendente pode não fornecer profundidade de semeadura consistente em velocidades crescentes, sugerindo a necessidade de controle ativo quando se aumenta as velocidades de semeadura.

A profundidade de semeadura desejada (3,0cm) foi alcançada trabalhando-se na velocidade 4,0 km.h⁻¹ com a força fixa E3. Badua *et al.* (2021) trabalhando em campo sem plantio direto afirmam que a profundidade desejada também foi alcançada com alto valor de força descendente e velocidade de semeadora lenta.

Virk *et al.* (2021), constatou que em alguns casos, mesmo aplicando maiores valores de forças descendentes, não era suficiente para colocar as sementes na profundidade de semeadura desejada nos solos de textura pesada. Eles sugerem que mais estudos são necessários para entender completamente a resposta da força descendente aplicada.

A uniformidade da profundidade de semeadura é extremamente influenciada pela regulação da força descendente aplicada, pela variabilidade espacial do solo

nos campos e pela velocidade de deslocamento da semeadora (Jing *et al.*, 2020; Romaneckas *et al.*, 2022).

Observou-se que a profundidade desejada (3,0 cm) na velocidade de 4; 6,5 e 10 km.h⁻¹ foram obtidas respectivamente para as forças descendente aplicadas em E3, D1 e D3. Essas profundidades não diferiram estatisticamente de nenhuma das forças estudadas. Dessa forma, podemos afirmar que o sistema de forças descendente hidráulicos, tanto no modo fixo quanto no modo variável, possibilitam uma uniformidade da profundidade de semeadura em todas as velocidades estudadas.

4.4 Distribuição longitudinal de plantas

Não houve interação entre os fatores força e velocidade (Tabela 14) na primeira safra para as variáveis de distribuição longitudinal de sementes. Portanto foram estudados os efeitos dessas variáveis isoladamente e quando houve diferença significativa ($p < 0,05$), aplicou-se teste de média.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis coeficiente de variação (CV), aceitável, falha e dupla na primeira safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor			
	CV (%)	Aceitável (%)	Falha (%)	Dupla (%)
Força	0,0445*	0,002*	0,0045*	0,0032*
Velocidade	0,0003*	<0,0001*	0,0329*	<0,0001*
Força*Velocidade	0,3844 n.s	0,5127 n.s	0,0900 n.s	0,6121 n.s
CV1 (%)	6,27	5,97	25,74	26,82
CV2 (%)	7,77	4,18	20,72	22,09
CV3 (%)	6,86	6,41	22,94	30,89

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

Tabela 15 - Comparações múltiplas para as porcentagens (%) das variáveis coeficiente de variação (CV), aceitável, falha e dupla na primeira safra em função das forças

Forças (N)	Variáveis (%)			
	CV	Aceitável	Falha	Dupla
E1	45,39 ab	71,95 ab	17,49 ab	10,56 a
E2	42,39 b	77,77 a	14,52 b	7,71 ab
E3	43,74 ab	77,40 a	14,59 b	8,01 ab
D1	46,65 a	69,42 b	22,05 a	8,53 ab
D2	44,43 ab	76,20 a	16,65 ab	7,15 b
D3	45,13 ab	75,37 ab	15,67 b	8,96 ab
D4	44,50 ab	74,13 ab	19,80 ab	6,07 b

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na Tabela 15 observou-se diferença estatística para todos as variáveis de distribuição longitudinal de plantas quando se trabalhou em diferentes forças descendentes aplicadas, independente do modo (fixo ou variável).

O CV foi menor na força fixa E2, esse valor diferiu estatisticamente apenas de D1 (que é o menor valor de força aplicada no presente trabalho).

A menor porcentagem de aceitáveis foram observados ao se aplicar a força descendente variável D1, essa força não se diferiu estatisticamente de E1, D3 e D4. Oliveira (2021) verificou aumento da variável aceitável quando aplicada forças descendentes médias, altas e muito altas. Esses dados corroboram com a presente pesquisa.

Forças com valores menores da variável falha foram observados na aplicação das forças fixas E2 e D3, sendo diferente estatisticamente apenas de D1.

Para Badua *et al.* (2021) nenhum efeito significativo da força descendente aplicada foi observado com relação ao coeficiente de variação (CV), o que não corrobora com a presente pesquisa. Porém os mesmos autores observaram que a configuração de força descendente menores resultou em menor variabilidade do CV, esses resultados diferem do apresentado nessa pesquisa. Observou-se maiores valores de CV na força variável D1 que é a menor força aplicada.

Quanto aumentou-se a velocidade de semeadura diminui-se o número de aceitáveis e aumentou-se a quantidade de CV, falhas e duplas estatisticamente (Tabela 16). O CV, os aceitáveis e as duplas são influenciados, é estatisticamente

igual, nas velocidades de 4 e 6,5 km.h⁻¹, percebeu-se um aumento desses parâmetros na velocidade de 10km.h⁻¹. Ao analisar a variável aceitável observou-se que na velocidade de 10km.h⁻¹ seu valor é menor e estatisticamente diferente dos demais.

Tabela 16 - Comparações múltiplas para as variáveis coeficiente variação (CV), aceitável, falha e dupla na primeira safra em função das velocidades

Velocidades (Km.h ⁻¹)	Variáveis (%)			
	CV	Aceitável	Falha	Dupla
4,0	41,10 b	77,68 a	16,41 ab	5,91 b
6,5	43,30 b	77,02 a	16,13 b	6,85 b
10,0	49,41 a	69,12 b	19,22 a	11,67 a

Médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Esses resultados corroboram com Correia *et al.* (2020) ao afirmarem que o aumento da velocidade de semeadura interfere negativamente no CV e provocam maior índice de duplas.

As variáveis falha e dupla foram influenciadas pelo aumento da velocidade. Diversos autores observaram comportamento semelhante (Correia *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2017).

Ao analisar as variáveis da segunda safra, observou-se que não houve interação entre os fatores força e velocidade (Tabela 17). Portanto foram analisados separadamente os fatores. No caso do fator força, houve interação significância para a variável dupla, enquanto para o fator velocidade, observou-se efeitos significativos em todas as variáveis de distribuição longitudinal de plantas estudados.

Tabela 17 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as porcentagens (%) das variáveis coeficiente de variação (CV), aceitável, falha e dupla na segunda safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor			
	CV (%)	Aceitável (%)	Falha (%)	Dupla (%)
Força	0,0829 n.s	0,1112 n.s	0,1489 n.s	0,0318*
Velocidade	0,0003*	<0,0001*	0,0012*	0,0351*
Força*Velocidade	0,5082 n.s	0,1275 n.s	0,0615 n.s	0,1705 n.s
CV1 (%)	8,19	6,49	23,36	38,68
CV2 (%)	6,71	5,95	28,56	57,04
CV3 (%)	7,48	7,63	24,17	33,37

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

A Tabela 18 demonstrou que não houve diferença estatística com relação as variáveis CV, aceitáveis e falhas quando se trabalhou com diferentes forças.

Oliveira (2021) verificou aumento do parâmetro aceitável quando aplicada forças descendentes médias, altas e muito altas. Apesar de não haver diferença entre a variável aceitável, observou-se que a maior porcentagem foi obtida ao se aplicar a força D1 (226N), o menor valor de força aplicada, não corroborando com a pesquisa citada. O mesmo autor encontrou valores da variável falha entre 11 e 17%, valores um pouco inferiores ao encontrado na presente pesquisa.

Tabela 18 - Comparações múltiplas para as porcentagens (%) das variáveis coeficiente de variação (CV), aceitável, falha e dupla na segunda safra em função das forças

Forças (N)	Variáveis			
	cv (%)	Aceitável (%)	Falha (%)	Dupla (%)
E1	43,44	77,26	16,53	6,20 b
E2	45,22	74,10	17,53	8,37 a
E3	44,52	74,30	16,64	9,06 a
D1	41,68	77,78	15,96	6,26 b
D2	42,72	74,27	20,36	5,37 b
D3	46,23	71,90	19,49	8,61 a
D4	44,91	75,05	17,87	7,08 b

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey e Scott-Knott a 5% de significância.

O menor valor do parâmetro dupla foi verificado em D2 (5,37%), esse valor só difere estatisticamente de E2, E3 e D3. Não se consegue observar uma tendência com relação as forças aplicadas para esse parâmetro.

Quanto analisamos o comportamento das diferentes velocidades de semeadura (Tabela 19) observamos que as variáveis os coeficiente de variação (CV), aceitáveis, falhas e duplas foram influenciadas na segunda safra. O aumento da velocidade de semeadura aumentou a porcentagem de CV, falhas e de duplas; além de diminuir a quantidade de aceitáveis estatisticamente.

Tabela 19 - Comparações múltiplas para as porcentagens (%) das variáveis Coeficiente de Variação (CV), aceitável, falha e dupla na segunda safra em função das velocidades

Velocidades (Km.h⁻¹)	Variáveis (%)			
	cv (%)	Aceitável (%)	Falha (%)	Dupla (%)
4,0	41,80 b	79,26 a	14,73 b	6,01 b
6,5	42,30 b	78,43 a	15,26 b	6,31 b
10,0	48,21 a	67,16 b	23,31 a	9,52 a

Médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey e Scott-Knott a 5% de significância.

A semeadura na 10km.h⁻¹ tem os maiores valores de falhas e duplas, que foram de respectivamente 23,31% e 9,52 %. Isso pode ser explicado pelo aumento da velocidade de deslocamento do conjunto trator semeadora que influenciou negativamente na regularidade de distribuição, o que aumenta a quantidade de espaçamentos falhos, fazendo até mesmo que ocorra redução do estande inicial (Naves *et al.*, 2020; Bortoli *et al.*, 2021).

Os resultados da presente pesquisa, corrobora com Liu *et al.* (2017) que indicaram que diferentes velocidades de deslocamento têm efeitos estatisticamente significativos na uniformidade do espaçamento de sementes. O coeficiente de variação aumenta e o índice de qualidade da semeadura diminui à medida que a velocidade de deslocamento da semeadora aumenta.

Observa-se que na presente pesquisa não houve diferença significativa entre as variáveis os na velocidade de 4,0 e 6,5 Km.h⁻¹. Isso sugere que a semeadura deve ser realizada a uma velocidade inferior a 6,5 Km.h⁻¹ para se ter uma melhor distribuição longitudinal de plantas.

Assim como na presente pesquisa, os autores afirmam que a menor velocidade de deslocamento da semeadora resultou em uma menor incidência de duplas (Badua *et al.*, 2021). Esses mesmos autores observaram que não só a velocidade influencia no parâmetro dupla, mas também existe uma influência das configurações das forças descendentes aplicadas.

Além disso, percebemos uma diminuição do parâmetro aceitável ou se trabalhar na maior velocidade (10km.h^{-1}). Esses resultados corroboram com Dias *et al.* (2009) ao afirmar que a elevação da velocidade de deslocamento da semeadora reduziu o percentual de espaçamentos aceitáveis entre sementes.

4.5 Plantas por metro linear

Houve interação entre os fatores força descendente aplicada e velocidade (Tabela 20) para a variável população por metro linear na primeira safra, dessa forma houve o desdobramento da interação aplicando teste de média. Os dados estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 20 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável população por metro linear (plantas.m^{-1}) na primeira safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor
	População (plantas.m^{-1})
Força	<0,0001
Velocidade	0,1828 n.s
Força*Velocidade	0,0076*
CV1 (%)	9,30
CV2 (%)	21,29
CV3 (%)	12,62

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

Na velocidade de 4Km.h^{-1} não se observa diferença estatística entre as diferenças forças aplicadas. Ao se deslocar em uma velocidade de $6,5\text{Km.h}^{-1}$ menor valor da população por metro linear foi obtido com a força descendente variável D1, que só não diferiu estatisticamente de D2. Já na velocidade de 10Km.h^{-1} a menor

população de plantas por metros foi obtida na força D2, sendo estatisticamente diferente de todos os demais tratamentos.

Tabela 21 - Desdobramento da interação para a variável plantas por Metro Linear (plantas.m^{-1}) na primeira safra em função das forças e velocidades

Variáveis	Forças (N)	Velocidades (Km.h^{-1})		
		4	6,5	10
População (plantas.m^{-1})	E1	13,92 aA	16,75 aA	13,75 aA
	E2	16,50 aA	16,50 aA	15,08 aA
	E3	16,34 aA	16,33 aA	15,67 aA
	D1	15,00 aA	11,58 bA	7,09 bB
	D2	14,42 aA	14,92 abA	14,50 aA
	D3	16,17 aA	15,33 aA	15,67 aA
	D4	14,25 aA	15,75 aA	14,25 aA

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Pode-se inferir que algum fator externo interferiu na quantidade de plantas por metro linear de D1 na velocidade de 10Km.h^{-1} , isso porque o valor desejado está bem inferior a população esperada que é de 17 plantas.m^{-1} .

Dias *et al.* (2009) constatou que o aumento da velocidade de deslocamento não reduziu significativamente a densidade de semeadura na cultura da soja.

Tabela 22 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o parâmetro População por metro linear (plantas.m^{-1}) a segunda safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor
	População (plantas.m^{-1})
Força	0,0305 *
Velocidade	0,0058*
Força*Velocidade	0,0017*
CV1 (%)	5,41
CV2 (%)	6,31
CV3 (%)	4,53

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

Houve interação entre os fatores força descendente aplicada e velocidade (Tabela 22) para a variável população por metro linear na segunda safra, dessa forma houve o desdobramento da interação aplicando teste de média. Os dados estão apresentados na Tabela 23

Tabela 23 - Desdobramento da interação para a variável plantas por metro linear (plantas.m⁻¹) na segunda safra em função das forças e velocidades

Variáveis	Forças (N)	Velocidades (Km.h ⁻¹)		
		4	6,5	10
População (plantas.m⁻¹)	E1	16,14 aA	15,56 abA	14,09 abA
	E2	16,28 aA	15,78 abA	14,19 abB
	E3	15,22 abA	15,59 abA	15,61 aA
	D1	15,72 aA	16,36 aA	13,95 bB
	D2	14,11 bA	15,03 abA	13,89 bA
	D3	15,47 abA	15,80 abA	13,72 bB
	D4	14,86 abA	14,63 bA	14,81 abA

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não se diferem pelo teste de Tukey e Scott-Knott a 5% de significância.

A população desejada nessa semeadura é de 17 plantas.m⁻¹. Observou-se que nenhum tratamento atingiu 100% desse valor. A população por metros lineares para os tratamentos estudados variou de 13,72 a 16,36 plantas.m⁻¹.

Balastreire (1990) afirma que a maioria das culturas podem tolerar variações na uniformidade de distribuição de plantas, sem afetar significativamente o rendimento agrícola, desde que a densidade de números de plantas por metro esteja dentro do limite considerado ótimo.

Na velocidade de 4 km.h⁻¹ observou-se menor número de população por metro linear ao se trabalhar com a força descendente variável D2, sendo estatisticamente diferente de E1, E2 e D1.

Mesmo atingindo as recomendações agronômicas do número de plantas por metro, pode haver comprometimento do potencial produtivo se as sementes não forem distribuídas de forma uniforme nas linhas de semeadura (Sangoi *et al.*, 2012).

4.6 Análise agronômica da cultura

A Tabela 24 mostra as interações entre os fatores forças e velocidade para as

variáveis agrônômicas na primeira safra. Observou-se que houve interação para as variáveis altura total de planta, total de grãos por plantas, total de vagem por plantas e massa de mil grãos, dessa forma houve o desdobramento da interação aplicando teste de média de Tukey.

A variável altura total de planta, não apresentou diferença estatística em nenhum dos tratamentos analisados, sendo assim pode-se afirmar que a altura de planta não sofre influência com relação as velocidades e forças aplicadas no experimento da primeira safra. Esses dados corroboram com alguns autores que também não verificaram diferenças para a altura de planta na aplicação de diferentes forças descendentes (Silva *et al.*, 2004; Modolo *et al.*, 2011).

Tabela 24 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis agrônômicas altura total de planta (cm), ramificações por planta (unid.), total de grãos por plantas (unid.), total de vagens por plantas (unid.), massa de mil grãos (g) na primeira safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor				
	Altura total de planta (cm)	Ramificações por Planta (unid.)	Total de grãos por plantas (unid.)	Total de vagens por plantas (unid.)	Massa de mil grãos (g)
Força	0,8813 n.s	0,0499*	0,4259 n.s	0,3151 n.s	0,0529 n.s
Velocidade	0,6267 n.s	0,1873 n.s	0,4474 n.s	0,7325 n.s	0,2810n.s
Força*Velocidade	0,0445*	0,0608 n.s	0,0331*	0,0486*	0,0016*
CV1 (%)	12,08	49,88	36,56	36,66	7,21
CV2 (%)	10,77	63,35	22,33	26,30	5,31
CV3 (%)	8,82	55,54	26,46	30,24	6,34

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

A altura da planta é importante para a produção da soja, uma vez que plantas mais altas são mais competitivas por luz do que por plantas daninhas. Rossi *et al.* (2017) notaram que a densidade de plantas consequentemente a altura de plantas são fatores fundamentais para evitar perdas de produtividades.

Ao se analisar a variável total de grãos por plantas observou-se apenas diferença estatística ao se aplicar a força fixa E1 na velocidade de 10km.h^{-1} , sendo o valor de 72,50 o menor valor observado em todo o experimento (Tabela 25).

Tabela 25 - Desdobramento da interação para as variáveis agrônômicas altura total de planta (cm), total de grãos por plantas (unid.), total de vagem por planta (unid.) e massa de mil grãos (g) aplicando teste de média de Tukey na primeira safra

Variáveis	Forças (N)	Velocidades (km.h ⁻¹)		
		4,0	6,5	10,0
Altura total de planta (cm)	E1	96,33 aA	83,33 aA	86,33 aA
	E2	88,33 aA	99,00 aA	87,33 aA
	E3	90,33 aA	89,33 aA	103,33 aA
	D1	93,66 aA	98,33 aA	85,33 aA
	D2	96,66 aA	94,66 aA	81,00 aA
	D3	89,66 aA	87,00 aA	97,33 aA
	D4	89,33 aA	90,00 aA	83,66 aA
Total de grãos por plantas (unid.)	E1	140,33 aA	143,33 aA	72,50 aB
	E2	98,33 aA	63,33 aA	80,83 aA
	E3	81,66 aA	114,23 aA	120,83 aA
	D1	105,33 aA	103,66 aA	102,50 aA
	D2	95,33 aA	102,66 aA	102,50 aA
	D3	82,50 aA	105,83 aA	120,00 aA
	D4	158,66 aA	110,00 aAB	94,16 aB
Total de vagem por planta (unid.)	E1	56,00 abA	57,33 aA	29,00 aB
	E2	39,33 abA	25,33 aA	32,33 aA
	E3	24,66 bA	34,00 aA	48,33 aA
	D1	42,00 abA	41,33 aA	41,00 aA
	D2	38,00 abA	41,00 aA	41,00 aA
	D3	33,00 abA	42,33 aA	48,00 aA
	D4	63,33 aA	44,00 aAB	37,66 aB
Massa de mil grãos (g)	E1	166,80 aA	173,70 aA	175,65 abA
	E2	165,25 aA	171,10 abA	161,95 bA
	E3	169,05 aB	149,00 bC	190,77 aA
	D1	158,40 aA	161,85 abA	168,00 abA
	D2	165,10aA	165,90 abA	153,10 bA
	D3	157,35 aA	158,95 abA	160,80 bA
	D4	164,80 aA	153,50 abA	152,65 bA

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Apesar da maior velocidade do conjunto trator-semeadora ter proporcionado uma melhor capacidade operacional (Castela Junior *et al.*, 2014; Bortoli *et al.*, 2021) os autores constataram que velocidades menores (4km.h⁻¹) são indicadas para a

semeadora da soja, por proporcionar maior qualidade de semeadura e pode proporcionar uma melhor produtividade por área.

A variável total de vagens por plantas apresentou diferença estatística com relação as forças descendentes aplicadas, apenas na velocidade de 4km.h^{-1} . Observou-se menor valor em E3, e esse valor diferiram estatisticamente apenas de D4.

Quando se analisou as diferentes velocidades em uma mesma força descendente, temos diferença estatística em E1 e D4. Percebe-se que a velocidade de 10km.h^{-1} apresentou menores valores de total de vagens por plantas. Esses resultados corroboram com De Santana Neto *et al.* (2024) e Lopes (2021), que afirmam que ocorreu uma redução do total de vagens por plantas ao se aumentar a velocidade.

Ao observar o efeito das forças aplicadas para a variável massa de mil grãos na mesma velocidade, não se tem diferença estatística na menor velocidade (4km.h^{-1}). Já ao se trabalhar na velocidade de $6,5\text{ km.h}^{-1}$ observou-se menor valor em E3, sendo que ele se diferiu estatisticamente de E1. Na velocidade de 10km.h^{-1} as forças variáveis obtiveram piores valores, sendo que foram estatisticamente diferentes apenas de E3.

Não houve interferência da velocidade com relação a variável massa de mil grãos, exceto para a aplicação da força fixa E3, onde o menor valor de massa de mil grãos foi observado respectivamente nas velocidades de $6,5$; $4,0$ e 10km.h^{-1} .

Assim como no presente trabalho, os autores não observaram influência da velocidade com relação a variável massa de mil grãos (Franco *et al.*, 2021; Moleta *et al.*, 2020).

Para a variável ramificações por planta houve interação apenas com relação as forças descendentes aplicadas. Sendo a média dos resultados apresentados na tabela a seguir. Os valores de ramificações ficaram entre 1,22 e 3,00. Observou-se comportamento semelhante das ramificações quando utilizado forças descendentes variáveis. Menor valor de ramificação foi observado em E2.

Tabela 26 - Comparações múltiplas para a variável ramificações por planta na primeira safra em função das forças

Forças (N)	Variável
	Ramificações por planta (unid.)
E1	3,00 a
E2	1,22 b
E3	2,44 ab
D1	2,11 ab
D2	1,44 ab
D3	2,11 ab
D4	2,33 ab

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Ao analisar as variáveis da segunda safra, houve interação entre os fatores força e velocidade (Tabela 27) para as mesmas variáveis da safra anterior. As variáveis com interação são a altura total de planta, o total de grãos por plantas, o total de vagens por plantas e a massa de mil grãos, dessa forma houve o desdobramento da interação aplicando teste de média.

Para a variável ramificações por plantas, foram estudados os efeitos isoladamente e quando houve diferença significativa ($p < 0,05$), aplicou-se teste de média.

Tabela 27 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis os agrônômicos Final na segunda safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor				
	Altura total de planta (cm)	Ramificações por planta (unid.)	Total de grãos por plantas (unid.)	Total de vagens por plantas (unid.)	Massa de mil grãos (g)
Força	0,0001*	0,0052*	0,0012*	0,0002*	< 0,0001*
Velocidade	0,5773 n.s	0,0459*	0,2727 n.s	0,1544 n.s	< 0,0001*
Força*Velocidade	< 0,0001*	0,0715 n.s	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
CV1 (%)	7,1543348	76,523776	23,713802	23,065919	2,2197866
CV2 (%)	7,3231351	82,212716	25,681708	25,424275	3,0374479
CV3 (%)	8,2594656	98,212200	24,713733	25,063190	2,1109165

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

Assim como na presente pesquisa, os autores não observaram influência da velocidade para as variáveis altura de planta e total de vagens por planta (Jasper *et al.*, 2011; Naves *et al.*, 2020; Franco *et al.*, 2021).

Tabela 28 - Desdobramento da interação para as variáveis os agrônômicos altura total de planta (cm), total de grãos por plantas (unid.), total de vagem por planta (unid.) e massa de mil grãos (g) aplicando teste de média de tukey na segunda safra

Variável	Forças (N)	Velocidades (Km.h ⁻¹)		
		4,0	6,5	10,0
Altura total de planta (cm)	E1	101,60 abA	98,10 abA	102,70 aA
	E2	96,50 abcAB	91,60 bcB	102,00 aA
	E3	89,20 cB	100,10 abA	96,90 aAB
	D1	101,90 abA	97,60 abA	82,00 bB
	D2	105,20 aA	101,80 abAB	95,50 aA
	D3	94,90 bcA	102,90 aA	96,40 aA
	D4	94,90 bcA	84,90 cB	100,50 aA
Total de grãos por plantas (unid.)	E1	93,40 aA	94,00 bA	112,80 aA
	E2	88,90 aA	92,30 bA	113,60 aA
	E3	77,30 aB	106,50 abA	89,20 abAB
	D1	91,00 aA	82,30 bA	69,00 bA
	D2	87,40 aA	90,50 bA	89,00 abA
	D3	99,80 aB	127,20 aA	94,00 abB
	D4	98,10 aAB	76,40 bB	115,00 aA
Total de vagem por planta (unid.)	E1	36,40 aA	35,00 bcA	44,20 aA
	E2	34,50 aB	35,30 bcB	45,30 aA
	E3	29,90 aB	40,60 abA	35,10 abAB
	D1	36,40 aA	31,50 bcA	27,20 bA
	D2	34,80 aA	36,60 bcA	36,40 abA
	D3	39,60 aB	51,90 aA	38,70 abB
	D4	37,20 aAB	28,00 cB	44,60 aA
Massa de mil grãos (g)	E1	163,90 abA	155,90 aB	158,48 abAB
	E2	159,53 bcA	154,81 abA	159,09 abA
	E3	170,67 aA	160,07 aB	164,11 aB
	D1	155,21 cA	158,23 aA	153,72 bA
	D2	156,08 cA	154,06 abA	157,01 abA
	D3	157,62 bcA	158,38 aA	155,83 bA
	D4	145,14 dB	147,61 bB	160,02 abA

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na Tabela 28 ao se analisar a variável altura total de planta percebe-se que na mesma velocidade houve diferença com relação as forças aplicadas. Para a velocidade de 4 km.h⁻¹ o menor valor de altura total de planta foi observado na força fixa E3, o valor de 89,20cm não diferiu estatisticamente de E2, D1 e D4. Na velocidade de 6,5km.h⁻¹ a força descendente D4 obteve menor altura e não diferiu estatisticamente apenas de E2. Por fim, na velocidade de 10km.h⁻¹ a menor altura foi com a aplicação da força variável D1.

O fator velocidade demonstrou comportamento diferentes quando se aplicou a mesma força com relação a altura total de planta. Porém o comportamento foi não linear. Tivemos maiores alturas de plantas mesmo ao se trabalhar em maiores velocidades (10km.h⁻¹).

Oliveira (2021) ao trabalhar com a semeadura de algodão em solo franco-arenoso observou que a altura de plantas é influenciada pela aplicação de forças descendentes, afirmando que é necessário um estudo mais apurado entre forças e profundidades.

Plantas mais altas tentem a apresentar uma produtividade superior. Isso permite concluir que uma maior produtividade é proveniente de uma ação conjunta de maiores números de nós conforme a altura da planta e características do material de soja (Duarte *et al.*, 2021).

Para a variável total de grãos por plantas, não houve diferença entre as forças na velocidade de 4km.h⁻¹. Na velocidade de 6,5 km.h⁻¹ o maior valor foi obtido por D3, sendo estatisticamente igual apenas com relação a força E3. Na velocidade de 10km.h⁻¹ a força D1 apresentou menor valor e não diferiu estatisticamente de E1, E2 e D4.

Assim como para a variável total de grãos por plantas, a variável total de vagens por plantas não apresentou comportamento linear ao analisar a mesma força em diferentes velocidades. Pode-se verificar que para a força E2, menor número de vagens foram obtidos ao se trabalhar na velocidade de 4 e 6,5 km.h⁻¹. As forças E1, D1 e D2 não tiveram influência das velocidades.

Tiesen *et al.* (2016), estudaram a influência da velocidade de semeadura na cultura da soja, observaram que quando a semeadura foi realizada em uma menor velocidade, a soja demonstrou melhor desempenho para a variável total de vagens por planta.

Obteve-se menor massa de mil grãos ao se trabalhar na velocidade de 4km.h⁻¹ para todas as forças variáveis. Na velocidade de 6,5 km.h⁻¹ a força variável D4 obteve a menor massa, sendo estatisticamente igual a E2 e D2. O maior valor de massa de mil grãos na velocidade de 10 km.h⁻¹ foi observado em E3, o valor difere estatisticamente dos valores de D1 e D3.

A velocidade não interferiu estatisticamente para a variável massa de mil grãos para quatro das forças estudadas (E2, D1, D2 e D3), corroborando com o estudo feito por Bortoli *et al.* (2021). Já para a força D4 a interferência foi de forma não linear. O maior valor observado em D4 foi ao se trabalhar na velocidade de 10km.h⁻¹.

Para a variável ramificações por planta houve interação isolada da força e da velocidade. A Tabela 29 mostra que os valores de ramificações foram maiores na força fixa E2, o contrário do observado na safra anterior. Esse valor foi estatisticamente diferente das forças variáveis as D1 e D4.

Tabela 29 - Comparações múltiplas para a variável ramificações por planta na segunda safra em função das forças

Forças (N)	Variável
	Ramificações por planta (unid.)
E1	1,4666667 ab
E2	1,8666667 a
E3	1,5666667 ab
D1	0,8333333 b
D2	1,1000000 ab
D3	1,4333333 ab
D4	0,8333333 b

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 30 - Comparações múltiplas para a variável Ramificações por planta na segunda safra em função das velocidades

Velocidades (Km.h ⁻¹)	Variável
	Ramificações por planta (unid.)
4,0	1,2428571 b
6,5	1,3428571 ab
10,0	1,7571429 a

Médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Observa-se diferença estatística quando se aplica diferentes velocidades. Pela Tabela 30 percebe-se maior ramificação na velocidade 10 km.h⁻¹ e menor ramificação na velocidade de 4,0 km.h⁻¹. Esses resultados não corroboram com De Santana Neto (2024) que afirma que maiores velocidades de deslocamento do conjunto trator semeadora afeta negativamente nas ramificações por plantas.

4.7 Produtividade

Houve interação entre os fatores força descendente aplicada e velocidade (Tabela 31) para a variável produtividade na primeira safra, dessa forma houve o desdobramento da interação aplicando teste de média. Os dados estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 31 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável produtividade (Kg.ha⁻¹) na primeira safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor
	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)
Força	<0,001
Velocidade	0,1017
Força*Velocidade	<0,00*
CV1 (%)	11,39
CV2 (%)	15,30
CV3 (%)	12,10

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

Tabela 32 - Desdobramento da interação para a variável produtividade (Kg.ha^{-1}) teste de média de Tukey na primeira safra em função das forças e velocidades

Variável	Forças (N)	Velocidades (Km.h^{-1})		
		4,0	6,5	10,0
Produtividade (Kg.ha^{-1})	E1	4463,52 aA	4046,42 abA	3246,71 bB
	E2	4269,44 abA	2935,02 cB	3364,85 abB
	E3	3441,74 bcA	3158,70 bcA	3021,34 bA
	D1	4483,01 aA	3675,11 abcA	4165,14 aA
	D2	3784,87 abcA	4440,38 aA	2734,93 bB
	D3	2892,88 cdA	3357,21 bcA	3254,30 bA
	D4	2443,57 dB	3332,8 bcA	3407,66 abA

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Observou-se interferência negativa do aumento de velocidade na produtividade nas forças descendente aplicadas E1, E2 e D2.

Reynaldo *et al.* (2016) corroboram com a presente pesquisa. Os autores, ao avaliarem a influência da velocidade do conjunto trator semeadora na semeadura da soja, verificaram que a produtividade reduziu com o aumento da velocidade. Entretanto para Franco *et al.* (2021), as velocidades de deslocamento não influenciaram na produtividade.

A força descendente D4 na velocidade $4,0 \text{ km.h}^{-1}$ teve o menor valor de produtividade e diferiu estatisticamente de todas as demais forças descendentes estudadas. Na velocidade de $6,5 \text{ km.h}^{-1}$ os melhores valores de produtividade foram observados em E1, D1 e D2. Já na velocidade de 10 km.h^{-1} a força descendente D1 diferiu estatisticamente apenas de E1, D2 e D3.

Quando se aumenta a força descendente aplicada na unidade de linha da semeadora, a expressão da produtividade foi maior (Duarte *et al.*, 2021). Esse resultado não corrobora com a presente pesquisa.

Não foi observada interação significativa entre os fatores força e velocidade para a variável produtividade na segunda safra (Tabela 33). Contudo, ao considerar os fatores de forma isolada, verificou-se que o fator força apresentou significância estatística ($p < 0,05$). Portanto, foi aplicado o teste de médias para o fator força.

Tabela 33 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável produtividade (Kg.ha⁻¹) na segunda safra em função das forças e velocidades

Fonte de Variação	p-valor
	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)
Força	<0,001*
Velocidade	0,7872 n.s
Força*Velocidade	0,1824 n.s
CV1 (%)	15,1
CV2 (%)	23,8
CV3 (%)	17,8

* significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$). n.s. não significativo ($p \geq .05$). CV (%) coeficiente de variação em porcentagem.

Na Tabela 34 verificou-se que não houve diferença estatística da variável produtividade na aplicação de forças descendentes fixas, e esses valores foram estatisticamente diferentes apenas da força variável a D4.

Tabela 34 - Comparações múltiplas para a variável Produtividade (Kg.ha⁻¹) na segunda safra em função das forças

Forças (N)	Variável
	Produtividade Kg.ha ⁻¹
E1	3309,23 a
E2	3175,77 a
E3	3350,88 a
D1	3002,35 ab
D2	2988,40 ab
D3	3467,83 a
D4	2473,80 b

E1 (294N), E2 (588N), E3 (883N), D1 (226N), D2 (441N), D3 (667N), D4 (490N)

Médias seguidas de mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para Duarte (2021), o aumento de força descendente aplicada foi benéfico a produtividade da cultura da soja de forma significativa. Os autores observaram que conforme aumentou-se a pressão na unidade de linha da semeadura, a expressão de produtividade foi maior. Porém no presente trabalho não observamos influência. Uma baixa produtividade da força descendente D4 pode ser justificada pela redução na população de plantas, desenvolvimento e uniformidade com as forças descendentes. (Adee *et al.*, 2021).

A redução da população de sementes de soja e a alteração do espaçamento não apresentou relação estatisticamente significativa com a produtividade, concluindo que o uso reduzido da população de sementes das cultivares analisadas no trabalho, demonstra ser uma alternativa viável para redução de custos (Almeida *et al.*, 2024).

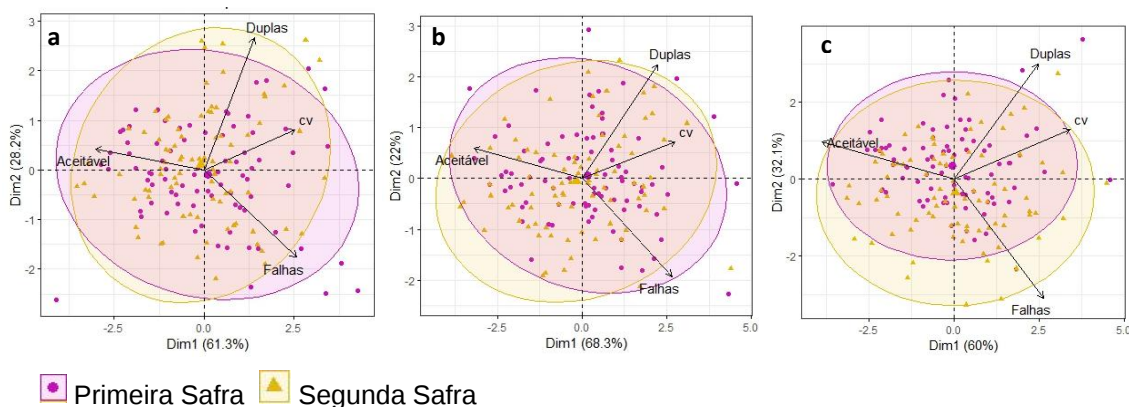
Sem ganho adicional na produtividade de grãos de soja pela aplicação de uma força descendente específica, é difícil determinar se houve um retorno sobre o investimento para os agricultores que adotaram ou compraram tecnologias de forças descendentes hidráulicas. Embora nenhum benefício econômico ou agrônômico tenha sido observado na soja, os agricultores da Carolina do Sul podem encontrar outros benefícios ou cenários específicos para suas práticas em que a adoção de tecnologias de forças descendentes hidráulicas na semeadora pode ter um benefício para sua própria operação (Soignier *et al.*, 2022).

4.8 Análise de componentes principais (PCA)

4.8.1 Distribuição longitudinal de plantas

A Figura 17 está representado as informações das variáveis coeficiente de variação (CV), aceitáveis, dupla e falha para as diferentes velocidades estudadas na primeira e segunda safra.

Figura 17 - Análise de componentes principais para as variáveis coeficiente de variação (CV), aceitável, dupla e falha nas velocidades de 4 (a); 6,5 (b) e 10 (c) km.h⁻¹ na primeira e segunda safra



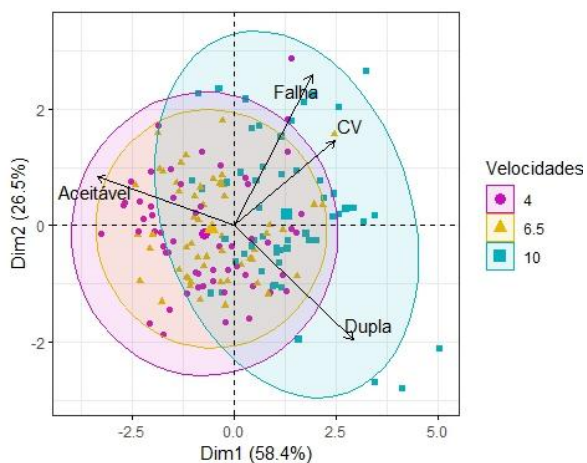
A análise de componentes principais considera duas dimensões por serem os mais representativos nas análises dos dados. Sendo elas os componentes principais

‘Dim1’ e ‘Dim2’. Para Figura 17 a esses componentes explicam 61,3% e 28,2% dos dados. Para a Figura 17 b esses componentes explicam 68,3% e 22% dos dados. E para Figura 17 c esses componentes explicam 60% e 32,1% dos dados. Sendo assim as Figura 17 a, b e c permitem, portanto, explicar 89,5%, 90,3% e 92,1% respectivamente da variação total.

Percebeu-se, de modo geral, que para as três velocidades estudadas não houve divergência nos dados das variáveis de distribuição longitudinal de plantas analisados para a primeira e segunda safra. Para Nava (2023) isso indica que existe uma significativa área ou zona de interseção de dados, além do que a maior parte das variáveis os avaliados não sofrem variação nos diferentes anos de safra.

A análise de componentes principais, permitiu a construção de um gráfico Biplot (Figura 18) para as diferentes velocidades estudadas, sendo possível reter um total de informações das variáveis os de 84,9% da variância dos dados (Dim1 58,4% e Dim2 26,5%).

Figura 18 - Análise de componentes principais para as variáveis coeficiente de variação (cv), aceitável, dupla e falha em diferentes velocidades

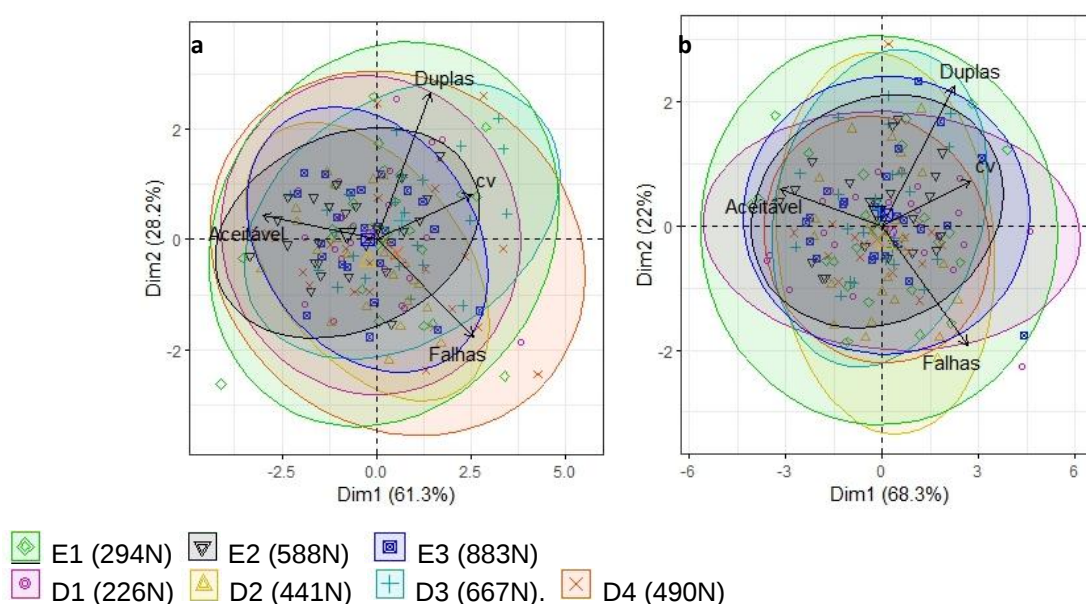


O aumento da velocidade de semeadura interfere negativamente no CV e provocam maior índice de duplas (Correia *et al.*, 2020). Corroborando com os autores a maior velocidade (10Km.h⁻¹) estudada apresentou maior índice de CV e dupla, isso pode ser comprovado pois a elipse em azul está mais a direita e, portanto, apresentou uma correlação positiva com as variáveis falha, dupla e CV. Pode-se afirmar que a semeadura em menores velocidades melhora significativamente a plantabilidade. Sendo assim, serão apresentados os dados de distribuição longitudinal de plantas

com a aplicação de diferentes forças descendentes fixas e variáveis para a velocidade de 4 e 6,5km.h⁻¹ (Figura 19)

As variáveis dupla, falha e CV apresentaram relação positiva com o primeiro componente principal (Dim1), enquanto a variável aceitável apresentou relação negativa para todas as forças descendentes aplicadas. Esse comportamento ocorre em função de que maior porcentagem de aceitáveis implica em menor porcentagem de dupla e falha. Nota-se que o vetor que representa a variável falha aproximou-se do coeficiente de variação (cv), indicando uma possível correlação.

Figura 19 - Análise de componentes principais para as variáveis coeficiente de variação (cv), aceitável, dupla e falha nas velocidades de 4 (a) e 6,5 (b) km.h⁻¹



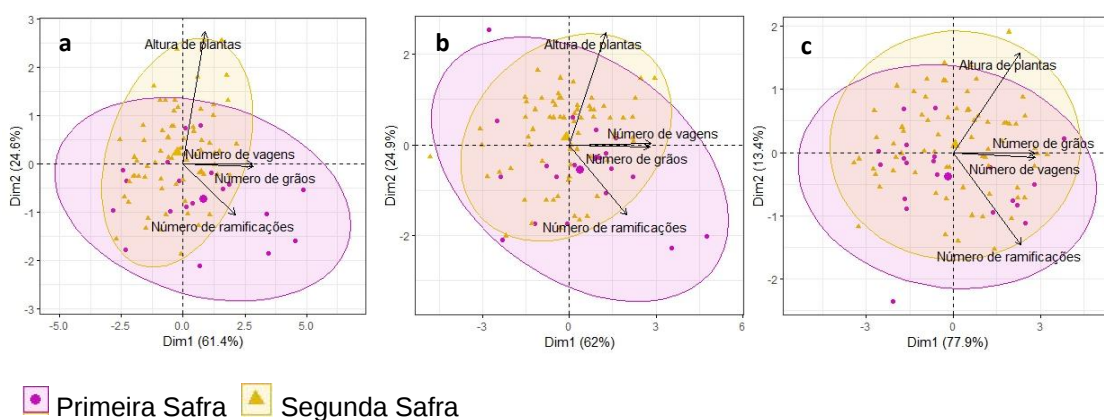
Na Figura 19a observou-se que a força fixa E2 (588N) apresentou menor porcentagem de falha, dupla e cv ao se trabalhar na velocidade de 4km.h⁻¹. Apesar da força E2 ser fixa, seu valor é superior às forças variáveis D1 (226N) e D2(441N). Oliveira (2021) verificou aumento do parâmetro aceitável quando aplicada forças descendentes médias, altas e muito altas.

Na Figura 19b as forças descendentes aplicadas apresentaram uma grande heterogeneidade. Observou-se comportamento semelhante entre as forças fixa E2 (588N) e E3 (883N), bem como as forças variáveis D2 (441N) e D3 (667N). A menor força aplicada (E1) na velocidade de 6,5 km.h⁻¹ teve dados mais heterogêneos em relação a todas as demais forças aplicadas.

4.8.2 Análise agronômica da cultura

A PCA resumiu adequadamente os dados de análise agronômica da cultura de soja nas diferentes velocidades estudadas para a primeira e segunda safra (Figura 20). A dimensão 1 e a dimensão 2, juntas explicam 86%, 86,9% e 91,3% respectivamente dos dados na velocidade de 4; 6,5 e 10km.h⁻¹.

Figura 20 - Análise de componentes principais para as variáveis altura total de planta (cm), total de grãos por plantas (unid.), total de vagem por planta (unid.) nas velocidades de 4 (a); 6,5 (b) e 10 (c) km.h⁻¹ na primeira e segunda safra

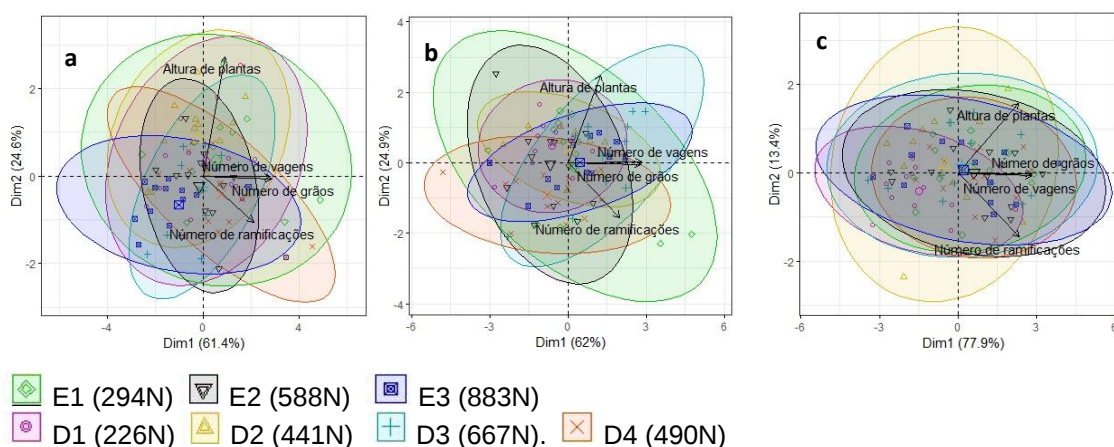


Quando estudou-se a velocidade em detrimento do número de ramificações, pode-se observar que à medida que se aumenta a velocidade, temos uma maior contribuição nas respectivas primeiras componentes (comprimento do autovetor). Nota-se que a altura de plantas tem efeito oposto, ou seja, à medida que se aumenta a velocidade, diminui-se a altura de plantas. Para esta variável, a velocidade de 4km.h⁻¹ teve diferenciação para a segunda safra, em comparação com as demais velocidades.

O número de grãos e números de vagens tiveram menor contribuição na velocidade de 4km.h⁻¹ e efeito semelhante para as demais velocidades em ambas as safras.

Apesar de não haver uma divergência entre os dados de primeira e segunda safra nas diferentes velocidades, observou-se que existem área ou zona que não houve interseção de dados. Dessa forma será apresentado as variáveis os para as forças aplicadas nas três velocidades estudadas (Figura 21).

Figura 21 - Análise de componentes principais para as variáveis altura total de planta (cm), total de grãos por plantas (unid.), total de vagem por planta (unid.) nas velocidades de 4 (a); 6,5 (b) e 10(c) km.h⁻¹



Para o fator forças descendentes aplicadas, os componentes principais, Dim1 e Dim2, conseguiram nas velocidades de 4; 6,5 e 10km.h⁻¹ explicar respectivamente 86%, 86,9% e 91,3% da variação total observada. Em todas as velocidades estudadas a dimensão 1 apresentou forte influência das variáveis avaliadas, com autovetores positivos. Já a dimensão 2 apresentou influência positiva apenas para a variável altura de plantas. No entanto, para as variáveis observou-se significativas áreas ou zona de interseção de dados (sobreposição das elipses).

Nota-se que o vetor que representou a variável número de vagens está diretamente associado a variável número de grãos, indicando uma correlação positiva.

Ao se trabalhar na velocidade de 4km.h⁻¹ observou-se que a força E1(294N) apresentou maior dispersão dos dados. A força fixa E3(883N) apresentou menor valor em função do parâmetro altura de plantas. Maior altura de planta foi observado ao se aplicar as forças descendentes variáveis D1(226N) e D2(441N), sendo essas forças a mais homogêneas ao se trabalhar na velocidade de 4km.h⁻¹.

Na Figura 21b observou-se que a força D1(226N) foi a mais homogênea. A força D3 obteve melhores valores de altura de plantas, número de vagens e números de grãos. A força fixa E1(294N), assim como na velocidade de 4km.h⁻¹ apresentou maior dispersão dos dados.

Na velocidade mais alta (10km.h⁻¹), apesar das diferenças, as elipses das forças descendentes aplicadas apresentam uma considerável sobreposição. A elevada sobreposição das forças descendentes aplicadas é provocada por médias semelhantes para as variáveis analisadas. As forças descendentes fixas E2 e E3

apresentaram comportamento bem semelhantes. A elipse da força D1 encontrou-se mais a esquerda demonstrando menor correlação com as variáveis analisadas. A força D2 apresentou uma maior dispersão dos dados, demonstrando baixa correlação. Na velocidade de 10km.h^{-1} a força D4 mostrou-se menor dispersão dos dados, podendo ser considerada uma maior correlação com as variáveis estudadas em comparação as demais forças descendentes aplicadas.

Em geral as variáveis de análise agronômica da cultura de soja apresentaram consideráveis sobreposição de comportamento. Para Nava (2023), isso indica que a maior parte das variáveis avaliadas não responderam de maneira diferencial.

4.8.3 Componentes de produtividade

Na Figura 22 estão representadas informações das variáveis população real, emergência, índice de velocidade de emergência (IVE), número de plantas por metro linear, produtividade e peso de mil grãos. para as diferentes velocidades estudadas na primeira e segunda safra. A somatória dos componentes principais para as velocidades de 4; 6,5 e 10km.h^{-1} explicam 75,3%, 78% e 73,7%, respectivamente.

No estudo da primeira safra, notou-se que para todas as velocidades, os dados tiveram maior dispersão, em relação a elipse, independente da velocidade estudada. Porém, a menor dispersão observada foi na menor velocidade de 4 km.h^{-1} (Figura 22a).

Para a segunda safra notou-se que as associações foram semelhantes para as velocidades de 4 e $6,5\text{ km.h}^{-1}$, no entanto as composições dos autovetores para as variáveis peso de mil grãos e produtividade tiveram associação positiva e negativa, respectivamente. Na velocidade de 10 km.h^{-1} (Figura 22c) propiciou o mesmo efeito para produtividade, porém associação negativa para o peso de 1000 grãos.

Figura 22 - Análise de componentes principais para as variáveis massa de mil grãos (g), porcentagem de emergência (%), índice de velocidade de emergência (cm.dia⁻¹) e plantas por metro linear (plantas.m⁻¹), população real (unid.) e produtividade (Kg.ha⁻¹) nas velocidades de 4 (a); 6,5 (b) e 10 (c) km.h⁻¹ na primeira e segunda safra

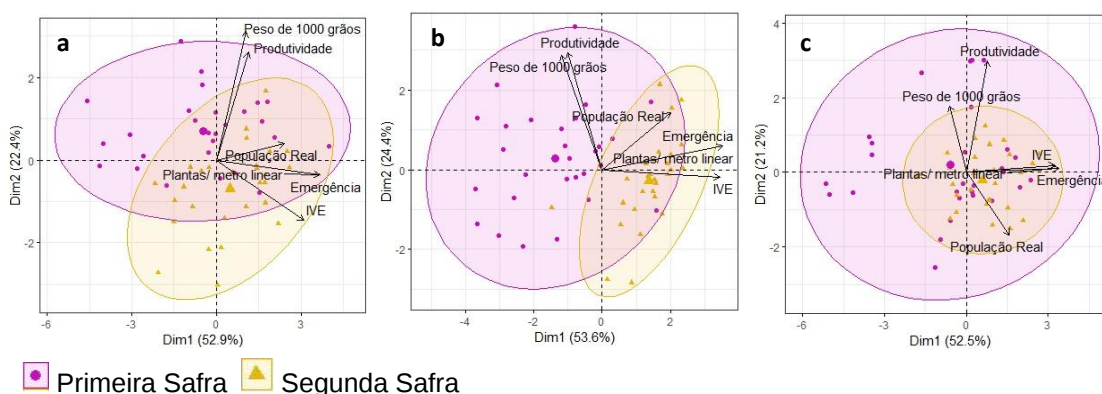
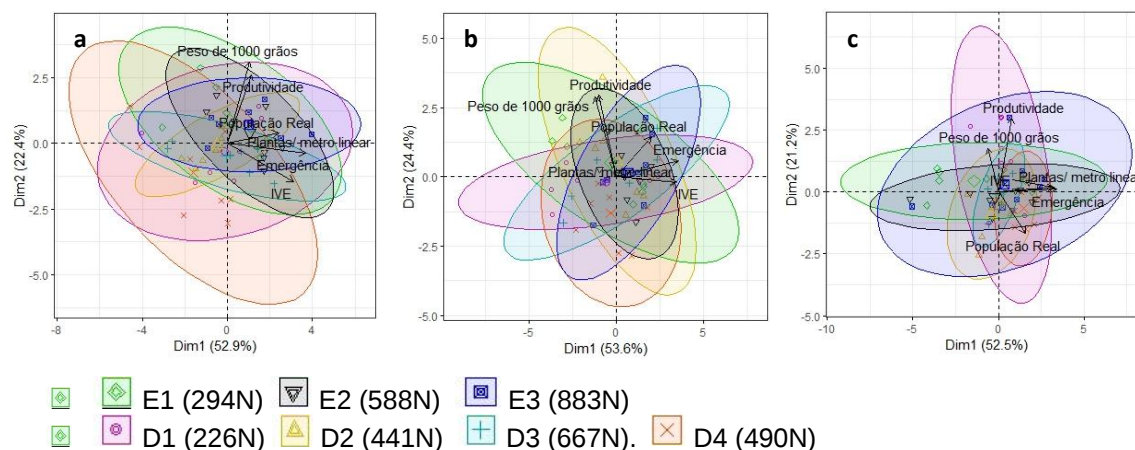


Figura 23 - Análise de componentes principais para as variáveis massa de mil grãos (g), porcentagem de emergência (%), índice de velocidade de emergência (IVE) (cm.dia⁻¹) e plantas por metro linear (plantas.m⁻¹), população real (unid.) e produtividade (Kg.ha⁻¹) nas velocidades de 4 (a); 6,5 (b) e 10 (c) km.h⁻¹ na primeira e segunda safra



Bornhofern *et al.* (2015) afirmaram que, a análise gráfica baseada em análises multivariadas de comportamentos principais permite melhor interpretação dos resultados quando se tem inúmeras características avaliadas em diferentes condições. A área ou zona que não houve interseção de dados. Dessa forma foi apresentado as variáveis para as forças aplicadas nas três velocidades estudadas (Figura 23).

Os autovetores que representaram as variáveis produtividade e massa de mil grãos, bem como plantas por metros lineares e emergência estão próximos,

demonstrando uma possível correlação. Isso porque Yan e Kang (2003) afirmaram que quanto menor for o ângulo entre dois vetores, maior é a correlação entre esses vetores.

Na velocidade de 4km.h^{-1} a posição mais a esquerda (negativa) da elipse da força descendente D4 demonstrou menor correlação com as variáveis analisadas. A força E2(588N) apresentou as melhores associações, visto sua proximidade com o primeiro quadrante onde encontrou-se a maior parte das variáveis estudadas.

Observou-se uma elevada sobreposição das forças descendentes aplicadas na velocidade de 6 km.h^{-1} , essa observação é provocada por centroides semelhantes para as variáveis analisadas. As forças variáveis D1 e D3 apresentaram baixa correlação da variável emergência com a produtividade. Apesar de terem uma melhor performance da variável emergência, a mesma situação não aconteceu para a produtividade. A força E2 foi a com dados mais homogêneos.

Ao analisar as forças descendentes aplicadas na velocidade de 10km.h^{-1} conseguiu-se observar uma variação entre forças descendentes fixas e variáveis. As forças variáveis estão posicionadas de forma que a extremidades do eixo horizontal da elipse seja menor, e o inverso acontece para as forças fixas. A menor força D1 foi a que propiciou maior produtividade e peso de 1000 grãos, no entanto, a população real obteve correlação oposta com essa variável. Os autovetores de plantas por metro linear, emergência e IVE apresentaram comportamentos próximos, com associações positivas, com maiores índices para a menor velocidade. Observou-se uma maior heterogeneidade dos dados quando aplicada forças descendentes fixas, isso pode ser mais bem observado na força E3. As forças variáveis D2, D3 e D4 apresentaram comportamento similares.

5 CONCLUSÕES

Os níveis de forças descendentes fixas e variáveis bem como a velocidade de deslocamento do conjunto trator semeadora influenciam na plantabilidade.

- O aumento da velocidade de semeadura interferiu mais na plantabilidade do que as mudanças das forças descendentes aplicadas;
- Sistemas de força descendente hidráulico (fixo e/ou variável) são benéficos para atingir as profundidades de semeadura alvo;
- Não ficou claro se houve um retorno financeiro para o produtor ao utilizar sistemas de forças descendentes hidráulicas, pois não se observou ganho adicional significativo na produtividade;
- Nas condições do presente estudo, adotando uma profundidade de 3cm é indicado realizar a semeadura a uma velocidade inferior a 10km.h^{-1} e pode-se utilizar forças descendente hidráulicas médias e altas independentemente do modo de operação visando uma melhor plantabilidade e capacidade de campo operacional.

REFERÊNCIAS

- ADEE, E. A. Comparison of Static and Active Downforce on Corn at the Kansas River Valley Experiment Field in 2020. **Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports**, v.7, 2021.
- ALMEIDA, J. V., MACHADO, T. M., VALE, W. G. DO, & VIEIRA, C. V. Influência do espaçamento e densidade de semeadura na produtividade de grãos na cultura da soja. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, 2024.
- ASSIS, R. L. D., Lazarini, G. D., Lanças, K. P., & Cargnelutti Filho, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 558-568, 2009.
- BADUA, S. A.; SHARDA, A.; STRASSER R.; CIAMPITTI, I.; GRIFFINT. W. Influence of planter downforce setting and ground speed on seeding depth and plant spacing uniformity of corn. **In: 14th International Conference on Precision Agriculture**. 2018.
- BADUA, S. A.; SHARDA, A.; STRASSER, R.; CIAMPITTI, I. Ground speed and planter downforce influence on corn seed spacing and depth. **Precision Agriculture**. v.22, p.1154–1170, 2021.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. Editora Manole LTDA, 1990.
- BORTOLI, L. F.; ARISMENDI, G. A.; FERREIRA, M. M.; MARTIN, T. N. Sowing speed can affect distribution and yield of soybean. **Australian Journal of Crop Science**, 2021.
- BORNHOFEN, E.; BENIN, G.; GALVAN, D.; FLORES, M. F. Épocas de semeadura e desempenho qualitativo de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 46-55, 2015.
- BRUNE, P.F.; RYAN, B. J.; TECHNOW, F.; MYERS, D. B. Relating planter downforce and soil strength. **Soil and Tillage Research**. v.184, p.243-252, 2018.
- CAO, XINPENG; WANG, QINGJIE; XU, DIJUAN; HUANG, SHENGHAI; WANG, XIUHONG; WANG, LONGBAO. Design and analysis of pneumatic downforce regulating device for no-till corn planter. **Corn planter. Agriculture** v.12, n.1513, 2022.
- CASTELA JUNIOR, M. A, OLIVEIRA, T., FIGUEIREDO, Z., SAMOGIM, E, & CALDEIRA, D. Influência da velocidade da semeadora na semeadura direta da soja. **Enciclopédia Biosfera**, 2014.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. v. 11, n. 6, 2024.
- CONCEIÇÃO, A. E. D; REGES, N. P. R.; SANTOS, M. P. Influência do vigor, diâmetro da semente e profundidade de semeadura no estabelecimento inicial da soja. **Researche, Society and Development**, v.12, n.2, 2023.

CORREIA, T. P. S.; LOPES, A. G. C.; SILVA, P. R. A.; GOMES DE SOUSA, S. F. G. Semeadura de soja em função de mecanismos dosadores e velocidade operacional. **Energia na Agricultura**, v.35, n.2, p.190-198, 2020.

DE SANTANA NETO, T. M., PEREIRA FILHO, J. V., LEONARDO, F. DE A. P., SILVA, T. B. M., GOMES JÚNIOR, F. DE A., ALVES, A. U., GONÇALVES, F. C. DE M., & PEREIRA, C. C. M. DE S. Avaliação da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado trator-semeadora na distribuição longitudinal da cultura da soja. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v.17, n. 3, 2024.

DIAS, P. P.; SOUSA, s. f. g.; SILVA, p. r. a.; CORREIA, t. p. s.; GOMES, a. r. a. a Profundidade de sementeira da soja na plantabilidade. **Energia na Agricultura**, v.35, n.2, p.150-157, 2020.

DIAS, V. O.; ALONÇO A. S.; BAUMHARDT, U.B.; BONOTTO, G. J. Distribution of corn and soybean seeds in function of the sowing speed and density. **Ciência Rural**, v.39, n6, p.1721-1728, 2009.

DREWRY, J. L.; ARRIAGA, F. J.; SORTE, B. D. Closing wheel type and row unit downforce can affect corn germination in no-tillage production systems. **Agronomy Journal**, v.113, n.5, p.3719-4436, 2021.

DUARTE, E. D. R.; SAUER, A. V.; CANCELLIER, E. L.; MUTTA, F. T. T.; KOLLN, O. T.; Plantabilidade e suas Variáveis no Estabelecimento da Cultura da Soja. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v.11. n.3, 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A Agropecuária do Sul do Matopiba em Perspectiva Circuito Solos Arenosos da Região Cocos-Jaborandi**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro** Londrina: Embrapa Soja, 2014.

FRANCETT T. R.; DAGIOS R. F.; LEINDECKER J. A.; ALONÇO, A. S.; FERREIRA, M. F. Características dimensionais e ponderais das semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil. **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 19, n. 1, p. 18, 2015.

FRANCETTO, T. R.; ROUVRTDON, P. S.; LUCAS, A. S. G. **Manual de máquinas agrícolas**. Funep. Jaboticabal – São Paulo. Cap 8, 2024.

FRANCO, F. J. B.; COMPAGNON, A. M.; PEREIRA FILHO, W. J.; JESUS, M. V.; LEMES, L. M.; ROSA NETO, N. D. Quality of soybean sowing as a function of the speed of the sowing tractor and seed metering disk. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021.

FULTON, J., PONCET, A., MCDONALD, T., KNAPPENBERGER, T., SHAW, J., BALKCOM, K. Considerations for site-specific implementation of active downforce

and seeding depth technologies on row-crop planters. In **73rd conference land**, v.6–7, p.139-145, 2015.

GARCIA, A.; PÍPOLO, A. E.; LOPES, I. O.; PORTUGAL, F. A. F. Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas. **Circular Técnica**. 2007.

GODOY, I. J.; BOLONHEZI, D.; MICHELOTTO, M. D.; FINOTO, E. L.; KASAI, F. S.; FREITAS, R. S. Amendoim, *Arachis hypogaea* L. In: Aguiar, A. T. E.; Gonçalves, C.; Paterniani, M. E. A. G. Z.; Tucci, M. L. S.; Castro, C. E. F. **Boletim IAC 200: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. ed. 7.^a, p. 22-27, 2014.

HANNA, H. M.; STEWARD, L. ALDINGER, L. Soil loading effects of planter depth-gauge wheels on early corn growth. **Applied Engineering in Agriculture**, v.26, n.4, p.51-556, 2010.

JASPER, R.; JASPER, M.; ASSUMPÇÃO P. S. M., ROCIL, J., GARCIA, L. C. GA Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.102-110, 2011.

JING, H.; ZHANG, D.; WANG, Y.; YANG, L.; FAN, C.; ZHAO, H.; WU, H.; ZHANG, Y.; PEI, J.; CUI, T. Development and performance evaluation of an electro-hydraulic downforce control system for planter row unit. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.172, 2020.

JORGE, A. C. O.; SAUERWEIN, N. A. A.; LORENZON, D. G. Fundamentos da plantabilidade e da qualidade das sementes. **Reino Editora: MyFarm Agro**, 2024.

KRALL JM, ESECHIE HA, RANEY RJ, CLARK S, TENEYCK G, LUNDQUIST M, HUMBURG NE, AXTHELM LS, DAYTON AD, VANDERLIP RL. Influence of within-row variability in plant spacing on corn grain yield. **Agronomy journal**. v.69, p.797–799, 1977.

KRYZANOWKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, JULIO. Vigor de sementes: conceitos e testes. **Editora: Abrates**, Londrina – Paraná, Cap. 2, 2020.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. D.; SILVEIRA, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamentos de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal. **Bragantia**, Campinas, v.48, n.2, p.249-262, 1989.

LI, H.; HE, J.; WANG, C.; YANG, W.; LIN, H.; WANG, Q.; YANG, H.; TAN, L. Research Progress on the Development of the Planter Unit for Furrowing Control and the Depth Measurement Technology. **Applied Sciences**, 2023.

LIU Q W, HE X T, YANG L, ZHANG D X, CUI T, QU Z. Effect of travel speed on seed spacing uniformity of corn seed meter. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, 2017; v.10, n. 4, p.98–106, 2017.

LOPES, A. G. C. **Semeadura de soja com mecanismo dosador agrupado pneumático.** Dissertação (mestrado em agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. 2021.

LOPES SOBRINHO, O. P.; SANTOS, L. N. S.; SANTOS, G. O.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de köppen e thornthwaite para o município de Rio Verde, goiás. **Revista brasileira de climatologia.** v.27, 2020.

MAGUIRE, J. D. speed of germination-aid in relation evaluation for seedling emergence vigor. **Crop science**, madison, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **RAS:** Regras para análise de sementes. Brasília: Biblioteca Nacional de Agricultura, p.399, 2009.

MARQUES FILHO, A. C.; RUSCONI, L. H. M; SILVA, P. R. A. Plantabilidade e distribuição longitudinal de sementes de algodão com diferentes conjuntos disco-anel em dosador mecânico. **Energia na Agricultura**, v.35, n.4, p.476-483, 2020.

MARTIN, T. N.; PIRES, J. L. F.; VEY, R. T. Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja. **Editora GR**, 2022.

MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas para plantio. Editora Millennium. Campinas – São Paulo: **Editora Millennium**. Cap. 1-2, 2012.

MODOLO, A. J.; TROGELLO, E.; NUNES, A. L.; DA SILVEIRA, J. C. M.; KOLLING, E. M. Efeito da compactação do solo sobre a semente no desenvolvimento da cultura do feijão. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 89-95, 2011.

MOLETA, I.; RAMPIM, L.; CONRADO, P. M.; CZEKALSKI, A. M.; POTT, C. A.; FARIA, V. O.; SPLIETHOFF, J.; BRITO, T. S.; MARTINS, L. O.; WENDLER, C. D. Performance of pneumatic and mechanical seeder-fertilizer at different speeds in soybean. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, 2020.

MORRISON JUNIOR, J.E. Interative planter depth control and pneumatic dowpressure system. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.31, p.14-18, 1988.

MUNIZ, A. F.; COSTA, P. M. C.; ORMOND, A. T. S.; BIANCHINI, A. Distribuição de plantas de soja com semeadora a vácuo. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.10, p.98756-98772, 2021.

NAVA, K. G. **Aspectos agronômicos em resposta à adubação orgânica e caracterização química de cones de lúpulo (humulus lupulus) produzido no sul do Brasil.** Dissertação (mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, 2023.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. in: vieira, Roberval Daiton; carvalho, editora: Nelson Moreira. Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNE, p.48-85, 1994.

NAVES, R. F.; COMPAGNON, A. M.; FRANCO, F. J. B.; PEREIRA FILHO, W. J. Agronomic performance of soybean in different sowing speeds and depths of fertilizer deposition under no-tillage. **Research, Society and Development**, v.9, n.11, 2020.

NIELSEN, S. K. et al. Seed drill depth control system for precision seeding. *Computers and Electronics in Agriculture*, Denmark. v.144, p.174-180, 2018.

OLIVEIRA, J. L. P.; CORRÊA, R. G.; NICOLAU, F. E. A.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. Tecnologia e qualidade na semeadura do amendoim. **Novas tecnologias da engenharia para aproveitamento do amendoim**. 1º edição, 2019.

OLIVEIRA, L. P. **Qualidade da semeadura das culturas do algodão, milho e soja sob a ação de forças descendentes em linha**. Tese (doutorado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2021.

OLIVEIRA, L. P.; ORTIZ, B. V.; MORATA, G. T.; SQUIRES, T.; JONES, J.; Is Rowunit Vibration Affected By Planter Speeds And Downforce? What Are The Effects? **International Conference On Precision Agriculture**. 2022.

OLIVEIRA, L.; ORTIZ, B.; PATE, G.; THOMAS, C.; SILVA, R. Soil and crop response to varying planter's downforce in corn and cotton Fields. **Smart Agricultural Technology**, v.10, 2025.

PIMENTEL, J. R. **Nível de vigor de sementes, adubação, falhas e desempenho de plantas de soja**. Tese (doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

PONCET, A. M., FULTON, J. P., MCDONALD, T. P., KNAPPENBERGER, T., SHAW. Corn emergence and yield response to row-unit depth and downforce for varying field conditions. **Applied Engineering in Agriculture**. v.35, p.399-408, 2019.

PRECISION PLANTING (2019) disponível em: <https://maissoja.com.br/precision-planting-chega-a-agrisha-com-pioneirismo-na-automacao-dos-processos-de-plantio-e-colheita/>. Acessado em 24 de julho de 2023.

QUEIROZ, R.; SILVA, F.; HONGYU, K. Principal component analysis of agricultural data on soybean production. **Engineering and Science**, v.12, n.3, 2023.

R CORE TEAM (2023). R: A language and environment for statistical computing (Versão 4.3.1). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 1 de fevereiro, 2024.

REYNALDO, É. F.; MACHADO, T. M.; TAUBINGER, L.; DE QUADROS, D. Influência da velocidade de deslocamento na distribuição de sementes e produtividade de soja. **Engenharia na agricultura**, v.24, n.1, 2016.

RODRIGUES, J. G.; GAMERO, C. A.; NASCIMENTO, F. M.; FERNANDES, J. C. Demanda energética de máquinas agrícolas na implantação de cultura do sorgo forrageiro. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, v. 26, n.1, p.65-76, 2011.

ROMANECKAS, K. Sustainable Tillage and Sowing Technologies. **Agronomy** v.12, 2022.

ROSSI, R. F.; CAVARIANI, C.; FRANÇA NETO, J. DE B. Seed vigor, plant population and agronomic performance of soybean. **Revista de Ciências Agrárias/Revista Amazônica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v.60, n.3, p. 215-222, 2017.

SHARDA, A.; FULTON, J.; BADUA, S.; GRIFFIN, T.; CIAMPITTI, I.; HAAG, L. Planter Downforce Technology for Uniform Seeding Depth. **Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service**, 2017.

SILVA, R. P.; CORÁ, J. E.; ALBERTO CARVALHO FILHO, A.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidades de semeadura sobre o desenvolvimento do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.396-404, 2004.

SILVA, R. P.; CORA, J. E.; FURLANI, C. E. A.; LOPES, A. efeito da profundidade de semeadura e de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais na temperatura e no teor de água do solo durante a germinação de sementes de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, lavras, v.32, n.3, p.929-937, 2008.

SILVA, P. R. A.; DIAS, P. P.; CORREIA, T. P. S.; SOUSA, S. F. G.S. Emergência de plântulas de milho em diferentes profundidades de semeadura. **Irriga**, p. 178-185, 2015.

SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; CÂMARA, G. Soja: do plantio à colheita. 2º edição. **Oficina de textos**. 2022.

SOIGNIER, T. S.; PLUMBLEE, M. T.; MUELLER, J. D.; GREENE, J. K.; KIRK, K. R. The evaluation of planter downforce on emergence and grain yield in soybean. **Crop, Foragen and Turfgrass management**, v.9, n.2, p.2-8, 2022.

SOUZA, F. L. P. **Inteligência artificial utilizada na determinação longitudinal da cultura da soja**. Dissertação (mestrado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2021.

TIESEN, C. M. A., VALE, W. G., SILVA, A. F., SHIRATSUCHI, L. S., SILVA, C., RIMOLI, M. F. S. Influence of sowing speed on soybean cultivation. **Scientific Electronic Archives**, 2016.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Annual Crop Production**. 2024.

VIRK, S. S., FULTON, J. P., PORTER, W. M., & PATE, G. L. Row-crop planter performance to support variable-rate seeding of maize. **Precision Agriculture**. v.21, p.603–619, 2019.

VIRK, S. S.; PORTER, W. M.; LI, C.; RAINS, G. C.; SNIDER, J. L.; WHITAKER, J. R. On-farm evaluation of planter downforce in varying soil textures within grower fields. **Precision Agriculture**. 2020.

VIRK, S.; PORTER, W.; SNIDER, J.; RAINS, G.; LI, C.; LIU, Y. Cotton Emergence and Yield Response to Planter Depth and Downforce Settings in Different Soil Moisture Conditions. **AgriEngineering** v.3, p.323–338, 2021.

WEIRICH NETO, P. H.; FORNARI, A. J.; JUSTINO, A.; GARCIA, L. C. Qualidade na semeadura do milho. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.171-179, 2015.

YAN, W.; KANG, M. S. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. **Boca Raton**, 2003.

ZHAO, H.; CUI, T.; FAN, C.; WU, H.; YANG, R. Development and performance evaluation of hydraulic control system for corn planter. **Asabe meeting presentation**. p.2-10, 2019.