



C A P Í T U L O 3

QUALIDADE OPERACIONAL DA SEMEADURA MECANIZADA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO E DA DENSIDADE DE SEMENTES

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.738122516123>

Andrew Theodor Rost

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Santa Helena*

Gabriel Geovane Scheidt

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Santa Helena*

José Dimas Rodrigues Oliveira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Santa Helena*

Marco Antônio da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Santa Helena*

Henrique Carlos Mognol

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Santa Helena*

Gesivaldo Ribeiro Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Santa Helena*

Armando Lopes De Brito Filho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *Campus Cascavel*

Lincon Oliveira Stefanello

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Santa Helena*

Allana Grecco Guedes

Universidade de São Paulo (USP), Campus Ribeirão Preto,
CEP: 14040-900, Ribeirão Preto (SP), Brasil.

Maura Gabriela Da Silva Brochado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Santa Helena*

Franciele Morlin Carneiro

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Santa Helena*

RESUMO: A semeadura mecanizada constitui um fator determinante para o adequado estabelecimento da lavoura e para a expressão do potencial produtivo da cultura, uma vez que variações na deposição de sementes podem comprometer a emergência e a uniformidade das plantas. Assim, este estudo teve como objetivo monitorar a qualidade da semeadura mecanizada sob a influência da velocidade de deslocamento e da densidade de sementes da cultura da soja. O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Santa Helena. O delineamento experimental foi estruturado com base nos princípios do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), considerando dois níveis de densidade de semeadura (14 e 20 sementes m^{-2}) e três velocidades de deslocamento da semeadora (5 , 7 e 9 $km\ h^{-1}$). Os indicadores de qualidade avaliados foram: profundidade e largura dos sulcos, distribuição longitudinal das sementes (espaçamentos normais, duplos e falhos) e a produtividade final da cultura. As análises estatísticas incluíram a aplicação do Controle Estatístico de Processo (CEP), por meio de cartas de controle de valores individuais, possibilitando a identificação da variabilidade ocorrida durante a operação. Os resultados evidenciaram que todos os indicadores permaneceram dentro dos limites de controle, demonstrando estabilidade do processo. A velocidade de $7\ km\ h^{-1}$ destacou-se como a condição mais adequada, apresentando menor variabilidade na largura e profundidade dos sulcos, maior uniformidade na distribuição das sementes e as maiores médias de produtividade. Em contrapartida, velocidades inferiores ou superiores aumentaram a dispersão dos dados, favorecendo a ocorrência de falhas e duplos, além de reduzir levemente a produtividade. O aumento da densidade de semeadura apresentou efeito secundário, intensificando a variabilidade quando associado às maiores velocidades de deslocamento. Conclui-se que a operação da semeadora na velocidade de $7\ km\ h^{-1}$, em consonância com as densidades recomendadas para a região, é fundamental para assegurar a uniformidade do estande inicial e maximizar o desempenho produtivo da soja. Esses resultados reforçam a relevância do controle operacional e da adoção de boas práticas na mecanização agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Cartas de controle; Controle Estatístico de Qualidade; *Glycine max* (L.) Merrill; Variabilidade.

Operational quality of mechanized seeding as a function of travel speed and seed density

ABSTRACT: Mechanized sowing is a crucial factor for establishing crops effectively and realizing their full productive potential. Variations in seed deposition can lead to issues with plant emergence and uniformity. Thus, this study aimed to evaluate the quality of mechanized sowing based on travel speed and seed density in soybean crops. The

experiment was conducted in the experimental area of the Federal Technological University of Paraná (UTFPR) at the Santa Helena campus. The experimental design was based on the principles of Statistical Quality Control (SQC), incorporating two levels of sowing density (14 and 20 seeds per meter) and three travel speeds for the seed drill (5, 7, and 9 km/h). The quality indicators assessed included furrow depth and width, longitudinal seed distribution (normal, double, and missing spacing), and final crop yield. Statistical analyses were conducted using Statistical Process Control (SPC) through individual value control charts, which allowed for the identification of variability during the operation. The results indicated that all indicators remained within control limits, signifying process stability. A speed of 7 km h⁻¹ emerged as the most suitable condition, as it exhibited less variability in the width and depth of the furrows, greater uniformity in seed distribution, and the highest average yields. In contrast, lower or higher speeds resulted in increased data dispersion, leading to a higher occurrence of planting failures and doubles, while slightly reducing productivity. Additionally, an increase in sowing density had a secondary effect, amplifying variability when paired with higher travel speeds. Therefore, operating the seeder at a speed of 7 km h⁻¹, in accordance with the recommended densities for the region, is crucial for ensuring uniformity in the initial stand and maximizing soybean production performance. These findings highlight the significance of operational control and the adoption of best practices in agricultural mechanization.

KEYWORDS: Control charts; Statistical Quality Control; *Glycine max* (L.) Merrill; Variability.

INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola exerce um papel fundamental na modernização e no aumento da eficiência do setor, configurando-se como um marco no avanço das práticas tradicionais (PEÇA, 2018). Segundo o mesmo, ao substituir o trabalho manual pelo uso de máquinas, possibilita maior produtividade, redução do esforço físico e viabiliza a produção agrícola em larga escala. Nesse contexto, a mecanização tornou-se especialmente relevante para culturas de elevado impacto econômico, como a soja, cuja condução tem dependência de tecnologias mecanizadas para preparo, semeadura, manejo e colheita (EMBRAPA, 2023).

A soja é uma das culturas agrícolas mais estratégicas do Brasil e do mundo, com forte impacto econômico e social. Em escala global, a produção de soja ultrapassa 420 milhões de toneladas anuais, sendo o Brasil um dos principais produtores desse grão (EMBRAPA, 2023).

No âmbito nacional, a oleaginosa ocupa posição central: é o carro-chefe da produção agropecuária, respondendo por centenas de bilhões de reais em valor

bruto de produção e figurando entre os pilares das exportações brasileiras (CNA, 2024). Aproximadamente dois terços da soja produzida no país destinam-se ao mercado externo, tendo a China como principal destino (BRASIL DE FATO, 2024).

Diante dessa relevância, qualquer incremento na eficiência do processo produtivo repercute não apenas na rentabilidade dos produtores, mas também no equilíbrio da balança comercial, na geração de empregos e no desenvolvimento regional. Nesse contexto, o aumento da produção agrícola está diretamente associado aos avanços proporcionados pela mecanização, que possibilita maior eficiência e precisão nas operações de campo, entre elas a semeadura (PEÇA, 2018).

Diversos sistemas mecanizados foram desenvolvidos com o intuito de atender às especificidades das diferentes culturas, entre os quais a semeadura mecanizada se destaca como elemento estratégico na busca por maior eficiência e rendimento das operações agrícolas (BASSOI et al., 2019).

A semeadura mecanizada representa, portanto, um avanço essencial no contexto da mecanização agrícola, oferecendo benefícios aos agricultores (CAVALCANTE et al., 2020). Segundo os mesmos autores, esse processo não apenas acelera o estabelecimento da lavoura, como também garante maior uniformidade na deposição de sementes, favorecendo a formação de um estande mais consistente (CAVALCANTE et al., 2020). Para Cavalcante et al. (2020), a precisão e a eficiência proporcionadas por essa tecnologia configuram-se como fatores determinantes para o sucesso do cultivo, com impactos diretos na produtividade e na qualidade da colheita.

Diversos fatores podem comprometer a eficiência da semeadura, entre eles as condições do solo, a regulagem inadequada das máquinas agrícolas e a velocidade de deslocamento. A identificação de falhas e de duplos espaçamentos é fundamental para corrigir irregularidades na distribuição de sementes (PONTES; CAVICHIOLI, 2019).

A prevenção desses problemas requer monitoramento constante durante a operação, associado a estratégias como ajustes precisos na regulagem da semeadora, redução da velocidade em áreas de maior complexidade operacional, tais como, terrenos com topografia irregular, solos compactados, rochosos, com presença de obstáculos, ou ainda sujeitos a alagamentos, encharcamentos e secas extremas, além da adoção de tecnologias de monitoramento em tempo real (BASSOI et al., 2019).

A identificação rápida de falhas possibilita que os agricultores atuem de forma proativa na redução de perdas e na otimização da semeadura, essa abordagem ágil favorece ajustes imediatos nas configurações da semeadora, assegurando maior uniformidade na distribuição das sementes e, consequentemente, potencializando o desenvolvimento das culturas (ALBIERO et al., 2012).

Nesse contexto, o Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) configura-se como uma ferramenta relevante para o monitoramento da qualidade operacional em sistemas agrícolas mecanizados (KLAVER, 2009). A partir da utilização de dados estatísticos, o CEQ permite avaliar a variabilidade e a consistência da distribuição de sementes, oferecendo uma abordagem científica e sistemática para aprimorar a eficiência do processo de semeadura (KLAVER, 2009).

Diante do exposto, torna-se essencial compreender de que forma fatores operacionais, especialmente a velocidade de deslocamento, interferem na qualidade da semeadura mecanizada. Assim, a hipótese deste estudo foi que a velocidade de deslocamento da semeadora exerce influência direta sobre a qualidade operacional da semeadura, refletindo na ocorrência de espaçamentos falsos e duplos. Buscou-se monitorar o limite de velocidade em que ainda seja possível manter padrões aceitáveis de qualidade na deposição de sementes, com ênfase no cultivo da soja. A justificativa para a realização deste estudo fundamenta-se na necessidade de aprimorar a eficiência da semeadura mecanizada na região do Extremo Oeste do Paraná, caracterizada pela predominância de solos de textura argilosa, de modo a oferecer aos agricultores práticas mais precisas e otimizadas para o estabelecimento de culturas estratégicas.

O objetivo geral deste estudo foi monitorar a qualidade da semeadura mecanizada da cultura da soja em função da velocidade de deslocamento e da densidade de sementes. Os objetivos específicos foram: (i) analisar os efeitos de diferentes velocidades de deslocamento sobre a uniformidade da distribuição de sementes; (ii) avaliar o impacto da velocidade de deslocamento na eficiência do estabelecimento da cultura; e (iii) identificar a combinação entre velocidade e densidade de semeadura que proporcione a melhor qualidade operacional.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção descreve a área de estudo, os materiais empregados, o delineamento experimental e os procedimentos utilizados na coleta e análise dos dados.

Descrição da área experimental

A pesquisa foi conduzida na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Santa Helena, localizado no município de Santa Helena, na região oeste do estado do Paraná (Figura 1). A área total destinada ao experimento foi de 4.200 m², sendo 210 m² alocados para cada tratamento, garantindo condições adequadas de espaço para a execução das atividades e a coleta dos dados.

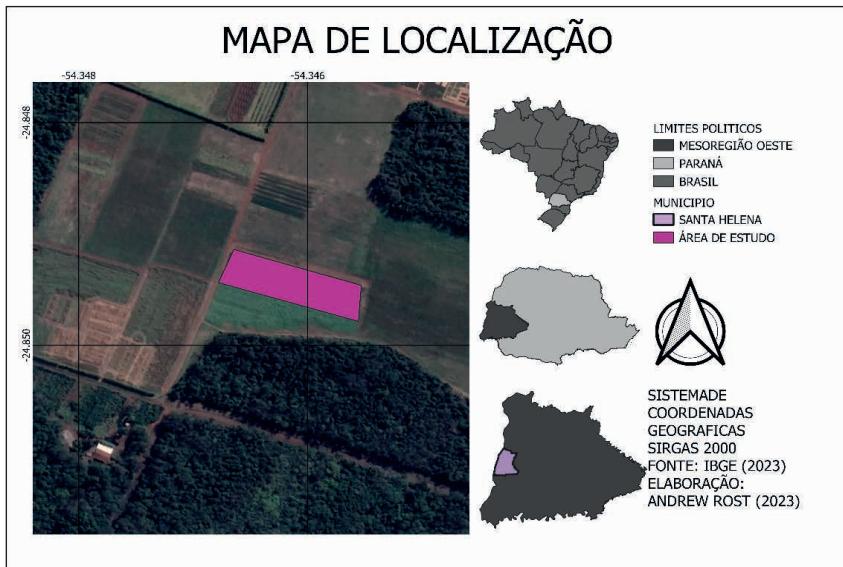


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo onde foi realizado o experimento.

Fonte: Autores (2023)

Na coleta dos dados em campo, foram utilizados materiais simples e adequados à rotina de avaliações operacionais, incluindo prancheta, caneta, fichas e tabelas impressas para registro das informações, além de fita métrica para medições de profundidade, largura dos sulcos e distribuição longitudinal das sementes. Os pontos amostrais foram selecionados de forma aleatória dentro das passadas da semeadura, garantindo imparcialidade e representatividade das observações. Cada passada correspondia a um tratamento específico (Figura 2), composto por 7 linhas de semeadura, assegurando que a variabilidade analisada estivesse diretamente relacionada aos fatores experimentais estabelecidos.

As bordaduras das parcelas foram excluídas da coleta, a fim de evitar interferências e reduzir possíveis erros associados às extremidades da operação, assegurando que a variabilidade analisada estivesse diretamente relacionada aos fatores experimentais estabelecidos.

Layout Tratamentos			
			Tr 1 V 5 D 14
			Tr 2 V 7 D 14
			Tr 3 V 9 D 14
			Tr 4 V 5 D 20
			Tr 5 V 7 D 20
			Tr 6 V 9 D 20
		Tr	Tratamento
		V	Velocidade (Km/h)
		D	Densidade (S/m)
96R40 IPRO PIONEER			

Figura 2. Mapa/croqui da área experimental, com a disposição das parcelas e linhas de coleta.

Fonte: Autores (2023).

Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi baseado nas premissas fundamentais do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), conforme descrito por Montgomery (2019), considerando a análise de pontos amostrais ao longo do tempo. Os pontos de coleta foram estabelecidos a cada 10 metros de deslocamento da semeadora, permitindo o monitoramento contínuo das variáveis estudadas. Os tratamentos foram definidos com base em dois fatores principais: densidade de semeadura (14 e 20 sementes m^{-2}) e velocidade de deslocamento da semeadora (5 , 7 e 9 $km\ h^{-1}$), utilizando a cultivar de soja 95R40 IPRO.

A escolha das densidades reflete as recomendações agronômicas para a região, enquanto as velocidades foram selecionadas para avaliar o desempenho da semeadura dentro de faixas operacionais comumente utilizadas no campo. Vale destacar que a densidade de semeadura está diretamente relacionada à distribuição longitudinal das sementes, sendo a avaliação conjunta desses parâmetros essencial para assegurar um estande inicial uniforme e eficiente.

Este delineamento possibilitou uma análise sistemática e detalhada dos efeitos isolados e combinados dos fatores testados, garantindo uma abordagem estatística robusta e adequada aos objetivos da pesquisa. O detalhamento dos tratamentos experimentais é apresentado na Tabela 1 a seguir.

Tratamentos	Cultivar	Densidade de semeadura (sementes m ⁻¹)	Velocidade de deslocamento (km h ⁻¹)
1	95R40 IPRO	14	5
2	95R40 IPRO	14	7
3	95R40 IPRO	14	9
4	95R40 IPRO	20	5
5	95R40 IPRO	20	7
6	95R40 IPRO	20	9

Tabela 1. Tratamentos experimentais em função da densidade de semeadura e velocidade de deslocamento

Fonte: Autoria própria (2023)

Para a avaliação dos indicadores de qualidade da semeadura, foram definidos oito pontos amostrais por tratamento, distribuídos nas três linhas centrais de cada parcela, visando minimizar os efeitos de bordadura. Nessas áreas, foram avaliados os parâmetros de profundidade e largura dos sulcos logo após a operação de semeadura, bem como a distribuição longitudinal das sementes no solo.

No que se refere ao indicador de produtividade da soja, foram coletadas 12 amostras por tratamento, com o propósito de assegurar adequada representatividade do desempenho produtivo da cultura. Essa estratégia de amostragem possibilitou uma análise mais abrangente, contemplando tanto a qualidade operacional da semeadura quanto os efeitos desses fatores sobre o rendimento final da lavoura.

Para a avaliação dos indicadores de qualidade (profundidade e largura dos sulcos após a semeadura, bem como a distribuição longitudinal) os pontos amostrais foram coletados em oito pontos por tratamento, considerando as três linhas centrais.

Máquinas e equipamentos agrícolas

O trator utilizado no experimento foi o modelo LS Plus 90, com tração 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar), motor a diesel de quatro cilindros e potência de 93 cavalos. O equipamento possui transmissão sincronizada com reversor mecânico, oferecendo 12 marchas à frente e 12 marchas à ré, além de redutor de velocidade (LS TRACTOR, 2025).

A semeadora-adubadora mecânica, modelo PND 7000, foi acoplado ao trator LS Plus 90, destinada a grãos graúdos, configurada com sete linhas espaçadas em 0,50 metros (m). Esta semeadora possui reservatório com capacidade de 800 kg de adubo e 280 kg de sementes.

Indicadores de qualidade

Os indicadores de qualidade utilizados para o monitoramento da qualidade do sistema mecanizado de semeadura foram: profundidade e largura dos sulcos de semeadura, distribuição longitudinal de sementes e produtividade da cultura. As avaliações de profundidade e largura dos sulcos foram realizadas no mesmo dia da semeadura, por meio da abertura dos sulcos e posterior medição com o auxílio de régulas graduadas em unidades métricas.

A distribuição longitudinal foi avaliada após a estabilização do estande de plantas emergidas, possibilitando a identificação e quantificação dos diferentes tipos de espaçamentos: normais, duplos e falhos. Essa etapa foi fundamental para verificar a uniformidade de distribuição das sementes ao longo da linha de semeadura.

Para a determinação da produtividade da soja, a colheita foi realizada por meio de armações quadradas ($0,25 \times 0,25 \text{ m}^2$), com posterior correção da massa dos grãos para um teor de água do grão de 13%, conforme recomendação técnica para a cultura.

Análises estatísticas

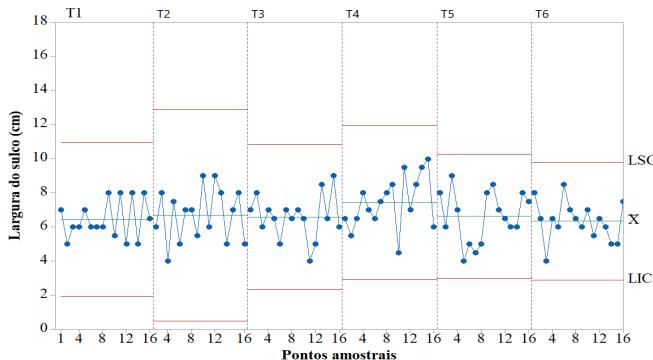
Após a coleta dos dados, foram aplicadas ferramentas de controle de qualidade fundamentadas nos princípios do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) (MONTGOMERY, 2019). Entre elas, destacam-se as cartas de controle de valores individuais, empregadas para o monitoramento contínuo da qualidade do processo de semeadura, possibilitando a identificação de tendências, variações e eventuais desvios em relação aos limites de controle previamente estabelecidos (MONTGOMERY, 2019). Essa ferramenta permitiu identificar fatores críticos que influenciaram o desempenho da semeadura, constituindo subsídio para a proposição de melhorias no processo (MONTGOMERY, 2019).

As cartas de controle são compostas pelos limites superior (LSC) e inferior de controle (LIC), além da média aritmética simples. Os limites de controle são determinados a partir da média e do desvio-padrão, sendo definidos como $\text{LSC} = \text{média} + 3 \times \text{desvio-padrão}$ e $\text{LIC} = \text{média} - 3 \times \text{desvio-padrão}$ (MONTGOMERY, 2019).

A análise detalhada dos indicadores de qualidade mostrou-se fundamental para a construção e interpretação das cartas de controle, fornecendo informações consistentes para a tomada de decisão e para o aprimoramento das práticas operacionais em campo.

RESULTADOS

A análise da carta de controle de valores individuais para a largura do sulco de semeadura (Figura 3) evidenciou que, de modo geral, o processo manteve-se estável ao longo dos diferentes tratamentos. Nenhuma das amostras ultrapassou os limites superior ou inferior de controle, indicando que as variações observadas correspondem à variabilidade natural do sistema e não decorrem de problemas específicos durante a operação.



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, : Média aritmética

T1: 14 sementes m^{-1} e 5 km h^{-1} ; T2: 14 sementes m^{-1} e 7 km h^{-1} ;
 T3: 14 sementes m^{-1} e 9 km h^{-1} ; T4: 20 sementes m^{-1} e 5 km h^{-1} ; T5:
 20 sementes e 7 km h^{-1} ; T6: 20 sementes m^{-1} e 9 km h^{-1}

Figura 3. Cartas de controle de valores individuais para o indicador de qualidade largura do sulco de semeadura em função da velocidade de deslocamento e densidade de semeadura.

Fonte: Autores (2025).

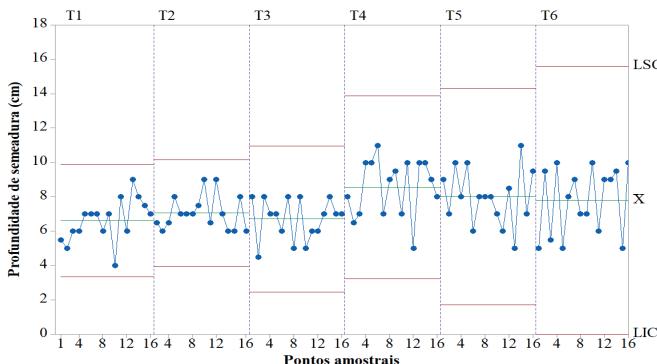
Ao analisar com maior atenção os tratamentos referentes à largura do sulco de semeadura, observou-se que o desempenho não seguiu o padrão esperado para a velocidade tradicionalmente recomendada. Nos tratamentos com densidade de 14 sementes por metro (T1: 14 sementes m^{-1} e 5 km h^{-1} ; T2: 14 sementes m^{-1} e 7 km h^{-1} ; T3: 14 sementes m^{-1} e 9 km h^{-1}), verificou-se que T1 e T3 apresentaram maior estabilidade, com valores mais próximos da média e menor dispersão ao longo dos pontos avaliados. Em contraste, o tratamento T2, correspondente à velocidade de 7

km h^{-1} , demonstrou uma das maiores variações, evidenciando menor uniformidade na formação do sulco.

Ao considerar a maior densidade de semeadura ($20 \text{ sementes m}^{-1}$), observa-se que o tratamento T6 ($20 \text{ sementes m}^{-1}$ e 9 km h^{-1}) também se destacou pela regularidade dos valores, aproximando-se dos melhores desempenhos registrados em T1 e T3. Essa resposta indica que, para o indicador de largura do sulco, a operação em velocidades mais elevadas (9 km h^{-1}) apresentou comportamento mais uniforme do que a velocidade intermediária de 7 km h^{-1} nas condições do presente estudo.

De modo geral, a largura do sulco apresentou melhor uniformidade nos tratamentos T1, T3 e T6, enquanto T2 e T4 mostraram a maior dispersão entre os tratamentos analisados. Esses achados reforçam que a velocidade de operação exerce influência direta sobre a estabilidade do processo e que a recomendação padrão de 7 km h^{-1} não resultou na melhor qualidade do sulco nesta condição específica de máquina, solo e densidade de semeadura.

A carta de controle referente à profundidade de semeadura (Figura 4) evidenciou que, ao longo dos diferentes tratamentos, o processo permaneceu dentro dos limites estatísticos estabelecidos. Nenhum dos pontos amostrais ultrapassou os limites superior ou inferior de controle, o que indica que a variabilidade observada corresponde às oscilações naturais do sistema.



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, : Média aritmética

T1: 14 sementes m^{-1} e 5 km h^{-1} ; T2: 14 sementes m^{-1} e 7 km h^{-1} ;
 T3: 14 sementes m^{-1} e 9 km h^{-1} ; T4: 20 sementes m^{-1} e 5 km h^{-1} ;
 T5: 20 sementes m^{-1} e 7 km h^{-1} ; T6: 20 sementes m^{-1} e 9 km h^{-1}

Figura 4. Cartas de controle de valores individuais para o indicador de qualidade profundidade de semeadura em função da velocidade de deslocamento e densidade de semeadura.

Fonte: Autores (2025).

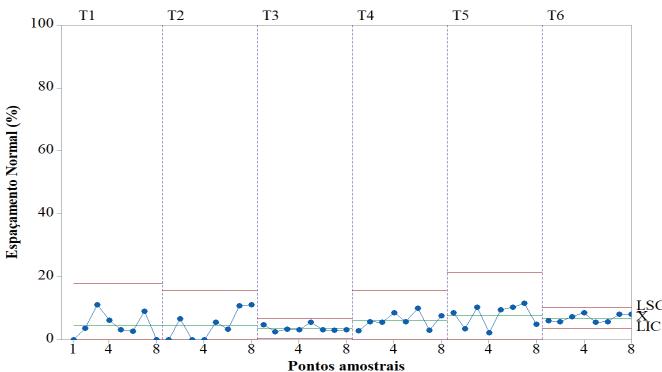
Na densidade de 14 sementes por metro (T1, T2 e T3), recomendada para a região, a profundidade média manteve-se relativamente constante entre os tratamentos. Entre eles, o T2, conduzido à velocidade de 7 km h^{-1} , apresentou o melhor desempenho, com distribuição mais uniforme e a menor dispersão dos valores, evidenciando elevada estabilidade no processo de deposição das sementes. O tratamento T1, operado a 5 km h^{-1} , também apresentou boa regularidade, embora com variação ligeiramente superior à observada em T2. Já o tratamento T3 (9 km h^{-1}) mostrou incremento na variabilidade, indicando maior sensibilidade da profundidade de deposição a velocidades mais elevadas.

Nos tratamentos com maior densidade de semeadura (20 sementes por metro – T4, T5 e T6), observou-se comportamento distinto. Embora a profundidade tenha permanecido dentro dos limites de controle, T5 e T6 apresentaram as maiores dispersões, caracterizando menor regularidade no processo.

De maneira geral, os resultados demonstram que a operação na velocidade de 7 km h^{-1} (T2) proporcionou a maior estabilidade na profundidade de deposição, seguida pelo tratamento T1. Por outro lado, T5 e T6 apresentaram os desempenhos menos uniformes. Esses achados reforçam a importância do controle da velocidade e da densidade de semeadura para garantir deposição adequada das sementes, favorecendo o estabelecimento inicial e a uniformidade da emergência das plantas.

Ao analisar a carta de controle para o indicador de qualidade relacionado ao espaçamento normal entre sementes (Figura 5), observa-se que o processo de distribuição ao longo dos diferentes tratamentos também permaneceu sob controle estatístico. Nenhuma das amostras avaliadas ultrapassou os limites superior (LSC) e inferior (LIC) de controle, o que demonstra uma boa estabilidade operacional da semeadora.

Nesta carta de controle de valores individuais para o indicador de qualidade espaçamento normal, observa-se que os tratamentos T3, T6 e T2 apresentaram o melhor desempenho, mantendo uma menor dispersão dos valores e maior estabilidade do processo, indicando melhor uniformidade na deposição longitudinal das sementes. Esse comportamento sugere que, nessas faixas de velocidade, o mecanismo dosador apresentou funcionamento mais consistente, favorecendo o estabelecimento de um estande inicial uniforme. Por outro lado, os demais tratamentos apresentaram maior variabilidade e maior número de pontos próximos à Linha de Controle Superior (LCS) e Linha de Controle Inferior (LIC) indicando maior irregularidade na distribuição das sementes ao longo da linha de semeadura.



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, : Média aritmética

T1: 14 sementes m⁻¹ e 5 km h⁻¹; T2: 14 sementes m⁻¹ e 7 km h⁻¹;
 T3: 14 sementes m⁻¹ e 9 km h⁻¹; T4: 20 sementes m⁻¹ e 5 km h⁻¹; T5:
 20 sementes e 7 km h⁻¹; T6: 20 sementes m⁻¹ e 9 km h⁻¹

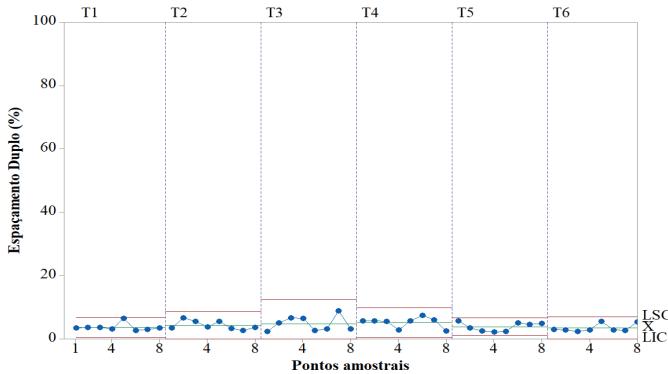
Figura 5. Cartas de controle de valores individuais para o indicador de qualidade espaçoamento normal em função da velocidade de deslocamento e densidade de semeadura.

Fonte: Autores (2025).

A avaliação da carta de controle referente ao espaçamento duplo entre sementes (Figura 6) demonstrou que o processo de semeadura permaneceu dentro dos limites de controle em todos os tratamentos. Nenhum dos pontos avaliados ultrapassou os limites superior (LSC) ou inferior de controle (LIC), o que indicou que a variação observada na ocorrência de espaçamentos duplos corresponde à variabilidade natural do processo, não sinalizando anormalidades específicas.

Nos tratamentos conduzidos com a densidade recomendada de 14 sementes por metro (T1 a T3), destaca-se novamente o tratamento T2, operado à velocidade de 7 km h⁻¹. Nesse caso, os valores de espaçamento duplo apresentaram menor dispersão em relação à média, evidenciando que a velocidade recomendada para a região contribui não apenas para a regularidade da distribuição das sementes, mas também para a redução de falhas de uniformidade, como a ocorrência de espaçamentos duplos.

Nos extremos de velocidade, tanto a redução para 5 km h⁻¹ (T1) quanto o aumento para 9 km h⁻¹ (T3) resultaram em discreto incremento da variabilidade, com maior concentração de pontos afastados da média. Esse comportamento reforça que velocidades inferiores ou superiores à faixa recomendada podem afetar negativamente o desempenho do sistema de distribuição.



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, : Média aritmética

T1: 14 sementes m⁻¹ e 5 km h⁻¹; T2: 14 sementes m⁻¹ e 7 km h⁻¹;
T3: 14 sementes m⁻¹ e 9 km h⁻¹; T4: 20 sementes m⁻¹ e 5 km h⁻¹; T5:
20 sementes e 7 km h⁻¹; T6: 20 sementes m⁻¹ e 9 km h⁻¹

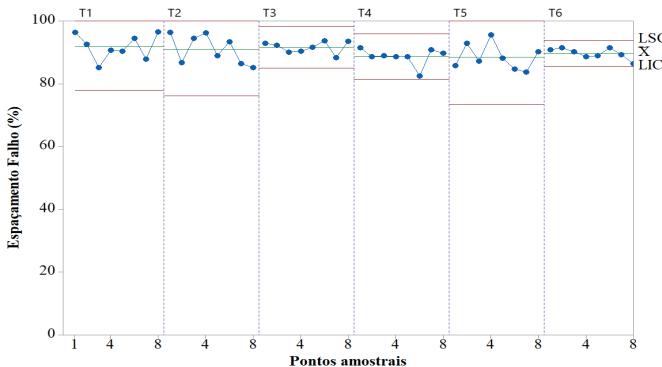
Figura 6. Cartas de controle de valores individuais para o indicador de qualidade espaçoamento duplo em função da velocidade de deslocamento e densidade de sementeira.

Fonte: Autores, 2025.

Nos tratamentos com maior densidade de sementes (20 sementes por metro – T4 a T6), a tendência de aumento da variabilidade na ocorrência de espaçamentos duplos mostrou-se ainda mais evidente, sobretudo quando associada à maior velocidade (T6). Esse resultado indica que a combinação de alta densidade com velocidade elevada potencializa o risco de deposição inadequada de sementes.

De modo geral, os dados reforçam a relevância de respeitar os parâmetros operacionais adequados, como densidade de sementeira e velocidade de deslocamento, a fim de minimizar problemas de distribuição, como os espaçamentos duplos, que podem comprometer o estande final da cultura e, consequentemente, a produtividade.

A carta de controle referente ao espaçamento falho entre sementes (Figura 7) mostra que o processo de sementeira, ao longo dos diferentes tratamentos, também permaneceu dentro dos limites estatísticos de controle. Nenhuma das amostras ultrapassou os limites superior (LSC) ou inferior (LIC), sugerindo que as variações observadas podem ser atribuídas à variabilidade operacional normal da sementeira.



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, : Média aritmética

T1: 14 sementes m⁻¹ e 5 km h⁻¹; T2: 14 sementes m⁻¹ e 7 km h⁻¹;

T3: 14 sementes m⁻¹ e 9 km h⁻¹; T4: 20 sementes m⁻¹ e 5 km h⁻¹; T5:
20 sementes e 7 km h⁻¹; T6: 20 sementes m⁻¹ e 9 km h⁻¹

Figura 7. Cartas de controle de valores individuais para o indicador de qualidade espaçamento falho em função da velocidade de deslocamento e densidade de semeadura. Fonte: Autoria própria, 2025.

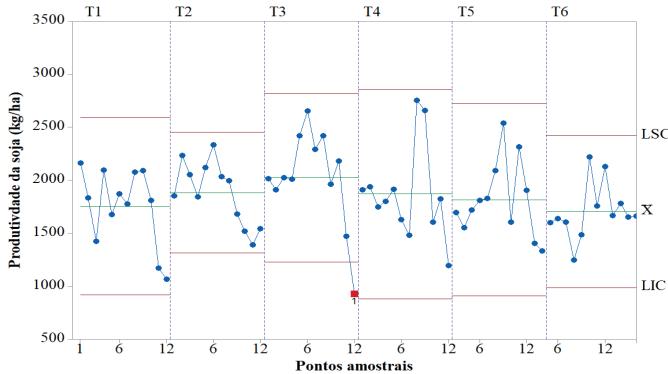
Nos tratamentos conduzidos com a densidade de 14 sementes por metro (T1 a T3), recomendada para a região, destaca-se o tratamento T2, realizado à velocidade de 7 km h⁻¹. Os resultados evidenciam menor variabilidade e valores mais próximos da média, reforçando a uniformidade operacional nessa condição de trabalho.

Ao analisar os efeitos da variação de velocidade, observa-se que tanto a redução para 5 km h⁻¹ (T1) quanto o aumento para 9 km h⁻¹ (T3) resultaram em discreto incremento na dispersão dos dados, indicando que a operação fora da faixa de velocidade recomendada pode aumentar a ocorrência de falhas na distribuição longitudinal das sementes.

Nos tratamentos com maior densidade (20 sementes por metro – T4 a T6), a tendência de maior variabilidade manteve-se, especialmente no tratamento T6 (9 km h⁻¹), sugerindo que a combinação de alta densidade com velocidades mais elevadas intensifica o risco de falhas na deposição de sementes.

De maneira geral, os resultados para o espaçamento falho corroboraram os padrões observados nos outros indicadores de qualidade de semeadura. Manter a velocidade de deslocamento próxima aos 7 km h⁻¹, principalmente com a densidade de 14 sementes por metro, mostrou-se mais eficiente para minimizar tanto os espaçamentos duplos quanto os espaçamentos falhos, contribuindo assim para uma melhor uniformidade de estande.

A carta de controle referente à produtividade da soja (Figura 8) demonstrou que, apesar das variações observadas entre os tratamentos, todos os valores permaneceram dentro dos limites de controle estabelecidos. Esse resultado indicou que, durante a condução do experimento, não foram identificados fatores externos ou desvios operacionais capazes de comprometer o padrão produtivo esperado.



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, : Média aritmética

T1: 14 sementes m⁻¹ e 5 km h⁻¹; T2: 14 sementes m⁻¹ e 7 km h⁻¹;
 T3: 14 sementes m⁻¹ e 9 km h⁻¹; T4: 20 sementes m⁻¹ e 5 km h⁻¹;
 T5: 20 sementes e 7 km h⁻¹; T6: 20 sementes m⁻¹ e 9 km h⁻¹

Figura 8. Cartas de controle de valores individuais para o indicador de qualidade produtividade da cultura da soja em função da velocidade de deslocamento e densidade de semeadura.

Fonte: Autoria própria, 2025

Na densidade recomendada para a região (14 sementes por metro – T1 a T3), o tratamento T2, conduzido à velocidade de 7 km h⁻¹, destacou-se por apresentar menor variabilidade entre as amostras, além de uma das maiores médias de produtividade entre todos os cenários avaliados. Esse resultado reforça a consistência dos efeitos positivos da velocidade recomendada sobre diferentes indicadores de qualidade da semeadura e, consequentemente, sobre a produtividade final da cultura.

Nos extremos de velocidade (5 e 9 km h⁻¹), embora os valores tenham permanecido dentro dos limites de controle, observou-se maior dispersão dos dados e uma discreta tendência de redução das médias de produtividade. Esses resultados sugerem que a adoção de velocidades muito baixas ou muito elevadas pode impactar negativamente o rendimento da cultura, possivelmente em função das alterações na qualidade da semeadura já identificadas nas análises anteriores.

No caso da densidade de 20 sementes por metro (T4 a T6), os tratamentos também se mantiveram dentro dos limites de controle, porém, de modo geral, apresentaram maior variabilidade e médias de produtividade inferiores em comparação com os tratamentos de 14 sementes por metro.

De forma geral, os resultados referentes à produtividade da soja reforçam a importância de operar a semeadora dentro das condições técnicas recomendadas. Destaca-se, em especial, a combinação da densidade de 14 sementes por metro com a velocidade de 7 km h^{-1} , que se mostrou a mais favorável para assegurar a uniformidade da semeadura e maximizar o desempenho produtivo.

DISCUSSÃO

A análise conjunta das cartas de controle dos diferentes indicadores de qualidade da semeadura, associada aos resultados de produtividade da soja, permite compreender de forma consistente os efeitos da velocidade de deslocamento e da densidade de semeadura nas condições do presente estudo.

Nos tratamentos com maior densidade de sementes (20 sementes por metro), observou-se elevação na média da largura dos sulcos, especialmente em T5. Esse comportamento pode estar associado ao maior volume de material processado pelo mecanismo de distribuição, que demanda maior esforço da máquina e, consequentemente, impacta a uniformidade operacional.

De modo geral, todos os indicadores avaliados mantiveram-se dentro dos limites estatísticos de controle, o que confirma que as oscilações observadas fazem parte da variabilidade natural do processo de semeadura e não resultam de falhas operacionais ou interferências externas. Contudo, a interpretação agronômica desse resultado vai além do simples enquadramento estatístico. Em condições reais de campo, pequenas variações na largura e profundidade do sulco, bem como no espaçamento entre sementes, podem afetar o estande inicial, a competição intraespecífica e, consequentemente, o potencial produtivo da lavoura, especialmente em ambientes com maior restrição hídrica ou solos de menor uniformidade. No presente estudo, a variabilidade registrada foi considerada agronomicamente aceitável, pois se manteve em níveis que não comprometeram o estabelecimento das plantas, como refletido nos resultados de produtividade final. Ainda assim, os dados demonstram que alguns tratamentos apresentaram desempenho operacional mais estável que outros, reforçando que operar fora da faixa ideal de velocidade ou em densidades inadequadas pode ampliar essa variabilidade a ponto de se tornar agronomicamente prejudicial em condições menos favoráveis.

Entre os fatores avaliados, a velocidade de deslocamento destacou-se como um dos principais elementos de influência sobre a qualidade da semeadura. Observou-

se que a velocidade de 7 km h⁻¹, recomendada para os tipos de solo da região em estudo, proporcionou desempenho superior de forma consistente. Em praticamente todos os indicadores (profundidade de deposição das sementes, espaçamento normal, além da menor ocorrência de espaçamentos duplos e falhos), o tratamento T2 (14 sementes m⁻¹ a 7 km h⁻¹) apresentou os menores níveis de variabilidade e valores mais próximos da média desejada (CORTEZ; ANGHINONI; ARCOVERDE, 2020).

As velocidades mais baixas (5 km h⁻¹) e mais elevadas (9 km h⁻¹) resultaram, em diversos casos, em maior dispersão dos dados. Notadamente, a elevação da velocidade para 9 km h⁻¹ evidenciou tendência de redução da uniformidade na distribuição de sementes, tanto no espaçamento quanto na profundidade de deposição. Tal resultado corrobora o conhecimento consolidado na mecanização agrícola de que velocidades excessivas podem comprometer o desempenho dos dosadores de sementes e o funcionamento do conjunto sulcador (SILVA et al., 2018).

No que se refere à densidade de semeadura, a comparação entre os tratamentos de 14 (T1, T2 e T3) e 20 (T4, T5 e T6) sementes m⁻¹ revelou que o aumento da densidade promoveu discreto acréscimo na variabilidade de alguns indicadores, especialmente nos espaçamentos duplos e falhos. Esse comportamento era esperado, uma vez que o sistema de distribuição, ao operar com maior fluxo de sementes, tende a apresentar sobreposições ou falhas, sobretudo quando associado a velocidades elevadas (LIMA; SOUZA, 2019).

A relação entre a qualidade da semeadura e a produtividade final da cultura mostrou-se evidente nos resultados. A maior produtividade média foi registrada no tratamento T2, que apresentou o melhor desempenho em praticamente todos os indicadores de qualidade operacional. Esse resultado reforça o entendimento técnico de que uma semeadura bem conduzida, caracterizada por sulcos de largura e profundidade adequadas e pela distribuição longitudinal uniforme, favorece o estabelecimento inicial das plantas e, consequentemente, o desempenho produtivo da cultura (PEÇA; BASSOI, 2017).

Adicionalmente, os resultados ressaltam a relevância da adoção de boas práticas operacionais. Respeitar a faixa recomendada de velocidade e utilizar a densidade adequada para as condições locais constituem medidas simples, porém capazes de gerar impactos significativos na qualidade da semeadura e na produtividade da soja.

Por fim, os achados deste estudo estão em consonância com a literatura sobre o uso de cartas de controle e de métricas de qualidade na semeadura mecanizada (CORTEZ; ANGHINONI; ARCOVERDE, 2020; SILVA et al., 2018; PEÇA; BASSOI, 2017; LIMA; SOUZA, 2019). Em trabalhos que aplicaram o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) em sistemas mecanizados, há concordâncias e divergências segundo as

condições de operação. Essas comparações enriquecem a discussão e posicionam os resultados do presente estudo no contexto da literatura especializada.

Por fim, os resultados obtidos reforçam o potencial do Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) como uma ferramenta inovadora e complementar às análises estatísticas tradicionais no monitoramento de operações mecanizadas. Além de permitir a identificação de variações inerentes ao processo, o CEQ se alinha diretamente aos princípios da agricultura de precisão, ao possibilitar acompanhamento contínuo da qualidade operacional e tomada de decisão baseada em dados. Seu uso contribui para a sustentabilidade operacional, uma vez que auxilia na redução de desperdícios, no ajuste fino das regulagens da semeadora, na prevenção de falhas e na otimização do uso de insumos. Assim, o emprego do CEQ não apenas posiciona este estudo dentro da literatura especializada, mas também evidencia sua aplicabilidade prática frente às tecnologias emergentes utilizadas no campo, reforçando sua relevância para sistemas produtivos modernos.

CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo geral monitorar a qualidade da semeadura mecanizada da cultura da soja em função da velocidade de deslocamento e da densidade de sementes. Os resultados obtidos atenderam de forma consistente aos objetivos propostos.

Em relação ao primeiro objetivo específico, que consistia em analisar os efeitos de diferentes velocidades de deslocamento sobre a uniformidade da distribuição de sementes, verificou-se que a velocidade de 7 km h^{-1} proporcionou maior regularidade, assegurando sulcos bem conformados, deposição uniforme e menores índices de falhas e espaçamentos duplos.

No segundo objetivo, voltado à avaliação do impacto da velocidade no estabelecimento da cultura, os resultados evidenciaram que velocidades inferiores (5 km h^{-1}) ou superiores (9 km h^{-1}) aumentaram a variabilidade operacional, refletindo em menor estabilidade no estande e leve redução na produtividade, enquanto a faixa de 7 km h^{-1} se destacou por favorecer o estabelecimento adequado das plantas.

Por fim, em relação ao terceiro objetivo, que buscava identificar a combinação entre velocidade e densidade de semeadura mais adequada, constatou-se que a variação da densidade de sementes apresentou efeito secundário, reforçando a influência predominante da velocidade. Ainda assim, a associação da densidade de $14 \text{ sementes m}^{-1}$ com a velocidade de 7 km h^{-1} mostrou-se a mais eficiente, conciliando uniformidade de distribuição com maior rendimento produtivo.

Dessa forma, conclui-se que a operação da semeadura na faixa de 7 km h^{-1} representa a condição mais adequada para promover a qualidade da semeadura e maximizar o desempenho produtivo da soja, reforçando a importância da adoção de práticas operacionais adequadas à realidade do solo e da cultura.

REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D. et al. Avaliação Da Distribuição De Sementes Por Uma Semeadora De Anel Interno Rotativo Utilizando Média Móvel Exponencial. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 1, p. 86–95, 2012.
- BASSOI, L. H. et al. **Agricultura De Precisão E Agricultura Digital**. Teccogs: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas, n. 20, 2019.
- BRASIL DE FATO. **Dois terços da soja produzida no Brasil é exportada, e China é maior comprador**. 2024. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2024/12/10/dois-tercos-da-soja-produzida-no-brasil-e-exportada-e-china-e-maior-comprador>. Acesso em: 3 set. 2025.
- CAVALCANTE, E. S. et al. **Estudo Da Capacidade Do Processo De Uma Semeadora Pneumática Analisando A Distribuição Longitudinal De Sementes**. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, p. 60110–60116, 2020.
- CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Panorama do Agro. 2024**. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro>. Acesso em: 3 set. 2025.
- CORTEZ, J. W.; ANGHINONI, M.; ARCOVERDE, S. N. S. **Seed Metering Mechanisms And Tractor-Seeder Forward Speed On Corn Agronomic Components**. *Engenharia Agrícola*, v. 40, p. 61–68, 17 fev. 2020.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números (safra 2022/2023)**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 3 set. 2025.
- KLAVER, P. P. C. **Desenvolvimento De Programas Computacionais Visando A Otimização De Operações Agrícolas Mecanizadas**. 2009.
- LIMA, J. S. de S.; SOUZA, C. M. A. **Efeitos da densidade de semeadura e da velocidade operacional na qualidade da distribuição de sementes de soja**. *Revista Ciência Agronômica*, v. 50, n. 2, p. 230-239, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190027>.

LS TRACTOR. Série PLUS – PLUS90 Cabinado. [Catálogo eletrônico]. Disponível em: https://lstractor.com.br/upload/product_download/190509/plus90-cabinado.pdf. Acesso em: 29 set. 2025.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade.** 3. ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2019. 549 p.

PEÇA, J. O. **Mecanização Agrícola Transmissões Mecânicas Em Máquinas.** Agricultores. Universidade De Évora. 2018.

PEÇA, J. O.; BASSOI, L. H. **Avanços na semeadura mecanizada e seus impactos sobre a uniformidade e produtividade das culturas.** Revista de Ciências Agrárias, v. 40, n. 2, p. 401-410, 2017. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA17045>.

PONTES, L. B.; CAVICHIOLI, F. A. **Agricultura De Precisão.** SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga, v. 5, n. 1, p. 238–250, 22 dez. 2019.

SILVA, R. P. da; CAVICHIOLI, F. A.; MODOLLO, A. J.; OLIVEIRA, E. C. A. de; CORRÊA, I. M. **Influência da velocidade de deslocamento na qualidade da semeadura e na produtividade da soja.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n. 3, p. 196-202, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p196-202>.