


MONITORAMENTO DAS PERDAS DA COLHEITA MECANIZADA DE MILHO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO E ROTAÇÃO DO CILINDRO DA COLHEDORA

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.526172513113>

Lucas Alexandre Swaluk

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

Gesivaldo Ribeiro Silva

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

Ariane Emanuele Dos Reis Rodrigues

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

Henrique Carlos Mognol

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

Armando Lopes De Brito Filho

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

Lucas Augusto Da Silva Gírio

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre

Lincon Oliveira Stefanello

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

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 etapa da colheita mecanizada requer cuidados, visto que durante essa operação ocorrem impactos por fatores externos (como condições climáticas, topografia e formato da área, presença de plantas daninhas, etc.) e internos (teor de água do grão, nutrição da planta e maturação da cultura) que afetam diretamente a produtividade e aumentam as perdas, resultando em redução do lucro e aumento dos custos. Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi monitorar as perdas ocorridas durante a colheita mecanizada de milho em função da velocidade de deslocamento e rotação do cilindro, e assim aplicar técnicas de gestão de qualidade e planos de melhoria para mitigar as perdas durante a colheita e otimizar a operação. O estudo foi conduzido em uma área de cultivo comercial na região oeste do Paraná, no município de Santa Helena. O delineamento experimental adotado foi o Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), e os tratamentos foram definidos com base nas regulagens da colhedora de milho: velocidades de deslocamento (5 e 7 km h⁻¹) e velocidades de rotação do cilindro (600, 700 e 800 rpm – rotação por minuto). A coleta de dados envolveu 15 pontos amostrais por tratamento, totalizando seis tratamentos e 90 pontos amostrais. Após a coleta dos dados, os indicadores de qualidade foram avaliados com base nos tipos de perdas na colheita e nos danos causados ao grão, que incluíram: planta inteira, espiga, grãos inteiros, grãos quebrados e perdas totais (somatório de todas as perdas). Procedeu-se ao processamento e análise dos dados por meio de análise descritiva, cartas de controle de valores individuais e diagrama de Pareto. As cartas de controle e o diagrama de Pareto foram utilizados para monitorar a qualidade operacional do sistema de colheita mecanizada. Quanto aos planos de melhoria, observou-se que, em função da regulagem da colhedora, o tratamento 4 (7 km h⁻¹ e 600 rpm) apresentou mais perdas, enquanto o tratamento 3 (5 km h⁻¹ e 600 rpm) registrou menos perdas, correspondendo a um aumento das perdas de R\$ 91,71 por ha entre o tratamento 4 e o 3. Portanto, concluiu-se que, com o aumento da velocidade de deslocamento combinada com baixa rotação ocasiona maiores perdas. A regulagem indicada para a região foi de 5 km h⁻¹ e 600 rpm.

PALAVRAS-CHAVE: Análise econômica. Cartas de controle. Diagrama de Pareto. Regulagens. *Zea mays* L.

Monitoring losses in mechanized corn harvesting as a function of travel speed and combine harvester cylinder rotation

ABSTRACT: The mechanized harvesting stage requires care since, during this operation, there are impacts from external factors (such as weather conditions, topography and shape of the area, presence of weeds, etc.) and internal factors (water content of the grain, plant nutrition and crop maturity) that directly affect yield crop and increase losses, resulting in reduced profit and increased costs. Therefore,

this study's general aim was to monitor the losses incurred during mechanized corn harvesting as a function of travel speed and cylinder rotation, thus applying quality management techniques and improvement plans to mitigate losses during harvesting and optimize the operation. The study was conducted in a commercial growing area in the western region of Paraná, in Santa Helena city. The experimental design adopted was Statistical Quality Control (SQC), and the treatments were defined based on the settings of the corn harvester: travel speeds (5 and 7 km h⁻¹) and cylinder rotation speeds (600, 700, and 800 rpm - rotation per minute). Data collection involved 15 sample points per treatment, totaling six treatments and 90 sample points. After collecting the data, the quality indicators were assessed based on the types of harvest losses and grain damage, which included: whole plant, cob, whole grains, broken grains and total losses (sum of all losses). The data was processed and analyzed using descriptive analysis, control charts of individual values and Pareto diagrams. These tools, the control charts and the Pareto diagram, played a crucial role in monitoring the operational quality of the mechanized harvesting system. As for the improvement plans, it was observed that, depending on the harvester setting, treatment 4 (7 km h⁻¹ and 600 rpm) showed more losses, while treatment 3 (5 km h⁻¹ and 600 rpm) recorded fewer losses, corresponding to an increase in losses of R\$ 91.71 per ha between treatment 4 and 3. Therefore, it was concluded that an increase in travel speed combined with low rotation leads to greater losses. The recommended setting for the region was 5 km h⁻¹ and 600 rpm.

KEYWORDS: Economic analysis. Control charts. Pareto diagram. Adjustments. *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) apresenta uma notável adaptabilidade, podendo ser cultivado em locais com variadas altitudes, desde regiões de alta montanha até áreas ao nível do mar, tanto em climas temperados quanto tropicais, essa cultura possui significativa importância nutricional para seres humanos e animais, sendo uma fonte rica em aminoácidos, o que contribui para uma alimentação balanceada. (BARROS; CALADO, 2014).

A otimização da produção alimentar em larga escala, visando atender às demandas de consumo populacional, é facilitada pelo uso de sistemas agrícolas mecanizados, esse sistema oferece como vantagem o aumento do desempenho operacional em comparação com métodos manuais, devido principalmente à redução do tempo necessário para a execução das operações (BARROS; CALADO, 2014).

O Brasil tem se destacado no cenário mundial como um potencial celeiro global. No país, a realização de múltiplas safras por ano é viável, o que pode consolidar

sua posição como uma grande potência econômica. No entanto, para maximizar a produção de grãos, é crucial mitigar as perdas tanto na fase pré-colheita quanto durante a colheita (CONAB, 2023).

O propósito da colheita é recolher os grãos cultivados, efetuando a separação da matéria-prima dos resíduos resultantes do processo de colheita, minimizando as perdas de grãos e preservando a máxima qualidade dos mesmos (PORTELLA, 2000). A utilização da mecanização agrícola simplifica significativamente o trabalho do produtor rural, pois agiliza e aumenta a eficiência do processo de colheita na área cultivada. Essa operação oferece diversos benefícios, tais como o monitoramento da produtividade da cultura, a redução dos custos de produção relacionados à contratação de mão de obra, a melhoria da ergonomia das máquinas, proporcionando maior conforto ao operador durante o trabalho no campo (COMETTI, 2012).

A mecanização agrícola é definida como o uso de máquinas e ferramentas mecânicas, bem como de tração animal ou manual, para realizar tarefas que frequentemente requerem considerável esforço físico (COMETTI, 2012).

Durante a colheita mecanizada, ocorrem perdas que constituem como fator crítico a ser mitigado, pois afetam diretamente a produtividade. Quanto maiores forem as perdas, menor será a produtividade. Essas perdas são ocasionadas por diversos fatores, que podem incluir causas naturais (clima, solo, topografia da área e planta), regulagens inadequadas da máquina, presença de plantas daninhas, habilidade do operador, entre outros (EMBRAPA, 2021).

Para minimizar essas perdas, é fundamental garantir que a máquina esteja adequadamente regulada e receba manutenção periódica. Além disso, é crucial que a mão de obra seja qualificada e treinada. A velocidade de deslocamento da colhedora, assim como a rotação do cilindro, deve ser ajustada corretamente para bons resultados (LIMA et al., 2008).

Para aumentar a eficiência da colheita, é essencial minimizar as perdas de matéria-prima (grãos), o que requer manutenção adequada e correta regulagem do maquinário. Este trabalho parte da hipótese de que uma regulagem adequada da velocidade de deslocamento e rotação do cilindro pode reduzir significativamente as perdas durante a colheita. Nesse contexto, foram testadas diversas regulagens para determinar qual delas resulta em menores perdas.

A justificativa para o desenvolvimento deste estudo centra-se na identificação e na redução das perdas de grãos na colheita, contribuindo assim para o aumento da produtividade dos produtores. Isso envolve minimizar a presença de grãos remanescentes no campo, reduzir a emergência de plantas daninhas de cultivos anteriores e maximizar a eficiência e o rendimento da colhedora.

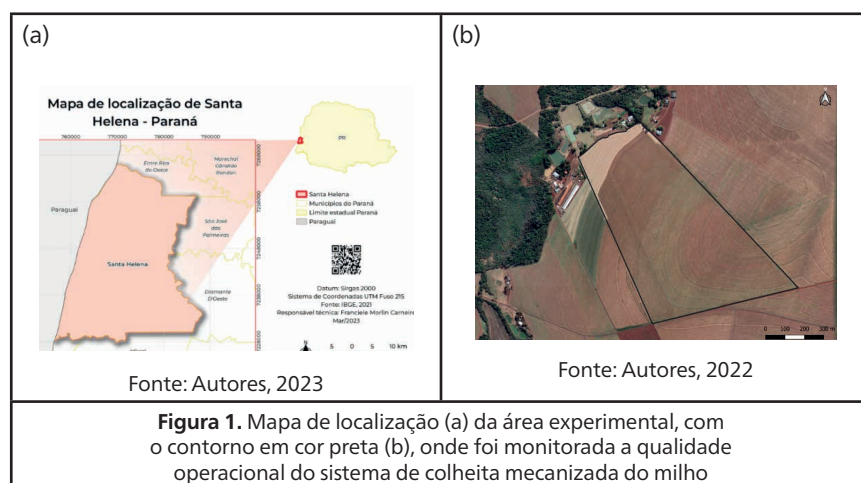
Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi monitorar as perdas ocorridas durante a colheita mecanizada de milho em função da velocidade de deslocamento e rotação do cilindro, e assim aplicar técnicas de gestão de qualidade e planos de melhoria para mitigar as perdas durante a colheita e otimizar a operação. Em complemento, os objetivos específicos deste estudo foram identificar os fatores que influenciaram o aumento das perdas durante a colheita; e avaliar o impacto econômico decorrente das perdas em função dos tratamentos.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

O experimento foi realizado na segunda safra de milho de 2023, em uma área agrícola no município de Santa Helena, na região oeste do Estado do Paraná, situada nas coordenadas geográficas 24°58'26,7''S e 54°21'36,83''O (Figuras 1). O tipo de solo característico da região é o Nitossolo Vermelho Eutrófico (Santos et al., 2018), e a área apresenta um clima subtropical com precipitação anual variando de 1400 mm a 1800 mm. O talhão possui formato retangular e uma declividade de 5%.

A área experimental abrange um total de cinco hectares (Figura 1b). O trabalho foi composto por seis tratamentos, sendo coletadas 15 amostras por tratamento, sendo que cada repetição ocupava uma área de 2 m².



Delineamento experimental

O delineamento experimental foi realizado conforme as premissas básicas do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) (Montgomery, 2016), coletando pontos amostrais ao longo do tempo. Os tratamentos deste trabalho foram definidos com base nas regulagens da colhedora, que incluíram a velocidade de deslocamento (5 e 7 km h⁻¹) e a velocidade de rotação do cilindro (600, 700 e 800 rpm – rotações por minuto), conforme observado na Tabela 1. Foram coletados 15 pontos amostrais por tratamento, totalizando seis tratamentos e 90 pontos amostrais.

| Tratamento | Velocidade de deslocamento | Velocidade de rotação do cilindro |
|------------|----------------------------|-----------------------------------|
| | (km h ⁻¹) | (rpm*) |
| 1 | 5 | 700 |
| 2 | 7 | 700 |
| 3 | 5 | 600 |
| 4 | 7 | 600 |
| 5 | 7 | 800 |
| 6 | 5 | 800 |

*rpm: rotação por minuto

Tabela 1: Regulagens da colhedora de milho adotadas para a avaliação dos tratamentos em função da velocidade de deslocamento (5 e 7 km h⁻¹) e de rotação do cilindro (600, 700 e 800 rpm)

Foram geradas como referências a velocidade de deslocamento e rotação do cilindro que o produtor já utilizava para realizar a colheita de milho, e sendo essas que foram utilizadas para elaboração deste trabalho.

Os pontos amostrais foram coletados a cada 50 m, utilizando uma armação retangular de 2 m² por ponto amostral (Figuras 2, 3a e 3b), essa armação retangular foi realizada pegando o comprimento da plataforma, ou seja, 5 metros de comprimento por 0,40 metros de largura onde obtemos a nossa área amostral de 2 m², um ponto amostral é a coleta que aconteceu dentro dessa armação retangular.

Após a colheita mecanizada do milho, foram coletados todos os tipos de perdas (planta inteira, espiga, grãos inteiros e quebrados, e perdas totais) dentro da armação (Figuras 3c e 3d). As perdas totais foram determinadas pelo somatório de todos os tipos de perdas, que incluíram: planta inteira, espiga, grãos inteiros e grãos quebrados. As perdas de grãos quebrados foram subdivididas em três classes de acordo com o grau de dano: B (baixo), M (médio) e A (alto). Essa classificação refere-se ao nível

de dano, variando desde grãos pouco quebrados (baixo) até grãos extremamente quebrados (alto).

Todas as amostras foram levadas a laboratório, com isso foram separados todos os indicadores de qualidade de forma manual para cada tratamento, e depois pesados separadamente, com todos os dados coletados podemos assim seguir para os gráficos e tabelas presentes neste trabalho.



Figura 2. Trena e armações retangulares utilizadas para coletar as amostras.

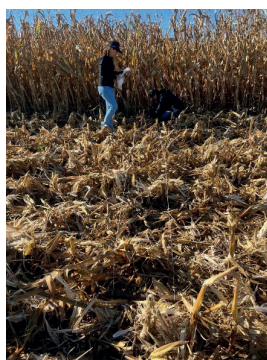
Fonte: Autores, 2023

(a)

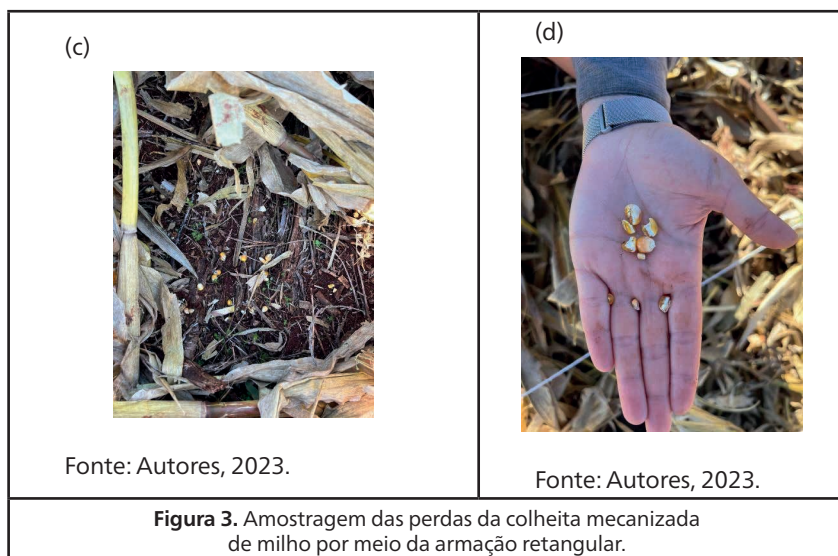


Fonte: Autores, 2023.

(b)

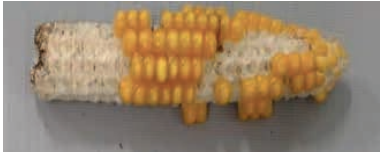





Fonte: Autores, 2023.



Este trabalho apresenta uma nova metodologia proposta para a classificação das perdas observadas na colheita mecanizada do milho, pois na metodologia atual apenas a perda total é observada de forma única, não sabendo qual indicador de qualidade está causando maiores perdas. Na Tabela 2, são detalhados os critérios de classificação dessas perdas. Nas cooperativas e empresas, essa classificação é realizada da seguinte forma: o caminhão chega à balança e a classificação é feita com base em cinco pontos de coleta (amostras da carga). Dessa coleta, pesa-se 0,5 kg e, com essa amostra, determina-se o percentual de teor de água do grão, impureza e grãos avariados.

Os grãos inteiros, parcialmente quebrados e os sabugos ficam na peneira superior, enquanto os grãos quebrados e muito quebrados passam para a peneira inferior, sendo considerados impurezas junto com o solo. Como o sabugo não passa pela peneira superior, ele é retirado manualmente e é considerado impureza. Após a separação, é realizada a pesagem das frações separadamente. Na Figura 4, observam-se os materiais e equipamentos utilizados pelas empresas e cooperativas para a classificação das perdas.

| Indicadores de qualidade* | Tipos de perdas |
|---------------------------|---|
| Planta inteira |  |
| Espiga |  |
| Grão inteiro |  |
| Grão quebrado - B |  |

Grão quebrado – M



Grão quebrado - A



* Grãos quebrados B - nível de dano baixo, grãos quebrados M - nível de dano médio, grãos quebrados A - nível de dano alto.

Tabela 2 Proposta de uma nova metodologia para a classificação dos tipos de perdas na colheita mecanizada do milho

Fonte: Autores, 2024



Figura 4. Peneiras e balança comumente utilizadas por cooperativa/empresa.

Fonte: Autores, 2024

Máquinas e implementos agrícolas

A semeadura foi realizada no dia 10 de fevereiro de 2023, utilizando um trator Massey Ferguson modelo 7180, ano 2011, acoplado a uma semeadora Planti Center modelo Terraçus, com 13 linhas e espaçamento de 0,50 metros.

A semeadura foi direta, ou seja, sem o revolvimento do solo, foi utilizada a cultivar Brevant 2702, a densidade de semeadura foi de 64.000 mil plantas por ha, ou seja, 3,2 plantas por metro linear, a adubação de 5 sacas por ha no sulco de semeadura do adubo 15-15-15, e uma adubação de cobertura de 2 sacas de ureia por ha no estágio V3. Ao decorrer da cultura foram realizadas quatro aplicações de defensivos agrícolas, entre elas: Herbicida no estágio V1, inseticida nos estádios V1, V3, V7 e VT, Fungicida no estágio VT.

A colhedora utilizada durante o monitoramento foi o modelo TC 5090, ano 2018, acoplada a uma plataforma de milho modelo Bocuda, ano 2019, com 10 linhas espaçadas a 0,50 metros entre si.

A colheita ocorreu no dia 15 de julho de 2023, com um teor de água dos grãos de 22,1%, e obteve-se uma produtividade média de 124 sacas por hectare (7.400 kg ha⁻¹). A altura da plataforma em relação a superfície do solo foi de aproximadamente 0,30 metros, o que variou durante os tratamentos foi a velocidade da colhedora e rotação do cilindro, as demais regulagens foram iguais aos demais tratamentos.



Fonte: Autores, 2021



Fonte: Autores, 2023

Figura 5. Colhedora analisada onde foram obtidas as perdas.

Indicadores de qualidade

Os indicadores de qualidade para o monitoramento do sistema mecanizado de colheita de milho foram: planta inteira, espiga, grãos inteiros e quebrados, e perdas totais (Tabela 2). Esses indicadores foram coletados em campo utilizando uma armação retangular de 2 m² (Figura 7) após a passagem da colhedora, conforme as combinações de regulagens para cada tratamento.

Posteriormente, as perdas foram levadas ao laboratório, onde foram separadas conforme a nova proposta de classificação dos tipos de perdas para a cultura do milho, apresentada neste trabalho (Tabela 2). As perdas foram mensuradas em termos de massa, separadamente para cada tipo de perda, conforme apresentado no estudo. A massa dessas perdas foi então corrigida para um teor de água de 13%, e posteriormente os valores corrigidos foram calculados e extrapolados para kg ha⁻¹, sendo transformados em sacas por hectare, considerando que uma saca de milho equivale a 60 kg.

Análise estatística

Para a verificação inicial do comportamento dos dados, foi realizada uma análise descritiva por meio das medidas de localização e dispersão. Para o monitoramento da qualidade do processo, foram utilizadas duas ferramentas de qualidade do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), como cartas de controle de valores individuais e o diagrama de Pareto, com o objetivo de identificar o tratamento com a melhor qualidade operacional e que ocasionou menos perdas. Estas análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Minitab®.

As cartas de controle são compostas pela média aritmética do processo, que neste trabalho foi calculada para cada tratamento avaliado, e pelos limites de controle superior (LSC) e inferior (LIC). Através desses limites, é possível detectar a qualidade operacional, sendo que quanto menor a variabilidade do processo, maior a qualidade e menor a influência de causas especiais, que são erros ou falhas na operação (MONTGOMERY, 2016; NORONHA et al., 2011). Esses limites são calculados por meio das equações 1 e 2, apresentadas a seguir.

| | |
|---------------------------|-----|
| LSC= $\bar{X} + 3.\sigma$ | (1) |
| LIC= $\bar{X} - 3.\sigma$ | (2) |

Em que:

LIC: Limite Inferior de Controle;

LSC: Limite Superior de Controle;

\bar{X} : média aritmética;

σ : desvio-padrão

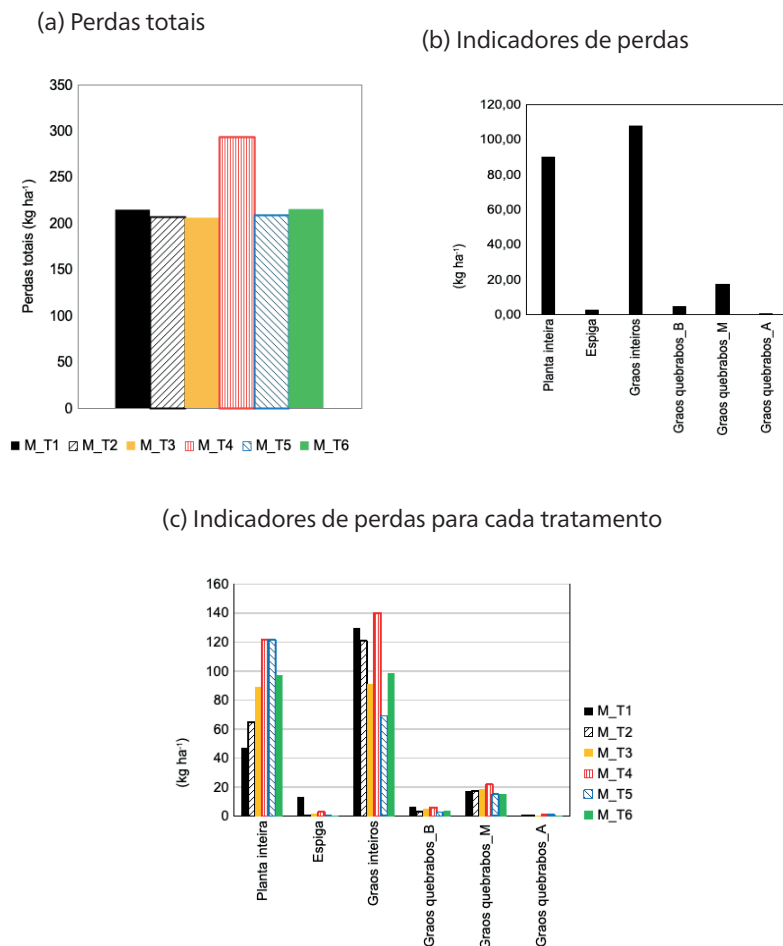
Análise econômica

O cálculo da análise econômica baseou-se na cotação do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) referente ao Indicador de Milho CEPEA/ESALQ - Paraná, do dia 15 de março de 2024, com o preço de R\$ 62,75 por saca de 60 kg do milho.

A análise econômica foi realizada para cada tratamento e para os indicadores de qualidade (planta inteira, espiga, grãos inteiros e quebrados, e perdas totais), sendo calculada para saca/hectare e posteriormente extrapolada para 25, 50, 100, 500 e 1000 hectares.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, observamos na Figura 6a que o tratamento 4 (7 km h⁻¹ e 600 rpm) apresentou os maiores valores de perdas totais em relação aos demais. Por outro lado, os menores valores foram observados no tratamento 3 (5 km h⁻¹ e 600 rpm). A diferença entre esses tratamentos pode ser atribuída à regulação da velocidade de deslocamento da colhedora, pois maiores velocidades de deslocamento resultam em maiores perdas. Foi observado que as menores perdas ocorreram principalmente nos tratamentos com menor velocidade de deslocamento da colhedora e rotação do cilindro. Esse fato também foi corroborado por Lima et al. (2008) ao avaliar o desempenho de colhedoras semimontadas.



T1: Média do tratamento 1; T2: Média do tratamento 2; T3: Média do tratamento 3; T4: Média do tratamento 4; T5: Média do tratamento 5; T6: Média do tratamento 6. Grãos quebrados_B: nível de dano baixo; grãos quebrados M: nível de dano médio; e grãos quebrados_A - nível de dano alto.

Tratamento 1 (5 km h⁻¹ e 700 rpm), Tratamento 2 (7 km h⁻¹ e 700 rpm), Tratamento 3 (5 km h⁻¹ e 600 rpm), Tratamento 4 (7 km h⁻¹ e 600 rpm), Tratamento 5 (7 km h⁻¹ e 800 rpm), Tratamento 6 (5 km h⁻¹ e 800 rpm).

Figura 6. Análise exploratória dos indicadores de qualidade (planta inteira, espiga, grãos inteiros, grãos quebrados e perdas totais) em função dos tratamentos, velocidade de deslocamento (5 e 7 km h⁻¹) e rotação do cilindro (600, 700 e 800 rpm).

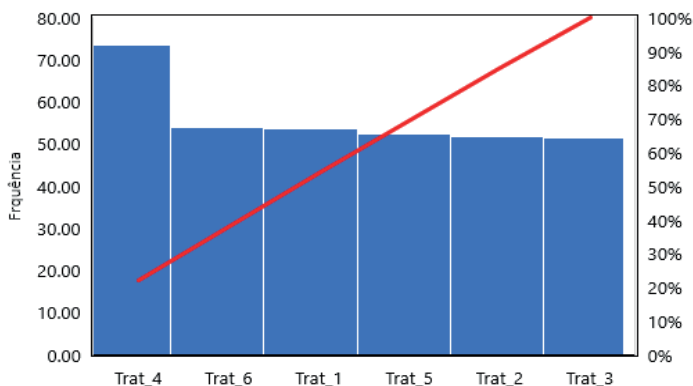
Para o indicador de perdas totais, os tipos de perdas que mais influenciaram foram planta inteira e grãos inteiros, conforme pode ser visto na Figura 6b. Quanto à classificação de perdas pelas cooperativas e empresas, não há consideração quanto à intensidade do dano do grão, sendo apenas consideradas as perdas de espiga, grão inteiro e impureza. O desconto feito por elas ocorre com o material que cai na peneira inferior, como grãos quebrados, solo e sabugos, que são considerados impurezas minerais e vegetais, havendo o desconto da carga total, geralmente em torno de 5%.

Na Figura 6c, identificou-se que os maiores valores de perdas de planta inteira ocorreram nos tratamentos 4 (7 km h^{-1} e 600 rpm) e 5 (7 km h^{-1} e 800 rpm). Para as perdas de grãos inteiros, os tratamentos 4 (7 km h^{-1} e 600 rpm) e 5 (5 km h^{-1} e 600 rpm) foram os que tiveram maiores perdas.

Durante o estudo, observou-se que as perdas de plantas inteiras ocorreram na plataforma de corte devido à alta velocidade de deslocamento, resultando na perda de espigas. As perdas de grãos inteiros ocorreram no sistema de trilha da colhedora devido à combinação de alta velocidade e baixa rotação do cilindro de debulha. Em particular, o tratamento 4 (7 km h^{-1} e 600 rpm) apresentou os maiores índices de perdas, destacando-se como o menos recomendado para a colheita mecanizada de milho.

Esses resultados evidenciam a importância crítica de ajustar adequadamente a velocidade de deslocamento da máquina e a rotação do cilindro para minimizar perdas tanto de plantas inteiras quanto de grãos inteiros durante a colheita mecanizada de milho.

Corroborando ao que foi observado, foi confeccionado o diagrama de Pareto (Figura 7). Nele, foi possível observar, em ordem decrescente, os tratamentos que apresentaram maiores perdas: 4 (7 km h^{-1} e 600 rpm), 5 (7 km h^{-1} e 800 rpm), e 6 (5 km h^{-1} e 800 rpm), sendo o tratamento 4 foi o que teve as maiores perdas. O tratamento com as menores perdas foi o tratamento 3 (5 km h^{-1} e 600 rpm), conforme pode ser visto na Figura 7.



Trat.: Tratamento, Trat_1 (5 km h⁻¹ e 700 rpm), Trat_2 (7 km h⁻¹ e 700 rpm), Trat_3 (5 km h⁻¹ e 600 rpm), Trat_4 (7 km h⁻¹ e 600 rpm), Trat_5 (7 km h⁻¹ e 800 rpm), Trat_6 (5 km h⁻¹ e 800 rpm).

Figura 7. Gráfico de Pareto do indicador de quantidade de perdas totais (kg ha⁻¹) em função da velocidade de deslocamento (5 e 7 km h⁻¹) e rotação do cilindro (600, 700 e 800 rpm).

Ao longo do trabalho, foi possível constatar diferenças entre os tratamentos. No tratamento 3 obteve o menor índice de perdas na colheita, sendo este o mais indicado, visto que o mesmo se tratava de uma velocidade de deslocamento e rotação do cilindro ideais quando comparado com o pior tratamento. No entanto, o tratamento 4 apresentou as maiores perdas, sendo o menos recomendado para a colheita, pois o mesmo não tinha regulagens tão adequadas no qual a alta velocidade de deslocamento com a grande massa encontrada, pois através desta a máquina não fazia a trilha direito jogando mais milho fora, pela falta de separação do grão da palha.

Observou-se que as perdas aumentaram conforme a velocidade de deslocamento da máquina aumentou e a rotação do cilindro diminuiu. Este efeito foi particularmente evidente no tratamento 4, onde a velocidade de deslocamento foi de 7 km h⁻¹ e a rotação do cilindro foi de 600 rpm. Neste caso, a máquina não estava operando com uma rotação adequada para efetivamente debulhar as espigas, resultando na retenção de grãos nas impurezas e, conseqüentemente, em maiores perdas.

Segundo Venegas, Gasparelo e Almeida (2012), a redução da velocidade de deslocamento da colhedora durante a debulha da máquina, especialmente se combinada com baixas rotações do cilindro trilhador, pode diminuir a capacidade de trilha, resultando em perdas por grãos quebrados e impurezas no ato da colheita. Acrescenta-se ainda que a regulagem do cilindro trilhador é uma das principais

causas de perda durante a colheita, pois a maior rotação por minuto resulta em maiores perdas de grãos e aumenta a quantidade de impurezas, como sabugos e grãos quebrados (MANTOVANI, 1989).

O tratamento com o pior resultado, ou seja, as maiores perdas foi o tratamento 4 de 7 km h^{-1} e 600 rpm. Os tratamentos 3 e 4 mesmo estando com a mesma velocidade de rotação de cilindro obtiveram perdas diferentes, isso pode ser explicado devido a diferença da velocidade de deslocamento da colhedora, maiores velocidades de deslocamento combinada com baixas rotação ocasiona maiores perdas.

Ao longo do trabalho, foi possível constatar diferenças entre os tratamentos. No tratamento 3 obteve o menor índice de perdas na colheita, sendo este o mais indicado, visto que o mesmo se tratava de uma velocidade de deslocamento e rotação do cilindro ideais quando comparado com o pior tratamento. No entanto, o tratamento 4 apresentou as maiores perdas, sendo o menos recomendado para a colheita, pois o mesmo não tinha regulagens tão adequadas no qual a alta velocidade de deslocamento com a grande massa encontrada, pois através desta a máquina não fazia a trilha direito jogando mais milho fora, pela falta de separação do grão da palha.

Observou-se que as perdas aumentaram conforme a velocidade de deslocamento da máquina aumentou e a rotação do cilindro diminuiu. Este efeito foi particularmente evidente no tratamento 4, onde a velocidade de deslocamento foi de 7 km h^{-1} e a rotação do cilindro foi de 600 rpm. Neste caso, a máquina não estava operando com uma rotação adequada para efetivamente debulhar as espigas, resultando na retenção de grãos nas impurezas e, conseqüentemente, em maiores perdas.

Segundo Venegas, Gasparelo e Almeida (2012), a redução da velocidade de deslocamento da colhedora durante a debulha da máquina, especialmente se combinada com baixas rotações do cilindro trilhador, pode diminuir a capacidade de trilha, resultando em perdas por grãos quebrados e impurezas no ato da colheita. Acrescenta-se ainda que a regulação do cilindro trilhador é uma das principais causas de perda durante a colheita, pois a maior rotação por minuto resulta em maiores perdas de grãos e aumenta a quantidade de impurezas, como sabugos e grãos quebrados (MANTOVANI, 1989).

O tratamento com o pior resultado, ou seja, as maiores perdas foi o tratamento 4 de 7 km h^{-1} e 600 rpm. Os tratamentos 3 e 4 mesmo estando com a mesma velocidade de rotação de cilindro obtiveram perdas diferentes, isso pode ser explicado devido a diferença da velocidade de deslocamento da colhedora, maiores velocidades de deslocamento combinada com baixas rotação ocasiona maiores perdas.

Os tratamentos 6 e 1 obtiveram perdas semelhantes devido às regulagens semelhantes: o tratamento 6 estava com uma velocidade de deslocamento de 5 km h^{-1} e uma rotação do cilindro de 800 rpm, enquanto o tratamento 1 estava com uma velocidade de 5 km h^{-1} e uma rotação de 700 rpm. Os tratamentos 5 e 2 também apresentaram perdas semelhantes devido a regulagens parecidas: o tratamento 5 estava com uma velocidade de deslocamento de 7 km h^{-1} e uma rotação do cilindro de 800 rpm, e o tratamento 2 estava com uma velocidade de 7 km h^{-1} e uma rotação de 700 rpm. O tratamento que obteve o melhor resultado, ou seja, com menos perdas, foi o tratamento 3, pois estava com regulagens mais adequadas: uma velocidade de 5 km h^{-1} e uma rotação do cilindro de 600 rpm.

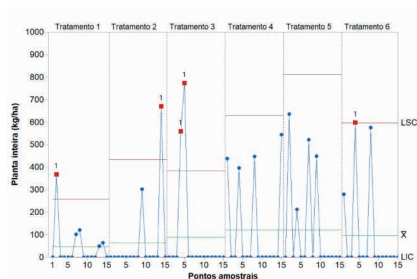
Dentre os fatores que ocasionam perdas durante a colheita mecanizada, incluem-se fatores relacionados ao clima (temperatura e umidade do ar), à planta (maturidade da planta e teor de água do grão), à área (topografia e declividade), à presença de plantas daninhas e à máquina (regulagens e manutenção) (PORTELLA, 2000; SILVA, 2015). Quanto às regulagens, as que merecem mais atenção para a mitigação das perdas são: velocidade de deslocamento da máquina, velocidade e posição do cilindro, fluxo de ar do ventilador e abertura entre cilindro e côncavo, dentre outras (SILVA, 2015). Desta forma, neste trabalho foi demonstrada a importância da regulagem adequada e o quanto isso impacta no aumento dos custos e das perdas.

Monitoramento operacional da colheita mecanizada

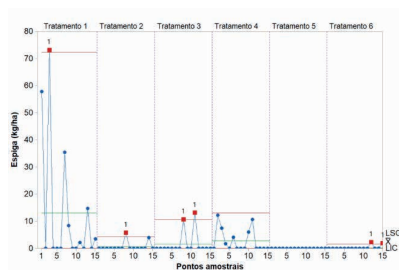
Para o monitoramento das perdas durante a colheita de milho, foram utilizadas cartas de controle de valores individuais (Figura 8). Observou-se que, para o indicador de qualidade “planta inteira” (Figura 8a), houve maior variabilidade no tratamento 5 (5 km h^{-1} e 800 rpm). Isso pode ser explicado pelo fato de que o aumento da velocidade de rotação do cilindro tende a causar maiores perdas. Em relação a esse indicador, os tratamentos que apresentaram maior qualidade operacional e menores médias de perdas foram os tratamentos 1 (5 km h^{-1} e 700 rpm), 2 (7 km h^{-1} e 700 rpm) e 3 (5 km h^{-1} e 600 rpm), conforme observado na Figura 8a.

Quanto ao indicador de qualidade relacionado à perda de espiga (Figura 8b), observou-se que a maior variabilidade do processo ocorreu no tratamento 1 (5 km h^{-1} e 700 rpm). Em relação ao indicador de perda de grãos inteiros (Figura 8c) e grãos quebrados com baixo dano, os tratamentos com menores perdas foram: 4 (7 km h^{-1} e 600 rpm), 1 (5 km h^{-1} e 700 rpm) e 2 (7 km h^{-1} e 700 rpm). Para os indicadores de grãos quebrados com médio dano (Figura 8e), os tratamentos com maior variabilidade foram: 4, 3, 1 e 2. Para o indicador de grãos quebrados com alto dano (Figura 8f), os tratamentos com maior variabilidade foram 1, 4 e 5.

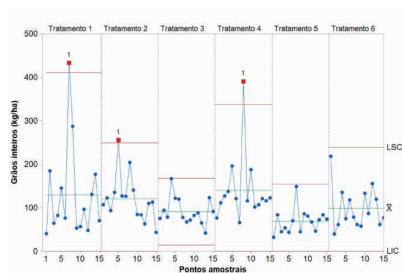
(a)



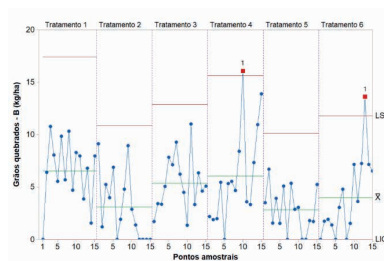
(b)



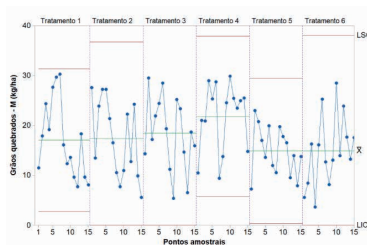
(c)



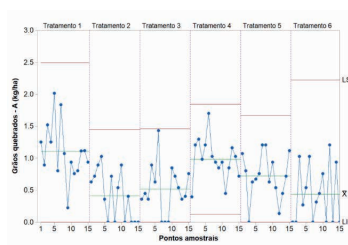
(d)



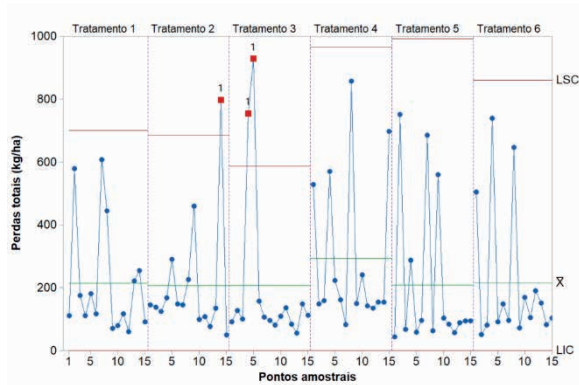
(e)



(f)



(g)



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, \bar{x} : Média aritmética

Tratamento 1 (5 km h⁻¹ e 700 rpm), Tratamento 2 (7 km h⁻¹ e 700 rpm), Tratamento 3 (5 km h⁻¹ e 600 rpm), Tratamento 4 (7 km h⁻¹ e 600 rpm), Tratamento 5 (7 km h⁻¹ e 800 rpm), Tratamento 6 (5 km h⁻¹ e 800 rpm). Grãos quebrados B - nível de dano baixo, grãos quebrados M - nível de dano médio, grãos quebrados A - nível de dano alto.

Figura 8. Carta de controle de valores individuais para os indicadores de qualidade (planta inteira (a); espiga (b); grãos inteiros (c); grãos quebrados: B - nível de dano baixo (d), M - nível de dano médio (e), A - nível de dano alto (f); e perdas totais(g)) em função da velocidade de deslocamento (5 e 7 km h⁻¹) e da rotação do cilindro (600, 700 e 800 rpm).

Para as perdas totais (Figura 8g), o tratamento que apresentou maiores perdas e variabilidade durante o monitoramento do processo foi o tratamento 4. Quanto maior a variabilidade do processo, menor é a qualidade operacional (MONTGOMERY, 2016).

Com base nas observações, o tratamento 4 demonstrou a menor eficiência operacional e as maiores perdas. A configuração da colhedora não proporcionava a separação adequada entre os grãos e a palha, resultando em um desempenho insatisfatório. Portanto, o tratamento 4 não é recomendado para a região oeste do Estado do Paraná.

Análise econômica das perdas da colheita mecanizada de milho

A análise econômica foi baseada no preço do milho, cotado a 62,75 reais por saca de 60 kg (CEPEA/ESALQ, 2024). Na Tabela 3, foi possível observar o impacto da escolha da regulagem adequada, apresentando o cálculo da análise econômica em função dos indicadores de qualidade para apenas um hectare (ha). De forma geral, as maiores perdas ocorreram no tratamento 4. Em contrapartida, o tratamento 3 teve as menores perdas totais, com uma redução de R\$ 91,72 por ha. Este trabalho

destacou a importância da regulação adequada durante a colheita mecanizada, evidenciando o quanto se pode perder com uma má regulação da colhedora.

| Tratamentos* | Perdas da colheita mecanizada de milho (R\$/ha) | | | | | | |
|--------------|---|-----------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| | Planta inteira | Espiga | Grãos inteiros | Grãos quebrados - B | Grãos quebrados - M | Grãos quebrados - A | Perdas Totais |
| 1 | R\$ 49,19 | R\$ 13,60 | R\$ 135,77 | R\$ 6,82 | R\$ 17,86 | R\$ 1,15 | R\$ 224,40 |
| 2 | R\$ 67,86 | R\$ 0,68 | R\$ 126,36 | R\$ 3,23 | R\$ 18,22 | R\$ 0,43 | R\$ 216,79 |
| 3 | R\$ 93,01 | R\$ 1,66 | R\$ 95,27 | R\$ 5,59 | R\$ 19,26 | R\$ 0,54 | R\$ 215,33 |
| 4 | R\$ 127,43 | R\$ 2,93 | R\$ 146,51 | R\$ 6,32 | R\$ 22,82 | R\$ 1,03 | R\$ 307,05 |
| 5 | R\$ 126,99 | R\$ - | R\$ 72,07 | R\$ 2,95 | R\$ 15,57 | R\$ 0,76 | R\$ 218,34 |
| 6 | R\$ 101,50 | R\$ 0,30 | R\$ 103,13 | R\$ 4,17 | R\$ 15,61 | R\$ 0,46 | R\$ 225,17 |

Tratamentos*: Tratamento 1 (5 km h⁻¹ e 700 rpm), Tratamento 2 (7 km h⁻¹ e 700 rpm), Tratamento 3 (5 km h⁻¹ e 600 rpm), Tratamento 4 (7 km h⁻¹ e 600 rpm), Tratamento 5 (7 km h⁻¹ e 800 rpm), Tratamento 6 (5 km h⁻¹ e 800 rpm). Grãos quebrados B - nível de dano baixo, grãos quebrados M - nível de dano médio, grãos quebrados A - nível de dano alto. R\$/ha: Real brasileiro por hectare.

Tabela 3: Análise econômica das perdas da colheita mecanizada de milho em função da velocidade de deslocamento (5 e 7 km h⁻¹) e rotação do cilindro (600, 700 e 800 rpm).

Na Tabela 4, foi realizado o cálculo da análise econômica em função das regulagens e do indicador de qualidade de perdas totais, extrapolando para áreas de 25, 50, 100, 500 e 1.000 hectares. Foi claramente observado como a falta de ajustes adequados impacta negativamente na diminuição dos lucros e no aumento dos custos operacionais.

| Tratamentos* | Perdas da colheita mecanizada de milho (R\$) | | | | | |
|--------------|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | Perdas totais (sc para 1 ha) | Perdas totais (sc para 25 ha) | Perdas totais (sc para 50 ha) | Perdas totais (sc para 100 ha) | Perdas totais (sc para 500 ha) | Perdas totais (sc para 1000 ha) |
| 1 | R\$ 224,40 | R\$ 5.609,88 | R\$ 11.219,77 | R\$ 22.439,53 | R\$ 112.197,67 | R\$ 224.395,33 |
| 2 | R\$ 216,79 | R\$ 5.419,73 | R\$ 10.839,47 | R\$ 21.678,93 | R\$ 108.394,67 | R\$ 216.789,35 |
| 3 | R\$ 215,33 | R\$ 5.383,37 | R\$ 10.766,74 | R\$ 21.533,47 | R\$ 107.667,37 | R\$ 215.334,74 |
| 4 | R\$ 307,05 | R\$ 7.676,23 | R\$ 15.352,46 | R\$ 30.704,91 | R\$ 153.524,57 | R\$ 307.049,14 |
| 5 | R\$ 218,34 | R\$ 5.458,54 | R\$ 10.917,09 | R\$ 21.834,18 | R\$ 109.170,88 | R\$ 218.341,76 |
| 6 | R\$ 225,17 | R\$ 5.629,18 | R\$ 11.258,37 | R\$ 22.516,74 | R\$ 112.583,69 | R\$ 225.167,38 |

Tratamentos*: Tratamento 1 (5 km h⁻¹ e 700 rpm), Tratamento 2 (7 km h⁻¹ e 700 rpm), Tratamento 3 (5 km h⁻¹ e 600 rpm), Tratamento 4 (7 km h⁻¹ e 600 rpm), Tratamento 5 (7 km h⁻¹ e 800 rpm), Tratamento 6 (5 km h⁻¹ e 800 rpm). sc: sacas, ha: hectare, R\$: Real Brasileiro.

Tabela 4: Análise econômica das perdas da colheita mecanizada de milho em função da velocidade de deslocamento (5 e 7 km h⁻¹) e rotação do cilindro (600, 700 e 800 rpm).

Chioderoli et al. (2012) também observaram que, por meio da regulação adequada, foi possível mitigar as perdas durante a colheita mecanizada. O tratamento 4 apresentou as maiores perdas econômicas, corroborando com os demais resultados apresentados anteriormente e demonstrando que este tipo de regulação não pode ser recomendado para os produtores da região oeste do Estado do Paraná. Em contraste, o tratamento 3 mostrou a maior lucratividade com menores perdas totais. Quando comparado o tratamento 3 com o tratamento 4, houve uma redução de perdas de R\$91.714,40 para 1.000 hectares.

Milan e Fernandes (2002) verificaram que, por meio do controle de qualidade do sistema mecanizado, foi possível obter um maior entendimento da variabilidade da operação, permitindo tomadas de decisão mais assertivas para a melhoria da qualidade operacional.

CONCLUSÕES

Após análise deste estudo, conclui-se que o tratamento que demonstrou o melhor desempenho, com menores perdas, foi o tratamento 3, devido às suas regulagens mais adequadas, com uma velocidade de 5 km h⁻¹ e rotação do cilindro de 600 rpm. Por outro lado, o tratamento 4 (7 km h⁻¹ e 600 rpm) mostrou-se menos eficiente, resultando em maiores perdas, sendo assim não recomendado para os produtores da região.

Quanto à análise econômica, o tratamento 4 apresentou a menor lucratividade, enquanto o tratamento 3 foi o mais recomendado, com menores perdas. Resultados como esses são importantes para a determinação de ajustes precisos nas regulagens da colhedora, a fim de minimizar perdas e maximizar a eficiência operacional e econômica na colheita mecanizada do milho.

Além disso, foi desenvolvida uma metodologia de classificação dos tipos de perdas, que facilitou a identificação das perdas que mais impactaram as perdas totais. Esta metodologia proposta neste trabalho ajudou na identificação dos indicadores de qualidade das perdas quantitativas que mais impactaram as perdas totais durante a colheita mecanizada de milho, sendo, neste caso, plantas inteiras e grãos inteiros.

Os produtores da região poderão adotar essa velocidade de deslocamento e rotação do cilindro. Para isso mostraremos primeiramente os dados obtidos através desse trabalho, no qual o tratamento 3 obteve um melhor resultado quando comparado aos demais tratamentos, durante a colheita poderíamos montar uma equipe para coletar esses dados do próprio produtor que demonstrou interesse e assim verificar se o as regulagens que está usando no equipamento são ideais para realizar a colheita.

REFERÊNCIAS

BARROS, J. F.; CALADO C. JOSÉ G. **A Cultura do Milho**. 2014. Disponível em: <<https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta-milho.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2022.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O Milho e o Clima**. 1. ed. Porto Alegre: Emater, 2014

BEZERRA DA SILVA, Luiz Eduardo et al. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1636-1657, 5 jul. 2020.

BISI, P. **Importância da análise de viabilidade econômica para agricultores familiares**. Competências Digitais para Agricultura Familiar, 2017. Disponível em: <https://codaf.tupa.unesp.br/noticias/996-importancia-da-analise-de-viabilidade-economica-para-agricultores-familiares>. Acesso em: 08 jul. 2024.

CHIODEROLI, C. A. et al. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p. 112–121, 22 mar. 2012.

COÊLHO, J. C.; PEREIRA FILHO, I. Milho: Produção e Mercados. **Caderno Setorial ETENE**, v. 6, n. 182, 2021. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/910/1/2021_CDS_182.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2022.

COMETTI, N. N. **Mecanização agrícola**. 1. ed. Curitiba: Ed. do Livro Técnico, 2012.

CONAB. **Conab atualiza a estimativa da safra de grãos 2023/2024, que deve chegar a 316,7 milhões de toneladas**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5258-conab-atualiza-a-estimativa-da-safra-de-graos-2023-2024-que-deve-chegar-a-316-7-milhoes-de-toneladas>>.

CRUZ, J. C. et al. **Manejo da Cultura do Milho**. Sete Alagoas: EMBRAPA, 2006. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490419/1/Circ87.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2022.56

ESALQ/CEPEA **Soja**: Indicador da soja CEPEA/ESALQ – Paraná. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/soja.aspx>>. Acesso em: 31 maio 2024.

LIMA, C. M. D. et al. Desempenho de colhedoras semi montadas para a colheita direta de milho. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 720-729, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000400012>>. Acesso em: 31 out. 2022.

MANTOVANI, Evandro Chartuni et al. **Colheita mecânica do milho**. Campinas: Fundação Cargill. 1989 p. 1-24.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 2, p. 261–266, jun. 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 549p, 2016.

NORONHA R.H.F. et. al. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. Mato Grosso, 2011. **Bragantia**, 70(4): 931-938.

PORTELLA, J. A. **Colheitas de Grãos Mecanizada**: Implementos, manutenção e regulação. 1. ed. Viçosa: Ed. Aprenda Fácil, 2000.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª edição. ed. Brasília- DF: EMBRAPA, 2018. 365 p.

VENEGAS, F.; GASPARELLO, A. V.; ALMEIDA, M. P. DE. Determinação de perdas na colheita mecanizada do milho (*Zea mays* L.) utilizando diferentes regulagens de rotação do cilindro trilhador da colheitadeira. **Ensaios e Ciências Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 16, n. 5, 2012.