



Variabilidade espacial do desempenho operacional de colhedora de soja

Submissão: 06/03/2025

Aceito: 15/09/2025

Hugo Dias Nunes¹, Jorge Wilson Cortez², Pedro José de Souza Comparin³, Gustavo Naves dos Reis⁴¹Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Rodovia Dourados Itahum, km12, Cidade Universitária, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: hugodiasnunes@hotmail.com / <https://orcid.org/0000-0002-6876-4176>²Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Rodovia Dourados Itahum, km12, Cidade Universitária, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: jorgewcortez@gmail.com / <https://orcid.org/0000-0003-1120-719X>³Egresso da Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Rodovia Dourados Itahum, km12, Cidade Universitária, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: pedro_comparin@hotmail.com / <https://orcid.org/0009-0004-1801-0562>⁴Adecoagro Vale do Ivinhema, Ivinhema, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: gnreis@adecoagro.com / <https://orcid.org/0000-0002-6096-8238>Autor para correspondência: Jorge Wilson Cortez – jorgewcortez@gmail.com

Resumo: A Agricultura de Precisão utiliza tecnologias para melhorar a eficiência, aumentar a produtividade e preservar o meio ambiente, sendo fundamental no Brasil, especialmente para a cultura da soja. Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial do desempenho operacional da colhedora de soja em duas localidades na safra 2023/2024. O trabalho foi realizado em áreas comerciais, denominadas de T1 e T2, no município de Campo Grande-MS. A partir do monitor e sensores instalados na colhedora foi possível obter os dados fluxo de colheita (Mg h^{-1}); carga no motor (%); velocidade de deslocamento (km h^{-1}) e capacidade de campo (ha h^{-1}). Os dados foram extraídos utilizando *software* do fabricante e realizado tratamento posterior com auxílio do programa QGIS. O processo de filtragem foi realizado visando eliminação de dados discrepantes e submetidos a interpolação pelo inverso da distância (IDW). Após a interpolação os dados foram reclassificados e realizado o cálculo de área. Os resultados mostraram variabilidade dos dados de desempenho da colhedora na área, e sendo maior para o fluxo de colheita. A filtragem dos dados reduziu o coeficiente de variação, melhorando a precisão.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, mecanização agrícola, colheita mecanizada, eficiência operacional.

1. Introdução

Os dados do último levantamento da safra 2023/2024 revelaram uma produção total de 147.381,8 mil toneladas de soja, representando a segunda maior colheita histórica do Brasil. A área cultivada com a oleaginosa foi estimada em 46.029,8 mil hectares, resultando em uma produtividade média de 3.202 kg ha^{-1} (CONAB, 2024). A demanda global por alimentos aliada à dinâmica constante da agricultura tem impulsionado a busca por métodos mais eficientes e sustentáveis. Diante desse contexto, a Agricultura de Precisão (AP) surge como um paradigma inovador, redimensionando a abordagem convencional da prática agrícola (Silva; Silva-Mann, 2023).

Com a expansão das áreas cultivadas, acelerada pela mecanização da agricultura, o gerenciamento eficaz dos fatores de produção se tornou cada vez mais complexo e pouco viável. Isso ocorreu devido à variabilidade espacial e temporal das grandes áreas de cultivo, já que estudos mostraram que, em diferentes tipos de solo e até mesmo em partes do mesmo terreno, os rendimentos podiam variar conforme as diferenças na aplicação dos fatores de produção (Santi et al., 2016).

A colheita da soja constitui uma fase crucial no ciclo produtivo, sendo um processo determinante para o rendimento global da cultura. Esta operação é executada por meio de maquinários equipados com tecnologias de ponta, que potencializam a eficiência e a precisão na realização da tarefa. Portanto é importante o estudo do desempenho operacional desta atividade agrícola, como o realizado por Silva et al. (2023), analisando a performance de colhedora de soja em dois tipos de cobertura de solo e constataram que a operação em área dessecada resultou em uma redução no consumo energético, favoreceu a manutenção de uma velocidade operacional mais constante e contribuiu para a minimização das perdas internas no sistema de colheita, otimizando a eficiência do processo.

A qualidade da colheita de soja depende de diversos atributos intrínsecos à esta atividade, como a velocidade. Este atributo pode ser estudado e entendido de forma separada, para melhor entendimento, inclusive relacionar com a qualidade da operação em si, como evidenciaram Lima, Silva e Silva (2017) utilizando duas velocidades de trabalho em colhedora de soja e tiveram como resultado que ao realizar aumento de velocidade de 5 para 7 km h^{-1} , as perdas médias foram superiores.

As pesquisas referentes ao estudo da análise de capacidade de campo e carga no motor são limitadas, entretanto, Paixão et al. (2016) citam a importância destes atributos como fator importante para tomadas de decisões importantes sobre a gestão de máquinas, principalmente colhedoras.

Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial do desempenho operacional da colhedora de soja em dois locais na safra 2023/2024.

2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado em duas áreas comerciais, denominadas de T1 com 151,0 ha e T2 com 244,0 ha, localizada no município de Campo Grande-MS. O local situa-se nas coordenadas médias de latitude de -20,832558 S e longitude de -54,671366 W, com altitude média de 466,6 m para o Talhão 1 e 469,8 m para o Talhão 2 (Figura 1).

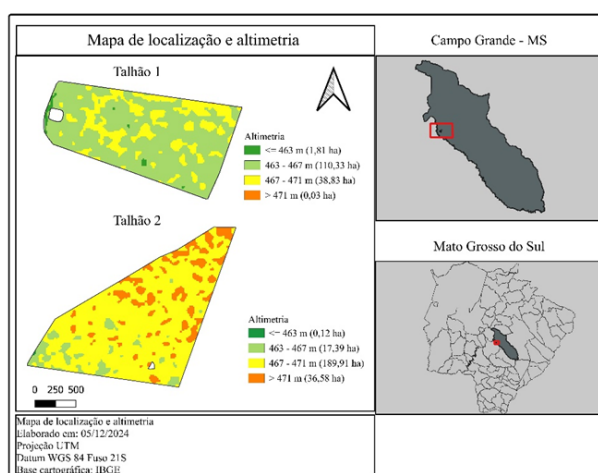


Figura 1 – Mapa de localização e altimetria dos Talhões 1 e 2. Fonte: Elaborado pelo autor (2024) com base cartográfica do IBGE (2024).

O clima é do tipo tropical úmido com inverso seco - Cwa (Köppen, 1948). O solo da área possui dados médios de 16,04% de argila, 77,10% de areia e 6,85% de silte, o que segundo a classificação de Santos et al. (2018) é considerado como textura média.

A cultura da soja foi semeada entre os dias 05/10 e 10/10 de 2023 no T2 e entre os dias 11/10 e 14/10 de 2023 no T1 (Tabela 1).

Tabela 1 – Cultivares de soja semeadas e fertilizante utilizado nos Talhões 1 e 2.

Cultivar	Área (ha)	Dose (kg ha ⁻¹)	Local
BMX 65165 RSF IPRO (COMPACTA)	151,0	51,0	Talhão 1
BMX 65165 RSF IPRO (COMPACTA)	155,1	35,5	Talhão 2
DM 64163 RSF IPRO	88,9	36,0	Talhão 2
Fertilizante 08-40-00	395,0	230,0	Talhão 1 e 2

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As aplicações fitossanitárias visando controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizadas em ambas as áreas com base nas recomendações agrônomicas.

A colheita foi realizada com colhedora New Holland modelo CR 7.90, com rotores de 22” e comprimento de 2,638 m, capacidade do graneleiro de 9531 kg, e plataforma do tipo drapper de 40 pés. A linha CR possui monitoramento de colheita, composto pelo sensor de umidade, de produtividade e a antena de GNSS (NEW HOLLAND, 2025). O monitor da colhedora é equipado com sensor de massa, monitor e receptor GNSS com capacidade de coleta de dados a cada 1 segundo de trabalho. Os dados foram extraídos utilizando *software* do fabricante e realizado tratamento posterior com auxílio do programa QGIS (2024). A colheita foi realizada no período entre 25 e 26/01/24.

A partir do monitor e sensores instalados na colhedora foi possível obter os dados de fluxo de colheita (Mg h⁻¹); carga no motor (%); velocidade de deslocamento (km h⁻¹) e capacidade de campo (ha h⁻¹).

Para uso dos dados foi feito a filtragem dos dados visando eliminação de dados discrepantes (“outliers”) da massa de dados gerados pela colhedora.

Os dados filtrados e interpolados foram submetidos à análise estatística descritiva, obtendo-se medidas de posição (mínimo, média e máximo) e de dispersão (desvio padrão, coeficientes de variação (CV%), assimetria e de curtose. A dispersão relativa dos dados, fornecida pelos valores de coeficiente de variação (CV%), foram classificadas como baixa quando CV for inferior a 10% (alta precisão), média quando o CV estiver entre 10% e 20% (boa precisão), alta de 20% a 30% (baixa precisão) e muito alta com CV maior que 30% (baixíssima precisão) (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

A hipótese de normalidade dos dados filtrados e interpolados foi testada pelo teste de Ryan Joiner (W, $p < 0,05$), sendo considerados como distribuição normal os dados que obtiveram p -valor $> 0,05$.

Os dados foram submetidos a interpolação pelo inverso da distância (IDW) com o algoritmo do QGIS (QGIS, 2024) “Interpolação IDW”. Após a interpolação os dados foram reclassificados conforme as legendas propostas e realizado o cálculo de área com o comando “r.report” do Grass do QGIS.

As correlações foram aplicadas aos valores filtrados dos dados de desempenho da colhedora e determinadas por meio de correlação simples de Pearson ($p < 0,05$). Para a interpretação do grau de correlação (R^2) seguiu-se a classificação de Callegari-Jacques (2011) onde: nula se igual a zero, fraca entre zero e 0,3, regular entre 0,3 a 0,6, forte entre 0,6 e 0,9, muito forte entre 0,9 e 1,0 e absoluta se igual a 1,0.



3. Resultados e Discussão

Os valores mínimo, médio e máximo para os atributos relacionados ao desempenho da colhedora (Tabela 2) apresentaram proximidade entre si, tanto para dados após filtragem como após interpolação em ambos os talhões.

Tabela 2 – Estatística descritiva dos atributos de desempenho da colhedora de soja.

Talhão 1								
Atributo	Mínimo	Média	Máximo	Dp ¹	CV ²	Cs ³	Ck ⁴	RJ ⁵
Dados originais								
FC	0,03	28,07	58,67	10,15	36,16	-0,47	0,13	<0,01
CM	30,00	74,83	116,00	9,86	13,18	-0,27	0,43	<0,01
V	0,07	6,13	65,55	1,29	21,19	1,11	36,86	<0,01
CC	0,007	6,46	76,48	1,82	28,21	-0,29	13,02	<0,01
Após filtragem								
FC	2,96	29,96	57,90	8,38	27,97	-0,23	0,07	<0,01
CM	35,00	75,99	116,00	8,99	11,83	-0,17	0,52	<0,01
V	3,00	6,03	7,99	0,98	16,25	-0,27	-0,48	<0,01
CC	2,04	6,81	9,59	1,34	19,68	-0,27	-0,44	<0,01
Após interpolação								
FC	2,61	30,12	50,48	4,99	16,57	-0,32	1,39	<0,01
CM	47,22	76,30	97,33	4,85	6,36	-0,46	1,39	<0,01
V	3,51	6,14	7,93	0,61	9,93	-0,28	-0,04	<0,01
CC	2,07	7,00	10,65	0,85	12,14	-0,13	0,40	<0,01
Talhão 2								
Dados originais								
FC	0,03	26,17	52,54	9,47	36,19	-0,58	0,01	<0,01
CM	36,00	75,35	117,00	10,30	13,68	-0,11	0,10	<0,01
V	0,09	5,84	151,44	0,99	16,99	10,07	1,189	<0,01
CC	0,002	6,18	73,57	1,54	24,96	-0,36	24,01	<0,01
Após filtragem								
FC	2,95	27,83	52,54	7,75	27,85	-0,30	-0,06	<0,01
CM	36,00	76,80	117,00	9,41	12,25	-0,01	0,30	<0,01
V	3,00	5,81	9,00	0,79	13,60	-0,13	0,23	<0,01
CC	2,18	6,51	10,54	1,07	16,44	-0,48	0,32	<0,01
Após interpolação								
FC	3,79	27,76	48,48	4,45	16,03	-0,60	1,41	<0,01
CM	50,72	76,11	102,9	5,67	7,45	-0,23	0,67	<0,01
V	3,39	5,85	8,03	0,44	7,52	-0,26	0,91	<0,01
CC	1,87	6,56	9,16	0,59	8,99	-0,70	1,62	<0,01

¹DP: Desvio padrão; ²CV%: Coeficiente de variação; ³Cs: Coeficiente de assimetria; ⁴Ck: Coeficiente de curtose; ⁵Teste RJ: Teste de Ryan Joiner para distribuição normal, onde (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada. FC - Fluxo de colheita (Mg h^{-1}); CM - Carga no motor (%); V - Velocidade de deslocamento (km h^{-1}); CC - Capacidade de campo (ha h^{-1}). Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A velocidade de operação das colhedoras de cana-de-açúcar é um fator crucial que influencia diretamente o desempenho operacional, o consumo de combustível e a qualidade da colheita.

Para T1 e T2, a velocidade média após a interpolação foi de 6,14 e 5,85 km h^{-1} , respectivamente. Os valores estão dentro da faixa considerada ideal de trabalho, citada por Zandonadi e Ruffato (2021), afirmando que seria de 4 a 6 km h^{-1} . Ademais, perdas extremas de 120 kg ha^{-1} foram observadas em velocidades altas, combinada com alta umidade dos grãos, contudo, neste trabalho, esta perda correspondeu a apenas 7%.

A velocidade média de trabalho em colheita realizada em 3 dias em estudo realizado por Ferreira et al. (2021) foram de 6,31; 5,84 e 6,03 km h^{-1} , valores similares ao encontrado na presente pesquisa. E ainda reforçaram que a velocidade ideal para colheita é de 6 km h^{-1} . Nesta mesma pesquisa, os autores tiveram como resultado uma capacidade de campo operacional média de 4,34 ha h^{-1} , sendo a maior ocorrida no primeiro dia de colheita, sendo 5,84 ha h^{-1} . O valor médio alcançado na presente pesquisa foi de 7 ha h^{-1} para T1 e 6,56 ha h^{-1} para T2.

Os dados originais (Tabela 2), em ambos os talhões, apresentaram valores discrepantes em uma operação de colheita de soja, o que resultou em coeficiente de variação (CV) muito alto em T1 para fluxo de colheita, médio para carga no motor e alto para velocidade e capacidade de campo. Já na área T2, os dados originais referentes ao CV foram classificados de forma igual ao T1, exceto para o atributo velocidade (V), sendo médio (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Para os dados após filtragem (Tabela



2), no T1, apresentaram como CV médio nos atributos carga no motor, velocidade e capacidade de campo, conferindo boa precisão, e para fluxo de colheita a precisão foi considerada baixa.

Na análise do CV após interpolação (Tabela 2), revelou comportamento distinto comparados com dados após filtragem, para ambos os talhões. Em ambos os talhões, o CV foi classificado como médio para fluxo de carga e baixo para carga no motor e velocidade, conferindo boa precisão e alta precisão e apresentando diferença apenas no atributo capacidade de campo, sendo de CV médio para o T1 (boa precisão) e baixo para o T2 (alta precisão), segundo Pimentel-Gomes; Garcia (2002).

A análise de assimetria do conjunto de dados (Cs) revelou coeficiente negativo para ambas situações (Tabela 2), tanto para dados após filtragem como para após interpolação, em ambos os talhões. O coeficiente de assimetria negativo indica que a distribuição é assimétrica à esquerda. Isso significa que ocorre uma concentração de dados a esquerda da distribuição.

A avaliação da concentração ou dispersão dos dados em relação à média (Tabela 2), através do coeficiente de curtose (Ck), revelou curtose leptocúrtica na maior parte dos atributos do desempenho da colhedora, portanto, tendo uma maior concentração dos dados em torno da média, e consequentemente, uma menor variabilidade. Os dados após filtragem no T1, apresentaram para velocidade e capacidade de campo coeficiente de curtose negativos, sendo de comportamento platocúrtica, significando que os dados se encontram mais espalhados, indicando uma maior variabilidade. No atributo velocidade, para os dados após interpolação, obteve o mesmo comportamento. No T2, o atributo fluxo de carga apresentou comportamento de curtose platocúrtica nos dados após filtragem.

O teste estatístico de Ryan Joiner (Tabela 2) demonstrou valores de p inferior a 0,01 indicando que há evidência forte contra a hipótese nula. Isso significa que os resultados observados são estatisticamente significativos indicando a falta de normalidade dos dados.

Nos mapas de variabilidade do FC para os T1 e T2 (Figura 2), ocorre que na maior área foi encontrada com intervalo de 20 a 30 Mg h^{-1} . No T1, essa área corresponde a 69,42 ha, enquanto no T2, ocupa 156,25 ha. As menores áreas, com valores abaixo de 20 Mg h^{-1} , localizam-se nas bordas de ambos os talhões, sendo de 4,50 ha no Talhão 1 e 12,93 ha no Talhão 2. Esses resultados indicam que as bordas apresentam características que afetam negativamente a produtividade.

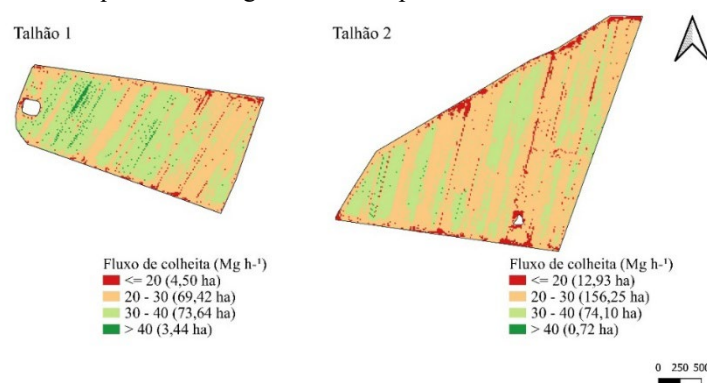


Figura 2 – Variabilidade espacial do Fluxo de colheita. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Esse atributo descreve a quantidade de grãos colhidos por hectare. A análise desse parâmetro é crucial para medir a eficiência da colheita, aprimorar a produtividade e minimizar perdas. Garantir um fluxo adequado é essencial para maximizar o rendimento da colheita. Além disso, otimizar o fluxo de carga também facilita o dimensionamento correto de toda a logística, como a frota de caminhões para escoamento da produção, ajudando a evitar atrasos no transporte.

Nos mapas de variabilidade de CM para as áreas de T1 e T2 (Figura 3), observou-se que a maior área foi encontrada no intervalo de 70 a 80%, com 103,79 ha no T1 e 145,55 ha no T2. A menor CM, abaixo ou igual a 60%, foi registrada em áreas de 0,66 ha no T1 e 1,27 ha no T2. Essas menores áreas de carga no motor coincidem com as regiões de menor FC, localizadas nas bordas de ambos os talhões.

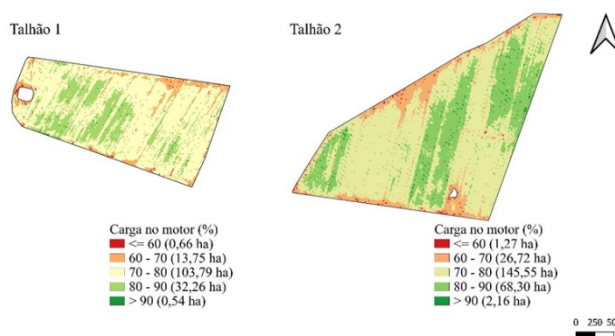


Figura 3 – Variabilidade espacial da Carga no motor. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).



A colhedora utilizada neste trabalho conta com um sistema de monitoramento que possibilita ao operador acompanhar a carga do motor em tempo real, o que facilita ajustes na operação para melhorar a eficiência e prevenir sobrecargas. Embora os detalhes precisos sobre a carga do motor em porcentagem não estejam disponíveis nos materiais consultados, o monitoramento constante garante um controle eficaz do uso de potência.

Embora haja poucos estudos específicos sobre esse atributo, a carga no motor indica a potência utilizada em comparação à capacidade máxima do motor. A monitoração dessa carga é crucial para melhorar o desempenho da máquina, prevenindo sobrecargas que possam comprometer a integridade do motor. Manter a carga em níveis adequados assegura maior eficiência, redução de consumo de combustível e maior vida útil do motor.

Nos mapas de variabilidade espacial referente ao atributo V (Figura 4), o T1 apresentou uma maior área no nível de 6 a 7 km h⁻¹, com 86,11 ha, enquanto o T2 destacou-se com maior área no nível de 5 a 6 km h⁻¹, com 135,03 ha. Além disso, o T1 exibiu faixas bem delimitadas na velocidade de 4 a 5 km h⁻¹, somando 5,42 ha, enquanto o T2 apresentou uma área de 7,98 ha na mesma faixa de velocidade, distribuída de forma pontual. Jasper et al. (2021) obtiveram resultados médios de velocidade de operação de duas colhedoras de soja, que apresentaram valores de 5,07 km h⁻¹ para a colhedora com rotor duplo e 4,98 km h⁻¹ para a colhedora axial de rotor único, com uma diferença estatisticamente significativa entre os dois tipos de máquinas. Essa discrepância nas velocidades pode ser atribuída a características específicas de projeto e funcionamento de cada tipo de colhedora. A maior velocidade observada na colhedora de rotor duplo está diretamente associada à configuração de seus rotores, com diâmetro menor e maior rotação, que geram uma força centrífuga mais eficiente no processo de trilha, o que pode proporcionar vantagens operacionais em termos de produtividade.

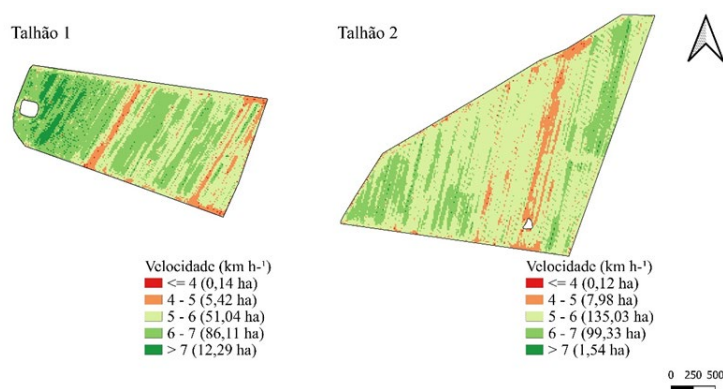


Figura 4 – Variabilidade espacial da Velocidade. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Carreira et al. (2024), em pesquisa analítica sobre a colheita mecanizada de soja na América do Sul, citaram sobre o atributo velocidade na operação de colheita, em que velocidades superiores a 5 km h⁻¹ não geraram aumento relevante nas perdas de grãos. Ademais, diversas ações podem ser adotadas para minimizar perdas, capacitar operadores e ajuste correto da colhedora são essenciais.

Nos mapas de variabilidade espacial referente à CC (Figura 5), o T1 apresentou uma maior área na faixa de 7 a 9 ha h⁻¹, com 76,66 ha, já o T2 se destacou na faixa de 5 a 7 ha h⁻¹, com 180,94 ha. Alguns fatores podem ter contribuído para esta discreta diferença de produção, como condições de cobertura de solo e características topográficas pontuais, afetando o rendimento operacional da colhedora. Essas hipóteses ajudam a explicar como as diferenças nas condições ambientais, de manejo e de relevo podem impactar a velocidade e a capacidade operacional nos dois talhões.

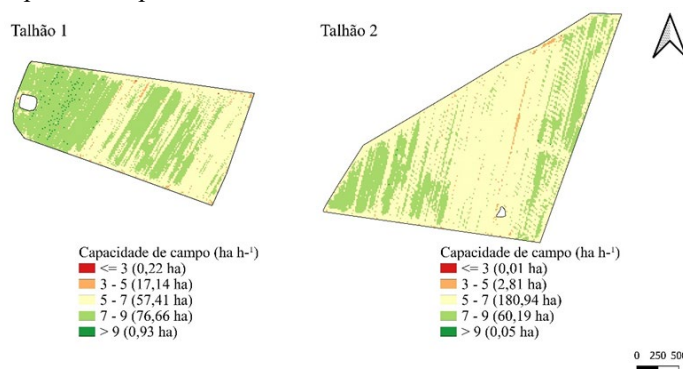


Figura 5 – Variabilidade espacial da Capacidade de campo. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).



Com o observado nos mapas de variabilidade de CC, as faixas de trabalho em ambos os talhões foram distintas. Em trabalho realizado por Jasper et al. (2021), os autores obtiveram valores estatisticamente iguais para este atributo, sendo de 3,4 ha h⁻¹, valor que para o atual estudo está na faixa de produção de 17,14 ha para o T1 e 2,81 ha para o T2, sendo de baixa participação no universo total de cada área, correspondendo apenas 11,05% e 1,15%; respectivamente.

Samogim et al. (2020) em pesquisa comparando dois tipos de plataforma de colhedora de soja, observaram que o sistema de esteira transportadora teve maior capacidade de campo, sendo superior à da plataforma com condutor helicoidal, devido ao fato de possuir uma plataforma 1,5 m maior, o que reduz o tempo necessário para a colheita do material no campo. Além disso, a colhedora com esteira transportadora, operando a uma velocidade de 4 km h⁻¹, apresentou um rendimento 0,5 ha h⁻¹ superior ao da colhedora com condutor helicoidal, já na velocidade mais alta de 7 km h⁻¹, o rendimento foi 0,9 ha h⁻¹ maior em comparação à colhedora com condutor helicoidal. Como neste trabalho as faixas de maior CC estão relacionadas com as maiores V de operação.

A correlação das variáveis revelou no T1 e T2 (Tabela 3), ser de grau forte (CALLEGARI-JACQUES, 2011) para fluxo de colheita (FC) x carga no motor (CM), FC x CC (capacidade de campo) e V (velocidade) x CC.

Tabela 3 – Correlação de Pearson e p-valor dos atributos de desempenho da colhedora de soja.

Talhão 1			
Atributo	FC	CM	V
CM	0,63	-	-
V	0,52	0,33	-
CC	0,68	0,46	0,90
Talhão 2			
Atributo	FC	CM	V
CM	0,64	-	-
V	0,46	0,22	-
CC	0,64	0,35	0,80

p-valor = 0,00. FC - Fluxo de colheita (Mg h⁻¹); CM - Carga no motor (%); V - Velocidade de deslocamento (km h⁻¹); CC - Capacidade de campo (ha h⁻¹). Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As correlações entre os atributos no T1 e T2 indicam que mudanças em um parâmetro impactam diretamente outros aspectos do desempenho da colhedora. A forte correlação entre o FC e CM sugere que, com o aumento do FC, a CM também cresce, exigindo mais potência da máquina. Da mesma forma, o FC está fortemente relacionado à capacidade de campo CC, indicando que maior fluxo de colheita permite maior área colhida. A correlação entre a V e CC sugere que o aumento da velocidade de operação melhora a capacidade da colheita. Esses resultados destacam a interdependência dos fatores, que podem ser ajustados para otimizar o desempenho da colhedora.

4. Conclusão

As avaliações das variabilidades espaciais evidenciaram diferenças significativas entre as áreas, com destaque para o fluxo de colheita, que apresentou maior variação espacial. Os mapas gerados permitiram identificar padrões de desempenho, especialmente nas bordas dos talhões, onde se concentraram os menores valores dos atributos analisados. O tratamento dos dados por meio de filtragem e interpolação contribuiu para a redução dos coeficientes de variação, aumentando a precisão das análises. A distribuição estatística dos dados, em sua maioria assimétrica e leptocúrtica, indicou concentração em torno da média, reforçando a confiabilidade dos resultados. As correlações observadas entre os parâmetros operacionais confirmam a interdependência entre eles, sendo o fluxo de colheita positivamente associado à carga no motor e à capacidade de campo, além da influência da velocidade sobre o rendimento operacional. Esses resultados demonstram que o monitoramento espacial detalhado é uma ferramenta eficaz para diagnosticar variações de desempenho, subsidiando ações de manejo que visem à maior eficiência e uniformidade na colheita mecanizada da soja.

Agradecimentos: A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela bolsa de Doutorado do primeiro autor.

5. Referências

- CALLEGARI-JAQUES, S. M. Correlação linear simples. Bioestatística: Princípios e aplicações. 1 ed. Artmed: Oficina de textos, 2011. p. 84-93.
- CARRERA, V. S. et al. A systematic and meta-analytical review of soybean mechanized harvesting in South America. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 28: 2024.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> Acesso em: 04 fev. 2025.
- FERREIRA, F. M.; et al. Tempos e movimentos para capacidade operacional e perdas na colheita de soja. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 12: 23-34, 2021.
- GELAIN, E. et al. Variabilidade espacial e correlação dos atributos do solo com produtividade do milho e da soja. Revista Nativa, 9: 536-543, 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Bases cartográficas contínuas - Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-



- mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads >. Acesso em 04 fev. 2024.
- JASPER, S. P. et al. Operational performance and energy efficiency of axial harvesters with single and double rotor systems in soybean seed harvest. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, 45: 1981-1829, 2021.
- KOPPEN, W. P. *Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra*. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.
- LIMA, F. B. F.; SILVA, M. A. F.; SILVA, R. P. da. Quality of mechanical soybean harvesting at two travel speeds. *Revista Engenharia Agrícola*, 37: 1171-1182, 2017.
- NEW HOLLAND. CR: CR 7.90 I CR 8.90 I CR 9.90 | CR 10.90. Disponível em: < <https://cnhi-p-001-delivery.sitecorecontenthub.cloud/api/public/content/3391f14d02eb4d85aafb3daaa88d9bb1?v=85bf8c7f> >. Acesso em: 11 de fev. 2025
- PAIXÃO, C. S. S. et al. Efficiency and losses in mechanical harvesting of soybeans due to the plots format. *Australian Journal of Crop Science*, 10: 765-770, 2016.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais*. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- QGIS.org. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. Disponível em:<https://qgis.org/pt_BR/site/index.html>. Acesso em 04 fev. 2024.
- SAMOGIM, E. M. et al. Desempenho de dois tipos de plataforma de colhedora de soja. *Scientific Electronic Archives*, 13: 1-5, 2020.
- SANTI, A. L. et al. *Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul*. 1. ed. Santa Maria, RS: CESPOL Publicações, 2016. 309 p.
- SANTOS, H. G. et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- SCHWAMBACH, D. A. et al. Variability of soybean and corn yield and soil texture in the generation of management zones. *Energia na Agricultura*, 36: 335-347, 2021.
- SILVA, W. S. et al. Colheita mecanizada de soja em função da plataforma de corte em área com e sem dessecação. *Cientific@ Multidisciplinary Journal*, 10: 1-9, 2023.
- SILVA, W. V. R. da.; SILVA-MANN, R. *Transformações Na Agricultura: Uma Abordagem Crítica Sobre A Agricultura De Precisão*. *IOSR Journal of Business and Management*, 25: 37-50, 2023.
- TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S.; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. *Revista Científica Eletrônica de XIX da FAEF*, 35: 1-9, 2019.
- ZANDONADI, R. S.; RUFFATO, S. Colheita mecanizada de soja no Mato Grosso: Perdas devido ao desempenho das colhedoras e aspectos operacionais. *Research, Society and Development*, 10: 2021.