



GABRIEL HENRIQUE DE OLIVEIRA

**TELEMETRIA E CONTROLE OPERACIONAL DE
SEMEADURA DE ALGODÃO APLICADOS À AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO DE OPERADORES AGRÍCOLAS**

**LAVRAS – MG
2023**

GABRIEL HENRIQUE DE OLIVEIRA

**TELEMETRIA E CONTROLE OPERACIONAL DE
SEMEADURA DE ALGODÃO APLICADOS À AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO DE OPERADORES AGRÍCOLAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso
de Engenharia Agrícola, para a obtenção do
título de Bacharel.

Aldir Carpes Marques Filho - DEA

Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

GABRIEL HENRIQUE DE OLIVEIRA

**TELEMETRIA E CONTROLE OPERACIONAL DE
SEMEADURA DE ALGODÃO APLICADOS À AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO DE OPERADORES AGRÍCOLAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso
de Engenharia Agrícola, para a obtenção do
título de Bacharel.

APROVADO em xx de dezembro de 2023.

Dr. Aldir Carpes Marques Filho, Universidade Federal de Lavras

Dr. Rafael de Oliveira Faria, Universidade Federal de Lavras

Dr. Arthur Caldas Lopes, Universidade Federal de Goiás

Aldir Carpes Marques Filho - DEA

Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

RESUMO

A agricultura de precisão tem contribuído para o incremento da eficiência do processo produtivo agrícola. Novas máquinas agrícolas, equipadas com sensores e dispositivos de controle operacional em tempo real, permitem que diversas funcionalidades operacionais sejam monitoradas e ajustadas via telemetria. Estes sistemas, associados a dispositivos de georreferenciamento, permitem a análise operacionais de variáveis diversas, desde a temperatura e rotação do motor, consumo de combustível, torque, qualidade operacional do conjunto trator-implemento, entre outros. No entanto, o gerenciamento das informações geradas pelas máquinas tornou-se um desafio, visto que a tomada de decisão tornou-se mais complexa e multidisciplinar. O objetivo deste estudo foi avaliar os sistemas de coleta de dados operacionais na semeadura de algodão, aplicados na avaliação de eficiência de operadores agrícolas. Foram utilizados dados de plataformas de monitoramento e telemetria instalados em um conjunto trator-semeadora durante a operação de semeadura do algodão em áreas agrícolas homogêneas. Avaliou-se o desempenho de dois operadores, Op1 e Op2, com níveis distintos de capacitação e experiência, sendo Operador Op1 com 10 anos de experiência e o Op2 com 2 anos de experiência na atividade agrícola. O desempenho foi determinado em função de tempos efetivos de trabalho, tempos improdutivos, consumo de combustível e eficiências operacionais. O delineamento experimental foi completamente casualizado (DIC) e os dados passaram por testes de normalidade, análise de variância e quando aplicável, teste de Tukey à 5% de probabilidade. A avaliação dos dados de telemetria e sistema de controle de semeadura permitiram identificar as diferenças de desempenho entre dois operadores. Os resultados evidenciaram que o Operador Op1 apresentou maior média de eficiência operacional em relação ao Op2. O consumo de combustível foi reduzido na operação que contou com o operador Op1. Nossos resultados evidenciaram que a capacitação dos operadores torna-se uma ferramenta fundamental para a otimização da eficiência do processo agrícola. Este estudo abre novas frentes de investigação para aplicação dos dados de telemetria e sistemas de controle de máquinas, na tomada de decisão relacionada à qualidade operacional na agricultura de precisão.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão; Piloto Automático; GNSS; Monitoramento; Mecanização; Eficiência.

ABSTRACT

Precision agriculture has been enhancing the efficiency of the agricultural production process. New agricultural machinery, equipped with sensors and real-time operational control devices, allows various operational functionalities to be monitored and adjusted via telemetry. These systems, combined with georeferencing devices, enable the operational analysis of various variables, from engine temperature and rotation to fuel consumption and torque, as well as the operational quality of the tractor-implement set, among others. However, managing the information generated by the machines has become a challenge, as decision-making has become more complex and multidisciplinary. The aim of this study was to evaluate operational data collection systems in cotton sowing, applied to the efficiency evaluation of agricultural operators. Data from monitoring and telemetry platforms installed in a tractor-seeder set during the cotton sowing operation in homogeneous agricultural areas were used. The performance of two operators, Op1 and Op2, with different levels of training and experience, was evaluated, with Operator Op1 having 10 years of experience and Op2 having 2 years of experience in agricultural activity. Performance was determined based on effective working times, unproductive times, fuel consumption, and operational efficiencies. The experimental design was completely randomized (CRD), and the data underwent tests of normality, analysis of variance, and when applicable, Tukey's test at 5% probability. The assessment of telemetry data and seed control systems allowed the identification of performance differences between the two operators. The results showed that Operator Op1 had a higher average operational efficiency than Op2. Fuel consumption was reduced in the operation with Operator Op1. Our results showed that the training of operators becomes a fundamental tool for optimizing the efficiency of the agricultural process. This study opens new research fronts for the application of telemetry data and machine control systems in decision-making related to operational quality in precision agriculture.

Keywords: Precision Agriculture; Autopilot; GNSS; Monitoring; Mechanization; Efficiency.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 6 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 7 |
| 2.1 Agricultura de Precisão e sistemas de telemetria em máquinas | 7 |
| 2.2 Conceitos de eficiência operacional na Mecanização Agrícola | 9 |
| 2.3 Fatores que afetam a eficiência operacional | 11 |
| 2.4 Importância da capacitação de operadores para aumento da eficiência de operações | 12 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 15 |
| 3.1 Descrição das áreas experimentais | 15 |
| 3.2 Maquinaria/Equipamentos utilizados | 15 |
| 3.3 Coleta e análise dos dados | 17 |
| 3.4 Perfil dos operadores | 17 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 19 |
| 5 CONCLUSÕES | 30 |
| REFERÊNCIAS | 30 |

1 INTRODUÇÃO

A telemetria, derivada das palavras gregas "tele" (distante) e "metron" (medida), refere-se à técnica de monitorar e coletar informações de um objeto ou fenômeno a uma certa distância e transmitir esses dados para um local onde possam ser observados e analisados. Historicamente, a telemetria se originou e se desenvolveu como resposta a necessidades em setores específicos, como a exploração espacial, medicina e a engenharia civil (SICHONANY et al., 2012).

No início do século XX, os primeiros sistemas de telemetria foram introduzidos para monitorar sistemas hidráulicos e infraestruturas de grande porte. Contudo, foi durante e após a Segunda Guerra Mundial que a telemetria teve um salto significativo em termos de aplicação e desenvolvimento, particularmente na monitorização de mísseis e veículos de teste (RODRIGUES, 2023).

Com a miniaturização dos componentes eletrônicos e o advento dos microprocessadores na década de 1970, a telemetria começou a encontrar aplicações em várias outras áreas. No setor automotivo, por exemplo, a telemetria começou a ser utilizada para monitorizar o desempenho de veículos e fornecer feedback aos condutores e equipes de engenharia (SICHONANY et al., 2012); (RODRIGUES, 2023).

A incorporação da telemetria em tratores agrícolas permitiu o monitoramento em tempo real de várias métricas cruciais. Por exemplo, os agricultores podem agora rastrear o consumo de combustível, a eficiência operacional, as condições do solo e a saúde da máquina. Ao fornecer essas informações em tempo real, os agricultores podem fazer ajustes imediatos, otimizando o desempenho e reduzindo os custos. Além disso, a telemetria também ajuda no planejamento e gestão agrícola. Através da coleta contínua de dados, é possível analisar tendências, fazer previsões mais precisas e tomar decisões baseadas em dados, e não apenas em intuições (LISBINSKI et al., 2020).

Recentes estudos têm demonstrado a eficácia de diferentes sistemas de telemetria na agricultura, destacando-se a importância da escolha do sistema adequado para cada aplicação específica. Por exemplo, um artigo de Silva e Almeida (2018) comparou sistemas de telemetria baseados em GPS com aqueles que utilizam

sensores IoT (Internet das Coisas) para monitoramento de tratores agrícolas. Os resultados indicaram que, enquanto os sistemas baseados em GPS são eficientes para rastreamento e mapeamento de áreas cultivadas, os sistemas com sensores IoT oferecem uma gama mais ampla de dados, como condições do solo e saúde das plantas, o que é crucial para a tomada de decisões agronômicas. Além disso, um estudo de Pereira et al. (2019) mostrou que a integração de telemetria com sistemas de informação geográfica (GIS) pode potencializar a análise de dados, permitindo uma visão mais holística e detalhada das operações agrícolas.

Apesar dos avanços tecnológicos, a transformação de grandes volumes de dados coletados por sistemas de telemetria em informações úteis permanece como um desafio significativo. A complexidade e a variedade dos dados exigem algoritmos avançados e sistemas de análise que possam interpretar eficientemente essas informações. Conforme discutido por Costa e Martins (2021), um dos principais desafios é a integração de dados heterogêneos provenientes de diferentes fontes e sensores, o que requer uma abordagem robusta de processamento de dados. Além disso, a necessidade de análises em tempo real para decisões rápidas no campo impõe desafios adicionais em termos de capacidade de processamento e velocidade de resposta dos sistemas. Este artigo visa abordar esses desafios, propondo metodologias e ferramentas que facilitam a interpretação de dados de telemetria na agricultura, transformando-os em informações acionáveis para tomada de decisão eficiente e otimizada.

O objetivo deste estudo foi avaliar os sistemas de coleta de dados operacionais na semeadura de algodão, aplicados na avaliação de eficiência de operadores agrícolas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Agricultura de Precisão e sistemas de telemetria em máquinas

A Agricultura de Precisão (AP), um conceito que evoluiu significativamente nas últimas décadas, é intrinsecamente multidimensional (RESENDE et al., 2010). Em uma das suas interpretações, apresentada por Resende et al. (2010), ela é descrita como uma abordagem integrada para o manejo agrícola. Esta visão considera a

Agricultura de Precisão como um conjunto de práticas otimizadas, onde a utilização de tecnologias avançadas, como GPS, sensores remotos e sistemas de informação geográfica, permite um gerenciamento preciso das variações operacionais. Tschiedel e Ferreira (2002) argumentam que essa abordagem resulta em um uso mais eficiente de insumos, como fertilizantes e pesticidas, reduzindo custos e impactos ambientais (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

Contrastando com essa visão, Borges, Nascimento e Morgado (2022) focam na sustentabilidade como o cerne da Agricultura de Precisão. Segundo eles, essa prática não apenas otimiza a produção, mas também prioriza a conservação dos recursos naturais. Eles defendem que a Agricultura de Precisão, ao permitir um controle mais apurado sobre as práticas agrícolas, contribui significativamente para a preservação do solo, da água e da biodiversidade (BORGES; NASCIMENTO; MORGADO, 2022). Soares Filho e Cunha (2015) ressaltam que o equilíbrio entre produção eficiente e sustentabilidade é fundamental para o futuro da agricultura (SOARES FILHO; CUNHA, 2015).

Alba et al. (2011) apresentam uma terceira perspectiva, enfatizando a personalização das práticas agrícolas. Eles argumentam que cada solo possui características únicas e, portanto, necessita de um manejo diferenciado (ALBA et al., 2011). A Agricultura de Precisão, nesta visão, permite um ajuste fino das práticas agrícolas, levando em conta as necessidades específicas de cada área, resultando em um aumento notável na produtividade e na qualidade dos produtos agrícolas.

Molin (2014) defende que a coleta e interpretação de grandes volumes de dados, provenientes de diversas fontes, é o que verdadeiramente potencializa a agricultura de precisão. Pereira, Silva e Pamboukian (2016) salienta que, por meio da análise de dados, é possível não apenas entender as condições atuais das lavouras, mas também prever tendências, adaptar-se a mudanças climáticas e tomar decisões mais informadas e estratégicas (PEREIRA; SILVA; PAMBOUKIAN, 2016).

Nascimento e Morgado (2022) definem a telemetria no contexto agrícola como uma tecnologia essencial para a coleta e transmissão de dados em tempo real. Eles argumentam que, através da telemetria, é possível obter informações precisas sobre diversos aspectos da operação agrícola, como condições do solo, umidade, temperatura e posicionamento de máquinas. Esta capacidade de monitoramento

contínuo, segundo eles, é crucial para a tomada de decisões rápidas e eficazes no campo.

Resende et al. (2010) defendem que a telemetria não apenas coleta dados sobre o funcionamento das máquinas, mas também permite a análise desses dados para prever falhas e realizar manutenções preventivas. Isso, segundo os pesquisadores, resulta em uma redução significativa de tempo de inatividade e custos de manutenção, além de aumentar a vida útil das máquinas.

Borges, Nascimento e Morgado (2022) abordam a telemetria sob a ótica da eficiência energética. Eles argumentam que a telemetria permite um monitoramento detalhado do consumo de energia e combustível das máquinas agrícolas, possibilitando ajustes que levam à economia de recursos e à redução da pegada de carbono. Borges, Nascimento e Morgado (2022) também destacam que, em um mundo cada vez mais preocupado com as questões ambientais, a eficiência energética é um aspecto crítico da sustentabilidade na agricultura.

Resende et al. (2010), argumentam que a automação, através do uso de máquinas inteligentes e autônomas, permite uma aplicação mais precisa de insumos, como fertilizantes e pesticidas, e uma colheita mais eficiente, reduzindo desperdícios e aumentando a produtividade. Nascimento e Morgado (2022), considera a automação no contexto da segurança e ergonomia. Eles defendem que a automação de máquinas agrícolas contribui significativamente para a redução de acidentes e problemas de saúde relacionados ao trabalho pesado no campo.

Alba et al. (2011) abordam a automação como um elemento chave para a sustentabilidade na agricultura e, destacam ainda, que a automação permite um manejo mais eficaz e sustentável dos recursos naturais, alinhando a produção agrícola com as necessidades de preservação ambiental.

2.2 Conceitos de eficiência operacional na Mecanização Agrícola

A eficiência operacional na mecanização agrícola é um conceito que envolve a análise crítica de diversos aspectos relacionados ao desempenho das máquinas e dos processos envolvidos na agricultura. Dentre esses aspectos, destacam-se as

capacidades de campo e as eficiências operacionais, que são cruciais para o entendimento e aperfeiçoamento das práticas agrícolas.

As capacidades de campo, segundo a visão de Silveira, Yanai e Kurachi (2006), referem-se à quantidade de trabalho que uma máquina agrícola pode realizar em uma unidade de tempo sob condições específicas. Esta definição enfatiza a importância de considerar as características da máquina e as condições do campo para determinar sua eficiência. Os pesquisadores supracitados argumentam que a capacidade de campo é diretamente influenciada por fatores como a largura de trabalho da máquina, a velocidade de operação e as condições do terreno (SILVEIRA; YANAI; KURACHI, 2006).

Em contrapartida, Souza e Fernandes (2020) sugerem que a capacidade de campo não se restringe apenas às características técnicas da máquina, mas também inclui a habilidade do operador e a organização do trabalho. Eles defendem que a eficiência na operação agrícola é um resultado da interação entre máquina, operador e ambiente, e que a capacidade de campo deve ser vista como um indicador holístico que abrange todos esses elementos (SOUZA; FERNANDES, 2020).

Adentrando no conceito de eficiências operacionais, encontramos uma variedade de perspectivas. Oliveira e Helleno (2012) definem eficiência operacional como a relação entre a capacidade de campo efetiva e a capacidade de campo teórica. Eles destacam que a eficiência operacional é impactada por fatores como tempos de manobra, atrasos operacionais e precisão na aplicação de insumos, sugerindo que a otimização desses fatores é essencial para alcançar uma maior eficiência (OLIVEIRA; HELLENO, 2012).

Martin et al. (1994) argumentam que a eficiência operacional vai além do simples balanço entre capacidade efetiva e teórica. Estes propõem que a eficiência operacional deve também considerar aspectos como o consumo de combustível, o desgaste da máquina e a sustentabilidade ambiental. Os pesquisadores ainda enfatizam que uma abordagem mais abrangente da eficiência operacional pode levar a práticas agrícolas mais sustentáveis e econômicas a longo prazo (MARTIN et al., 1994).

Assim, ao considerar as capacidades de campo e as eficiências operacionais, torna-se evidente que a mecanização agrícola é um campo complexo, que requer uma

análise cuidadosa. Essa compreensão aprofundada é fundamental para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais eficientes, sustentáveis e adaptáveis às constantes mudanças e desafios do setor. Desta forma, os sistemas modernos de telemetria podem contribuir para a avaliação das eficiências operacionais de máquinas e operadores.

2.3 Fatores que afetam a eficiência operacional

A eficiência operacional na mecanização agrícola é influenciada por uma série de fatores, que vão desde as características físicas do campo até aspectos relacionados ao manejo e operação das máquinas. Entre os principais fatores, destacam-se o formato da área, o tipo de solo, as paradas operacionais e a capacitação das pessoas envolvidas no processo.

O formato da área é um fator crítico na eficiência operacional, pois, conforme discutido por Bassoto et al. (2021), áreas com formatos irregulares ou com muitos obstáculos, como árvores e construções, podem reduzir significativamente a capacidade de campo das máquinas. Eles argumentam que essas características físicas exigem mais manobras, aumentando o tempo não produtivo e diminuindo a eficiência geral (BASSOTTO et al., 2021). Em contraste, Callado, Callado e Machado (2007) enfatizam que, apesar das dificuldades apresentadas por áreas irregulares, a adoção de tecnologias avançadas, como sistemas de orientação por GPS, pode minimizar esses impactos, permitindo um planejamento mais eficiente da operação (CALLADO; CALLADO; MACHADO, 2007).

O tipo de solo é outro elemento que exerce influência direta na eficiência operacional. Segundo Pereira et al. (2012), solos mais pesados e com maior teor de umidade podem dificultar o deslocamento das máquinas, aumentando o consumo de combustível e reduzindo a velocidade de operação (PEREIRA et al., 2012). No entanto, Crisostomo et al. (2018) apontam que a escolha adequada de equipamentos e ajustes específicos para diferentes tipos de solo podem otimizar a operação, adaptando-a às condições existentes e mantendo níveis satisfatórios de eficiência (CRISOSTOMO et al., 2018).

As paradas operacionais, sejam elas planejadas ou imprevistas, também são um fator crucial na determinação da eficiência operacional (ANDRETT; LUNKES, 2022). Andrett e Lunkes (2022) destacam que paradas frequentes para manutenção, abastecimento ou ajustes técnicos podem interromper significativamente o fluxo de trabalho. Contudo, Lisbinski et al. (2020) contrapõem essa visão, argumentando que paradas planejadas e bem gerenciadas podem, na verdade, aumentar a eficiência ao garantir que as máquinas estejam operando em sua capacidade ótima e reduzindo o risco de falhas inesperadas (LISBINSKI et al., 2020).

Finalmente, a capacitação das pessoas envolvidas no processo operacional é um aspecto fundamental. Araldi et al. (2013) defendem que operadores bem treinados são essenciais para maximizar a eficiência operacional, pois são capazes de manusear as máquinas de forma mais eficiente e responder adequadamente a eventuais problemas (ARALDI et al., 2013). Em um ponto de vista complementar, Barbosa et al. (2009) salientam a importância do treinamento contínuo e da atualização de conhecimentos, especialmente diante do rápido avanço tecnológico na mecanização agrícola (BARBOSA et al., 2009).

Esses fatores, em sua interação, definem o cenário da eficiência operacional na mecanização agrícola. Cada um deles possui suas especificidades e desafios, mas é no equilíbrio e na integração de todos que reside a chave para otimizar a operação das máquinas e, conseqüentemente, aumentar a produtividade e sustentabilidade no campo. As diferentes perspectivas apresentadas pelos autores reforçam a necessidade de uma abordagem adaptativa, que considere a complexidade e a variabilidade dos fatores que influenciam a eficiência operacional na agricultura.

2.4 Importância da capacitação de operadores para aumento da eficiência de operações

A capacitação de operadores de máquinas agrícolas emerge como um aspecto fundamental na busca por uma maior eficiência nas operações de campo (SITOMPUL; WALLMYR, 2019). Diversos estudos têm enfatizado a relevância do papel humano na condução e no aproveitamento ótimo das tecnologias disponíveis na agricultura moderna (SILVA LOPES et al., 2010).

Um estudo conduzido por Reis et al. (2015) compara o desempenho de operadores com diferentes níveis de experiência e treinamento. Eles observaram que operadores mais experientes e melhor treinados conseguem otimizar o uso das máquinas, resultando em uma maior eficiência operacional. Esta eficiência se traduz não apenas em termos de produtividade, mas também na redução do desgaste das máquinas e na economia de combustível (REIS et al., 2005).

Por outro lado, uma pesquisa realizada por Mascarin (2014) examina a relação entre operadores humanos e sistemas de piloto automático. Eles constataram que, enquanto o piloto automático oferece precisão, especialmente em tarefas repetitivas e extenuantes, a intervenção humana é crucial em situações que requerem tomada de decisão adaptativa e resposta a condições variáveis. A pesquisadora também enfatiza que a complementaridade entre a habilidade humana e a automação é chave para alcançar a máxima eficiência (MASCARIN, 2014).

Além disso, Luz (2019) destacam a importância da capacitação contínua dos operadores frente às inovações tecnológicas. Eles argumentam que a evolução constante das máquinas agrícolas e dos sistemas de automação exige uma atualização frequente das habilidades dos operadores. Assim, a formação contínua não é apenas uma questão de aprimoramento, mas uma necessidade para manter a eficiência operacional diante das mudanças tecnológicas (LUZ, 2019).

Outra perspectiva interessante é apresentada por Debiasi Schlosser e Pinheiro (2004) que investigaram o impacto da motivação e do bem-estar dos operadores na eficiência das operações. Eles concluíram que operadores que se sentem valorizados e que trabalham em um ambiente seguro e ergonômico tendem a ter um desempenho melhor, o que, por sua vez, reflete positivamente na eficiência operacional. Esta pesquisa ressalta a importância de considerar os aspectos humanos e psicológicos na capacitação dos operadores (DEBIASI; SCHLOSSER; PINHEIRO, 2004).

Neste contexto, as discussões entre os autores revelam um consenso sobre a importância crítica da capacitação de operadores na mecanização agrícola. Contudo, as diferentes abordagens enfatizam aspectos variados, desde a habilidade técnica e experiência até a integração com tecnologias de automação e o bem-estar do operador. Essa diversidade de perspectivas evidencia que a eficiência operacional

não é apenas uma questão de capacidade técnica, mas também de interação humana, adaptação e bem-estar no ambiente de trabalho (PAGNUSSAT et al., 2014).

Desta forma, a capacitação de operadores é um elemento crucial para maximizar a eficiência das operações agrícolas. O desenvolvimento de habilidades técnicas, a adaptação às inovações tecnológicas, a integração efetiva com sistemas automatizados e a atenção ao bem-estar dos operadores são todos aspectos que contribuem significativamente para a otimização das operações agrícolas, refletindo-se em ganhos de produtividade, sustentabilidade e economia.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição das áreas experimentais

O estudo foi realizado no município de Luís Eduardo Magalhães-BA, de coordenadas latitude 11° 56.633'S e longitude 46° 4.753'O, com elevação de 823m. O solo local foi caracterizado como Neossolo quartzarênico, com elevados teores de areia, baixos teores de argila e matéria orgânica (EMBRAPA, 2018).

Foram utilizadas diferentes áreas para a realização deste estudo (Figura 1). O setor RB1 tinha uma extensão de 182,44 hectares, situando-se na extremidade do campo. Já o setor RB2, 400,05 hectares e está localizado centralmente, indicando uma área significativa de trabalho agrícola. O setor RB3, adjacente ao RB2, possui 399,18 hectares, praticamente equivalente em tamanho ao RB2, completando a principal zona de trabalho nessa região do campo.

Figura 1 – Áreas experimentais



Fonte: autoria própria.

3.2 Maquinaria/Equipamentos utilizados

O Trator utilizado no estudo possuía potência nominal de 400 cv (294 kW). Com 6 cilindros e capacidade de 9.0 L, o motor com aspiração turbo-*aftercooler* e injeção eletrônica de alta pressão *Common Rail*. A potência máxima do motor atinge 441 cv (324 kW) a 1900 rpm (Figura 2).

Figura 2 – Trator utilizado pelo estudo



Fonte: <<https://www.deere.com.br/pt/tratores/s%C3%A9rie-8r-270cv-400cv/8400r/>>

Acoplada ao trator, utilizou-se uma semeadora de Precisão modelo ExactEmerge DB74 30 linhas com espaçamento de 76 cm (Figura 3).

Figura 3 – Plantadeira utilizada no estudo



Fonte: <<https://www.deere.com.br/pt/solu%C3%A7%C3%B5es-para-plantio/plantadeira-db-74-exactemerge-45-a-49-linhas/>>

3.3 Coleta e análise dos dados

Para coletar informações detalhadas sobre a operação agrícola, foram empregadas técnicas de monitoramento veicular. Este processo envolveu o uso de um sistema integrado de GNSS e computador de bordo, que possibilitou a coleta precisa de dados operacionais. Estes dados foram então transmitidos via GPRS para um Sistema Gerenciado Processo Automatizado (SGPA). Através do SGPA, foi possível obter uma visualização das operações e variáveis como: Área total trabalhada pela máquina (ha); Capacidade de campo (ha/h); consumo médio de combustível (l/h); rendimento real da máquina (ha/h); tempo total de trabalho (h); tempo de parada (h); período efetivo de operação (h).

3.4 Comparação entre operadores

Foram avaliados dois perfis de operadores no mesmo conjunto mecanizado, sendo: Operador 1 (Op1) e Operador 2 (Op2). O Operador 1 possuía experiência consolidada por trajetória de 10 anos na profissão e atua há 4 anos na atual empresa. O Operador 2, possuía 2 anos de experiência e ingressou na profissão atuando diretamente na atual empresa.

Os rendimentos de trabalho e características operacionais dos operadores foram obtidos por meio do sistema Solinftec. O sistema consiste em uma série de componentes tecnológicos integrados para a coleta e transmissão de dados em operações agrícolas. Este sistema inclui monitores instalados em equipamentos agrícolas, que são responsáveis pela coleta de dados variados, como posição via GPS, velocidade, consumo de combustível e condições operacionais das máquinas.

Os dados coletados são transmitidos para uma unidade central de processamento. Esta unidade, equipada com software específico, é responsável pela análise e interpretação dos dados. A transmissão dos dados pode ser realizada através de conexões sem fio, como redes celulares ou outras tecnologias de comunicação à distância.

A plataforma de software da Solinftec, que recebe e processa os dados, permite a visualização e análise das informações coletadas. Esta análise pode incluir a

avaliação da eficiência das máquinas, o monitoramento das condições de trabalho e a otimização de rotas e operações no campo.

O sistema de telemetria da Solinftec é projetado para operar em ambientes agrícolas, onde a coleta e análise de dados em tempo real podem ser fundamentais para a tomada de decisões operacionais. A integração de dados de múltiplas fontes e a capacidade de processamento em tempo real são características centrais deste sistema.

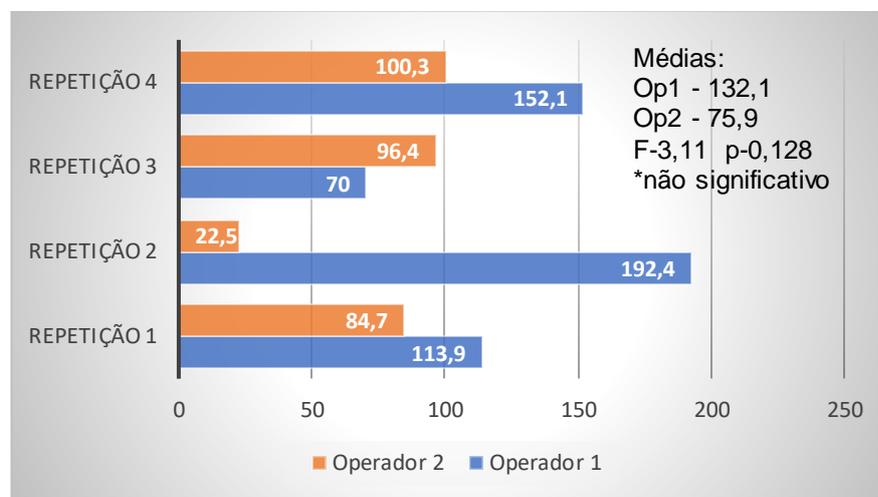
3.5 Análise estatística e tratamento dos dados

Os resultados obtidos dos sistemas de telemetria foram agrupados em função de dois tratamentos, compostos por Operador 1 e 2. Em cada variável estudada foram realizadas análises estatísticas descritivas em função dos tratamentos. Para essas análises, o delineamento experimental foi completamente casualizado (DIC) e os dados passaram por testes de normalidade, análise de variância e quando aplicável, teste de Tukey à 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 abaixo mostra um gráfico comparativo da área trabalhada (em hectares) por dois operadores de máquina, Operador 1 e Operador 2, em quatro repetições distintas. Observa-se que o Operador 1 consistentemente trabalha uma área maior em cada repetição comparado ao Operador 2. Esta diferença pode ser atribuída à maior experiência e habilidade do Operador 1 em manejar a máquina de forma eficiente e eficaz.

Figura 4 – Área trabalhada pelos operadores das máquinas (ha) em 12 horas de trabalho



Fonte: Autor.

Na literatura, a relação entre a experiência do operador e a eficiência na área trabalhada é bem documentada. Neste sentido, Silva (2019) explora a influência da experiência dos operadores na eficiência da mecanização agrícola (SILVA, 2019). Ele destaca que operadores mais experientes possuem uma melhor compreensão das nuances da máquina e do terreno, o que se traduz em uma utilização mais eficaz dos recursos e, conseqüentemente, em uma maior área trabalhada. Essa experiência se reflete na habilidade de adaptar as operações às condições variáveis do campo, maximizando a produtividade em diferentes tamanhos de área.

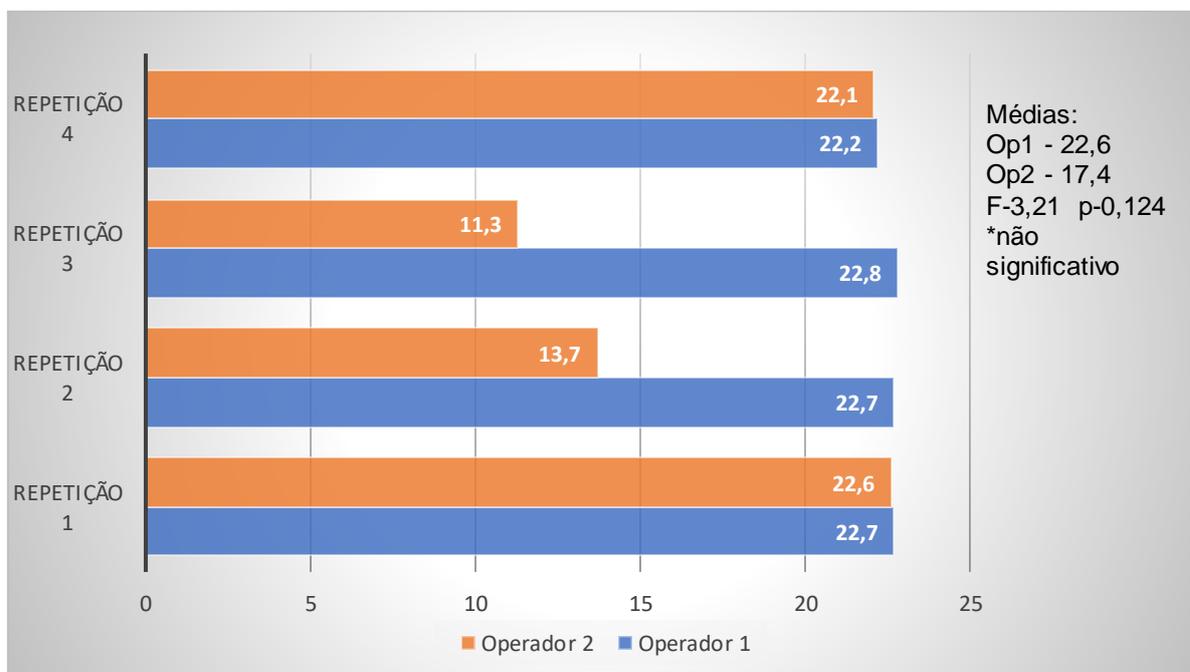
Gimenez e Milan (2007) enfocam a importância da tomada de decisões no contexto da mecanização agrícola, também revelando que a experiência do operador está diretamente relacionada à capacidade de tomar decisões rápidas e assertivas, essenciais em operações agrícolas de diferentes escalas. Eles argumentam que a habilidade de avaliar rapidamente as condições do campo e ajustar a operação de

acordo é fundamental para a eficiência, especialmente quando se lida com áreas de dimensões variadas (GIMENEZ; MILAN, 2007).

Mascarin (2014) salienta também a necessidade de capacitação contínua dos operadores de máquinas agrícolas, especialmente aos menos experientes – como é o caso do Operador 2 neste estudo. Ressalta ainda que, diante do avanço tecnológico constante e da diversidade de cenários de trabalho, desde pequenas até grandes áreas, a formação contínua é essencial para manter os operadores atualizados e capazes de otimizar a eficiência operacional.

O rendimento operacional dos dois operadores pode ser visualizado na Figura 5. O Operador 1, com mais experiência, consistentemente apresenta um rendimento operacional maior em todas as repetições. Essa diferença pode ser parcialmente explicada pela experiência, mas também por outros fatores como o horário de trabalho. O Operador 1 trabalha das 14:00 às 02:00, enquanto o Operador 2 das 02:00 às 14:00. As condições de iluminação, temperatura e até mesmo a fadiga podem variar significativamente entre esses turnos, potencialmente impactando o rendimento operacional, especialmente entre aqueles com menos tempo de exercício da profissão.

Figura 5 - Rendimento operacional conforme as áreas trabalhadas (ha/h)



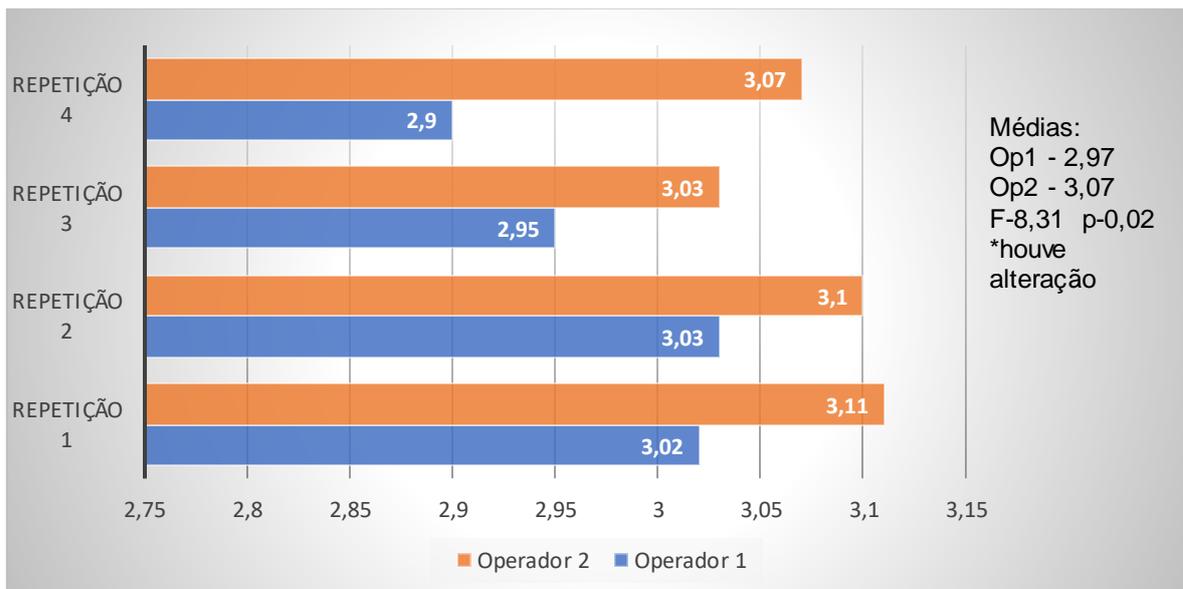
Fonte: Autor.

Sobre a variação do rendimento em função do turno de trabalho, um estudo de Scopinho et al. (1999) pode ser relevante. Eles exploraram como diferentes condições ambientais e horários podem afetar a eficiência operacional (SCOPINHO et al., 1999). Eles descobriram que fatores como iluminação natural e temperatura têm um impacto significativo na eficiência do operador e na operação das máquinas.

Outro ponto a considerar, conforme discutido por Debiasi Schlosser e Pinheiro (2004), é a questão da fadiga e da atenção do operador. Trabalhar durante a noite pode exigir mais do operador em termos de concentração e resistência à fadiga, o que pode afetar o rendimento operacional daqueles que não estão habituados. Neste sentido, conforme sugerido por Luz (2019), a experiência do operador continua sendo um fator crucial. Operadores mais experientes podem ser mais hábeis em gerenciar desafios operacionais e adaptar-se às condições variáveis, seja qual for o turno de trabalho (LEONELLO; GONÇALVES; FENNER, 2012).

No que diz respeito ao consumo por área, a Figura 6 apresenta as principais informações. Nela, o gráfico apresenta o consumo de combustível (em litros por hora) dos dois operadores também ao longo de quatro repetições. Observa-se que o Operador 1 demonstra um consumo médio consistentemente menor em comparação com o Operador 2.

Figura 6 - Consumo por área conforme as áreas trabalhadas (l/h)



Fonte: Autor.

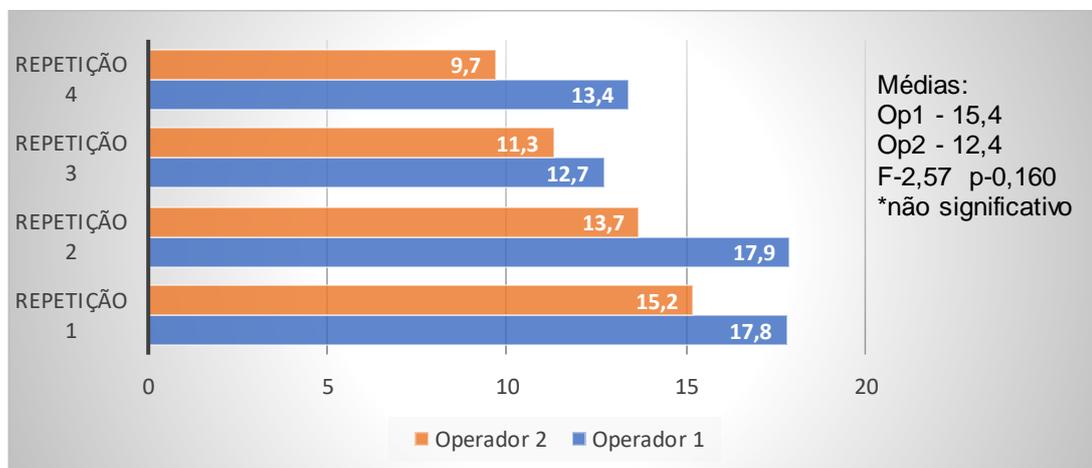
Um possível fator para essa diferença pode ser a maneira como cada operador gerencia a velocidade e a aceleração da máquina. Segundo estudos de Reis et al. (2015), operadores que mantêm uma velocidade constante e evitam acelerações e desacelerações bruscas tendem a consumir menos combustível. Isso sugere que o Operador 1 pode estar adotando uma abordagem mais suave e constante na operação da máquina.

Além disso, a manutenção da máquina e as condições do terreno também podem influenciar o consumo de combustível. Bassoto et al. (2021) indicam que máquinas bem mantidas e adaptadas às condições do terreno operam com maior eficiência energética. Portanto, diferenças no estado de manutenção das máquinas ou nas características do terreno trabalhado em cada turno podem ser fatores adicionais.

Por fim, mais uma vez a diferença nos turnos de trabalho entre os operadores pode influenciar o consumo de combustível. Condições ambientais, como temperatura e umidade, variam ao longo do dia e podem afetar a eficiência do motor e do sistema de combustível da máquina, conforme discutido por Bassoto et al. (2021).

Considerando os pressupostos compartilhados na análise, pode-se chegar ao rendimento real de cada um dos operadores. Na Figura 7, observa-se uma variação no rendimento real entre os operadores, com o Operador 1, novamente, apresentando um rendimento maior. Esta variação pode ser influenciada por fatores como o clima, além da experiência.

Figura 7 - Rendimento real representado por área (ha/h)



Fonte: Autor.

Um fator potencial é a diferença nas condições de trabalho entre os turnos dos operadores. Conforme Andrett e Lunkes (2022), fatores como iluminação, temperatura e condições climáticas variáveis podem afetar a eficiência operacional. O turno da noite, trabalhado pelo Operador 1, pode oferecer condições mais estáveis, influenciando positivamente o rendimento real.

Outro aspecto relevante pode ser a gestão do tempo e a eficiência na execução das tarefas. Segundo, ainda, estudos de Andrett e Lunkes (2022), a eficiência na gestão do tempo e a capacidade de realizar tarefas de maneira eficaz são cruciais para um alto rendimento operacional.

Finalmente, as características específicas da máquina e seu estado de manutenção podem desempenhar um papel importante. Lisbinski et al. (2020) destacam que máquinas bem mantidas e adequadamente configuradas são mais eficientes, o que poderia explicar a diferença no rendimento real entre os operadores.

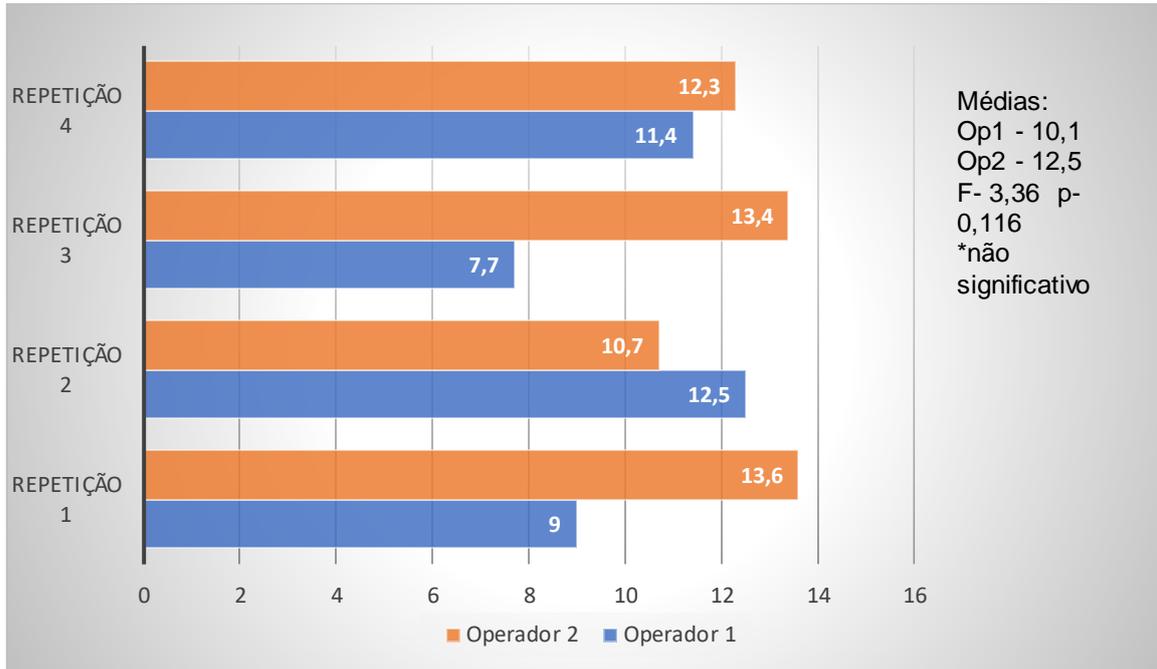
Avançando para a Tabela 1 e Figura 8, observa-se uma comparação detalhada dos tempos de deslocamento, manobra, parada e trabalho entre os dois operadores de máquina agrícola.

Tabela 1 – Descrição do tempo de deslocamento, manobra, parado e trabalhando

| | Tempo Deslocamento (TD) | | Tempo Manobra (TM) | | Tempo parada (TP) | | Tempo Trabalhando (TOP) | |
|--------|---------------------------------------|------|---------------------------------------|------|------------------------------------|------|---------------------------------------|------|
| | OP 1 | OP 2 | OP 1 | OP 2 | OP 1 | OP 2 | OP 1 | OP 2 |
| Área 1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 3,6 | 9,5 | 5 | 3,8 |
| Área 2 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 3,4 | 4,3 | 8,5 | 5,7 |
| Área 3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 4,4 | 8,9 | 3,1 | 4,2 |
| Área 4 | 0,7 | 0,1 | 0,6 | 0,4 | 3,3 | 7,3 | 6,8 | 4,5 |
| Médias | TD | | TM | | TP | | TOP | |
| | Op1 – 0,27 | | Op1 – 0,35 | | Op1 – 3,6 | | Op1 – 5,8 | |
| | Op2 – 0,12 | | Op2 – 0,32 | | Op2 – 7,5 | | Op2 – 4,5 | |
| | F- 1,06 p-0,343 *não significativo | | F- 0,04 p-0,852 *não significativo | | F- 10,3 p-0,01 *houve diferença | | F- 1,11 p-0,332 *não significativo | |

Fonte: Autor.

Figura 8 – Tempo total trabalhado (h)



Fonte: Autor.

Em linhas gerais, o tempo de deslocamento, que se refere ao período necessário para mover a máquina de um ponto a outro no campo, pode ser influenciado por diversos fatores, como a eficiência na execução das tarefas e a familiaridade com o layout do campo (ARALDI et al., 2013). No estudo, observa-se que há diferenças nos tempos de deslocamento entre os operadores, o que pode indicar variações na habilidade de navegar eficientemente pelo campo.

Já o tempo de manobra está relacionado ao tempo necessário para realizar ajustes e manobras com a máquina, o que é um indicador da habilidade do operador em lidar com as demandas específicas do trabalho, como afirma Crisostomo et al. (2018). Diferenças neste tempo entre os operadores podem refletir variações na habilidade de manobra e eficiência operacional.

O tempo de parada é outro aspecto crucial, relacionado ao período em que a máquina está inativa por diversos motivos, como manutenção, ajustes ou espera. Este tempo pode impactar significativamente a eficiência geral, sendo influenciado por fatores como a já mencionada condição da máquina, e a organização do trabalho (ARALDI et al., 2013).

Por fim, o tempo trabalhando efetivamente é o período durante o qual a máquina está operando e realizando as tarefas designadas (ARALDI et al., 2013). Variações neste tempo entre operadores podem ser indicativos da eficiência na execução das tarefas e da habilidade em manter a máquina operando continuamente.

Ao investigar a relação do tempo com as atividades que mais o demandam, pode-se estabelecer três frentes: a limpeza de disco, equipamento e o abastecimento da máquina. Essas três categorias estão expressas na Tabela 2.

Tabela 2 – Atividades que demandam tempo

| | Limpeza Disco | | Equipamento Quebrado | | Abastecimento máquina | |
|---------------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------|
| | Op 1 | Op2 | Op 1 | Op2 | Op 1 | Op2 |
| Área 1 | 1,962 | 0,5605 | 1,224 | 7,885 | 0,3168 | 0,0095 |
| Área 2 | 1,5402 | 1,7845 | 0,7854 | 1,4706 | 0,9656 | 0,4644 |
| Área 3 | 1,298 | 2,5276 | 3,0756 | 5,963 | | 0,3293 |
| Área 4 | 1,2441 | 0,4891 | 1,4883 | 2,0075 | | |
| <i>Médias</i> | LD | | EQ | | AM | |
| | Op1 – 1,51 | | Op1 – 1,64 | | Op1 – 0,64 | |
| | Op2 – 1,34 | | Op2 – 4,33 | | Op2 – 0,26 | |
| | F- 0,11 p-0,754 *não significativo | | F- 2,72 p-0,150 *não significativo | | F- 1,57 p-0,299 *não significativa | |

Fonte: Autor.

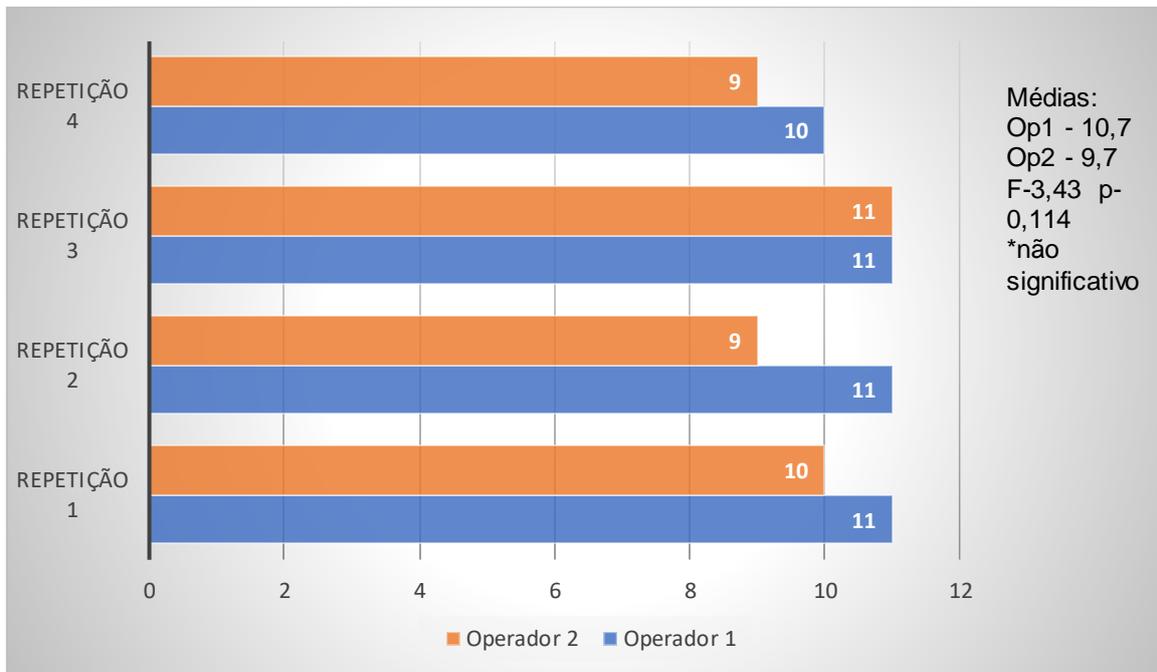
A análise da tabela acima revela diferenças significativas nos tempos gastos em três categorias principais. O Operador 1 mostra maior eficiência na categoria de limpeza do disco, o que pode ser devido a uma técnica mais aprimorada ou a uma abordagem mais sistemática. Em contraste, o mesmo ocorre no uso do equipamento, sugerindo uma possível maior habilidade ou familiaridade com essa ferramenta específica.

Já na categoria de abastecimento da máquina, ambos os operadores variam em eficiência, o que pode estar relacionado à disponibilidade de recursos ou ao planejamento operacional. Essas variações indicam que diferentes habilidades, técnicas e estratégias de trabalho influenciam a eficiência em distintas categorias operacionais.

Finalmente, a Figuras 9 apresenta as velocidades de trabalho dos operadores. Observa-se que o Operador 1 mantém uma velocidade de trabalho consistentemente mais alta em comparação ao Operador 2. A diferença na velocidade de trabalho pode

estar relacionada às características individuais dos operadores, como habilidades motoras, capacidade de concentração e resistência física. Estes aspectos influenciam diretamente a capacidade do operador de manter uma velocidade de trabalho elevada por períodos prolongados.

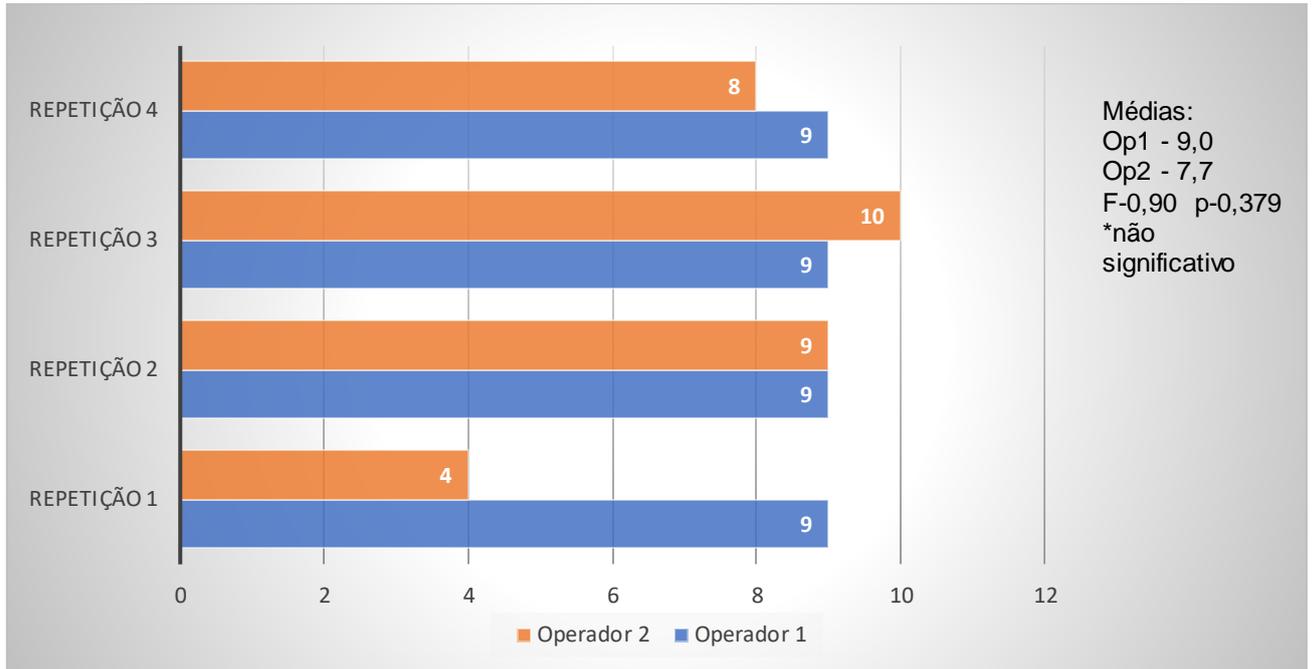
Figura 9 - Velocidade do trabalho por cada repetição (km/h)



Fonte: Autor.

No que diz respeito à velocidade da manobra, o operador 1 também se destaca – Figura 10. Essa diferença pode ser explicada considerando-se aspectos como a estratégia de operação, a percepção espacial e a familiaridade com o ambiente de trabalho. Inicialmente, a estratégia de operação adotada pelo Operador 1 pode ser um fator crucial. Este operador pode estar empregando técnicas de manobra mais eficientes, que permitem uma execução mais rápida sem comprometer a segurança ou a precisão. Tais técnicas podem incluir a otimização de rotas, a escolha de trajetórias que minimizam o tempo de manobra e o uso eficaz de recursos disponíveis no equipamento.

Figura 10 - Velocidade da manobra por cada repetição (km/h)



Fonte: Autor.

Vale ressaltar que a percepção espacial do Operador 1, devido aos anos de experiência, também pode ser um elemento determinante. Uma habilidade superior em avaliar distâncias, ângulos e a relação espacial entre o equipamento e o ambiente pode resultar em manobras mais rápidas e precisas. Esta capacidade é particularmente relevante em ambientes complexos ou quando se trabalha com equipamentos de grande porte.

Adicionalmente, a familiaridade do Operador 1 com o ambiente específico de trabalho pode influenciar a velocidade de manobra. O conhecimento detalhado das características do terreno, dos obstáculos presentes e das áreas de maior dificuldade permite ao operador antecipar e planejar manobras, reduzindo o tempo necessário para sua execução.

Esta diferença pode ser atribuída a vários fatores que vão além da experiência e do turno de trabalho. A velocidade de trabalho mais elevada do Operador 1, por exemplo pode indicar uma maior eficiência na execução das tarefas principais. Estudos como o de Mascarin (2014) sugere que operadores que mantêm uma velocidade constante e eficiente tendem a completar as tarefas mais rapidamente sem comprometer a qualidade.

De qualquer forma, importa refletir que o desempenho de operadores experientes e novatos em mecanização agrícola varia de acordo com diversos fatores. Para o operador experiente, aspectos que podem prejudicar seu desempenho incluem a resistência à adoção de novas tecnologias ou métodos atualizados, uma vez que a familiaridade com práticas antigas pode limitar a adaptabilidade. Além disso, a complacência em relação à manutenção regular e à atualização de habilidades pode também reduzir a eficiência.

Por outro lado, o operador novato pode enfrentar desafios principalmente devido à falta de experiência prática, como observado neste estudo. Isso pode se traduzir em uma menor habilidade para tomar decisões rápidas e eficientes em situações variáveis, bem como uma compreensão menos intuitiva das nuances do manuseio da máquina e do terreno. Além disso, a falta de familiaridade com as especificidades do campo pode resultar em uma menor eficiência no planejamento e execução das tarefas.

Em termos de eficiência, o operador experiente pode ser mais eficiente em tarefas que exigem um conhecimento aprofundado e uma habilidade desenvolvida ao longo dos anos, como a otimização do uso de recursos e a adaptação a condições de campo complexas. Já o operador novato pode ser mais eficiente em tarefas que se beneficiam de uma abordagem fresca e inovadora, especialmente aquelas relacionadas ao uso de novas tecnologias e métodos.

A eficiência de ambos os tipos de operadores, apesar de haver maior destaque ao mais experiente, varia de acordo com a natureza da tarefa, o ambiente de trabalho e a disposição para aprender e adaptar-se a novos desafios e tecnologias. A formação contínua e a capacidade de integrar novos conhecimentos e práticas são essenciais para maximizar a eficiência operacional em mecanização agrícola.

Sendo assim, a partir das informações compartilhadas nesta seção, pode-se inferir que os sistemas de telemetria desempenham um papel crucial na coleta de dados como os apresentados nas tabelas e gráficos do estudo. Eles permitem monitorar em tempo real diversos aspectos operacionais, como o tempo de deslocamento, manobra, parada, trabalho, e o uso de equipamentos específicos. Esta monitorização facilita a identificação de padrões, ineficiências e oportunidades de melhoria, permitindo intervenções mais assertivas para otimizar a eficiência produtiva.

Através da telemetria, é possível obter uma compreensão mais profunda do desempenho operacional, contribuindo para decisões estratégicas e aprimoramento contínuo das práticas na mecanização agrícola.

5 CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou efetivamente a capacidade dos sistemas de telemetria em avaliar o desempenho de dois operadores de máquinas agrícolas. Através da análise dos dados coletados, foi possível identificar diferenças significativas no desempenho operacional entre um operador experiente e outro menos experiente. As variáveis mais relevantes observadas incluem a área trabalhada, o rendimento operacional e o consumo de combustível, com o operador mais experiente apresentando maior eficiência em todas essas métricas.

A análise detalhada dessas variáveis revela que a experiência e a habilidade na operação das máquinas são fatores determinantes para a eficiência na agricultura. O operador mais experiente demonstrou não apenas uma maior capacidade de trabalho, mas também uma gestão mais eficiente dos recursos, como evidenciado pelo menor consumo de combustível e maior rendimento operacional.

Esses resultados têm implicações diretas para a gestão dos processos agrícolas. Eles destacam a importância de investir na formação e atualização contínua dos operadores, enfatizando a necessidade de familiarização com as tecnologias de telemetria e a interpretação eficiente dos dados coletados. A integração dessas competências na prática agrícola pode levar a uma otimização significativa dos recursos, aumento da produtividade e, conseqüentemente, maior sustentabilidade e competitividade no setor agrícola.

Portanto, a adoção de sistemas de telemetria e a capacitação adequada dos operadores emergem como elementos chave para a modernização e eficiência da agricultura, reforçando a relevância da educação contínua e do desenvolvimento de habilidades técnicas avançadas no contexto agrícola atual.

REFERÊNCIAS

ALBA, P. J. et al. Agricultura De Precisão: Mapas De Rendimento E De Atributos De Solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, p. 29–41, 2011.

- ANDRETT, M. C. DA S.; LUNKES, R. J. Análise da Produtividade em Propriedades da Agricultura Familiar na Região Sul do Brasil. **ANPAD**, p. 1–20, 2022.
- ARALDI, P. F. et al. Eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 3, p. 445–452, 2013.
- BARBOSA, L. P. et al. Desempenho operacional e análise de custo do conjunto mecanizado no preparo do solo para plantio florestal. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 746–763, 2009.
- BASSOTTO, L. C. et al. Eficiência produtiva e riscos para propriedades leiteiras: uma revisão integrativa. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. 4, p. 1–20, 2021.
- BORGES, L. C.; NASCIMENTO, A. DOS R.; MORGADO, C. M. A. Agricultura de precisão: ferramenta de gestão na rentabilidade e produtividade de grãos. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 3, 2022.
- CALLADO, A. A. C.; CALLADO, A. L. C.; MACHADO, M. A. V. Indicadores de desempenho operacional e econômico: um estudo exploratório no contexto do agronegócio. **Revista de Negócios**, v. 12, n. 1, p. 3–15, 2007.
- CRISOSTOMO, W. L. et al. Desempenho operacional de colhedora de algodão com sistema de construção de módulo embarcado. **Revista Engenharia na Agricultura**, p. 298–306, 2018.
- COSTA, M. R.; MARTINS, A. L. Desafios na análise de dados de telemetria na agricultura: uma abordagem integrada. *Journal of Agricultural Data Science*, v. 5, n. 2, p. 134-150, 2021.
- DEBIASI, H.; SCHLOSSER, J. F.; PINHEIRO, E. D. Características ergonômicas dos tratores agrícolas utilizados na região central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1807–1811, 2004.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2018. 353p.
- GIMENEZ, L. M.; MILAN, M. Diagnóstico da mecanização em uma região produtora de grãos. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 210–219, 2007.
- LEONELLO, E. C.; GONÇALVES, S. P.; FENNER, P. T. Efeito do tempo de

experiência de operadores de harvester no rendimento operacional. **Revista Arvore**, v. 36, n. 6, p. 1129–1133, 2012.

LISBINSKI, F. C. et al. Perspectivas e Desafios da Agricultura 4.0 para o Setor Agrícola. **VIII Simpósio da Ciência do Agronegócio 2020**, p. 1–10, 2020.

LUZ, W. DE A. **Desgaste em ferramentas de máquinas agrícolas: revisão bibliográfica**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

MARTIN, N. B. et al. Custos: Sistema de Custo de Produção Agrícola. **Informações econômicas**, v. 24, n. 9, p. 97–122, 1994.

MASCARIN, A. L. C. **Serviços de Mecanização Agrícola : atividade meio ou atividade fim ?** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2014.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão no Brasil: estado atual, avanços e principais aplicações. **13º Curso Internacional de Agricultura de Precisión con agregado de valor de origen, 2014 (recopilación de presentaciones técnicas)**, p. 8, 2014.

OLIVEIRA, T. H.; HELLENO, A. L. Sistema de Apoio à Gestão da Produção: Indicadores de Eficiência Operacional – Estudo de Caso. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 17, n. 33, p. 39–52, 2012.

PAGNUSSAT, M. B. et al. Desempenho de operadores de diferentes idades no treinamento com simulador virtual Forwarder. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 3842–3852, 2014.

PEREIRA, D. P. et al. Eficiência da subsolagem na profundidade de preparo do solo em função da declividade do terreno. **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 607–612, 2012.

PEREIRA, L. DA S.; SILVA, D. DE O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Sensoriamento Remoto Aplicado À Agricultura De Precisão No Cultivo De Bambu. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, p. 8–33, 2016.

PEREIRA, L. F.; et al. Integração de telemetria e sistemas de informação geográfica (GIS) na agricultura: um estudo de caso. **Anais da Academia Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 4, p. 88-102, 2019.

REIS, G. N. DOS et al. Manutenção de tratores agrícolas e condição técnica dos operadores. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 282–290, 2005.

RESENDE, Á. V et al. Agricultura de Precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade. **XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, p. 1–23, 2010.

RODRIGUES, L. C. C. **Análise de dados de telemetria de máquinas agrícolas de concessionária John Deere**. [s.l.] Universidade Federal Rural da Amazônia, 2023.

SCOPINHO, R. A. et al. Novas tecnologias e saúde do trabalhador: a mecanização do corte da cana-de-açúcar. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 15, n. 1, p. 147–162, 1999.

SICHONANY, O. R. DE A. O. et al. Telemetria na transmissão de dados de desempenho de máquinas agrícolas utilizando tecnologias GSM/GPRS e ZigBee. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1430–1433, 2012.

SILVA, J. M.; ALMEIDA, F. R. Comparação de sistemas de telemetria baseados em GPS e IoT no monitoramento de tratores agrícolas. **Revista Brasileira de Agricultura Inteligente**, v. 12, n. 3, p. 45-59, 2018.

SILVA LOPES, L. et al. Avaliação do desempenho de operadores no treinamento com simulador de realidade virtual forwarder. **Ciencia Florestal**, v. 20, n. 1, p. 179–189, 2010.

SILVA, R. A. B. **Levantamento dos acidentes com máquinas agrícolas no Brasil no período compreendido de 2013 a 2018**. [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2019.

SILVEIRA, G. M. DA; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 220–224, 2006.

SITOMPUL, T. A.; WALLMYR, M. Using augmented reality to improve productivity and safety for heavy machinery operators: State of the art. **Proceedings - VRCAI 2019: 17th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry**, 2019.

SOARES FILHO, R.; DA CUNHA, J. P. A. R. Agricultura de precisão:

particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 4, p. 689–698, 2015.

SOUZA, L. H. DE; FERNANDES, V. L. Capacidade operacional e eficiência de campo da produção de silagem de milho cultivado em pivô central. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1–5, 2020.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução À Agricultura de Precisão: Conceitos e Vantagens. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 159–163, 2002.