



MICHAEL DE OLIVEIRA ALVES BRAGA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO OPERACIONAL DE
MÁQUINAS FLORESTAIS POR SISTEMA DE
TELEMETRIA**

LAVRAS - MG

2023

MICHAEL DE OLIVEIRA ALVES BRAGA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO OPERACIONAL
DE MÁQUINAS FLORESTAIS POR SISTEMA DE TELEMETRIA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia de Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Lucas Rezende Gomide Orientador

Prof. Dr. Samuel José Silva Soares da Rocha Coorientador

LAVRAS - MG

2023

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me guiar nesta jornada e por conceder sabedoria e discernimento nos momentos mais desafiadores.

À minha família, especialmente aos meus irmãos, Luiz e Stéfany, ao meu pai, Pedro, e, principalmente, à minha mãe, Marta Braga. Mesmo a distância, sua presença foi fundamental para a realização dessa conquista.

À minha namorada, Amanda, por estar ao meu lado nesta fase final, apoiando-me em todas as decisões difíceis.

À república que morei em Lavras, Minas Gerais, e a todos os amigos que fiz ao longo desses últimos anos repletos de aprendizado e momentos inesquecíveis.

Aos estagiários do apartamento 410, que moraram comigo e tornaram a minha jornada de estágio mais leve em Canoinhas, Santa Catarina.

À Terra Jr. - Consultoria Agropecuária, pela oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos durante meu curso, e pelo significativo desenvolvimento pessoal e profissional nesse período.

Ao Laboratório de Fitogeografia e Ecologia Evolutiva (LEAF), por todas as experiências de campo, desafios e pesquisas enriquecedoras das quais tive a honra de fazer parte.

À todas as entidades de extensão que participei e que foram fundamentais para minha formação: Núcleo de Estudos em Ecologia e Conservação da Flora (NEEC-Flora), Núcleo de Estudos em Manejo de Unidades de Conservação (NEUC), Centro Acadêmico de Engenharia Florestal (Primavera Silenciosa) e Associação Brasileira dos Estudantes de Engenharia Florestal (ABEEF - Lavras).

Aos docentes, dos quais convivi ao longo da graduação, pelo conhecimento compartilhado.

À todos os meus amigos do curso de Engenharia Florestal, em especial as turmas 2017/2 e 2018/1, por todo o companherismo durante esta jornada.

*“Porque sou eu que conheço os planos que tenho
para vocês’, . diz o
Senhor, ‘planos de fazê-los prosperar e não de causar
dano, planos de dar a vocês esperança e um
futuro.”*

Jeremias 29:11

RESUMO

O estudo empregou os princípios da Floresta 4.0, utilizando a Internet das Coisas (IoT) e telemetria para apresentar uma solução sistêmica para a colheita florestal de madeira em uma empresa do setor de papel e embalagens. O objetivo dessa pesquisa foi analisar o desempenho operacional de máquinas *feller-buncher* e *skidder*, utilizando a taxa de utilização (TU%) obtida por meio da telemetria do sistema de gestão de frota “TrackIT”. O processo de construção dessa solução envolveu o desenvolvimento de uma Prova de Conceito (POC) para destacar os benefícios e justificar o investimento, e foram utilizados os softwares Microsoft Excel e Power BI para os cálculos e análise de dados. Como resultados, destaca-se os ganhos qualitativos, entre eles o monitoramento online das máquinas e a identificação de desvios operacionais. A POC permitiu mapear e comparar as taxas de utilização entre o Sistema A (com telemetria - TrackIT) e o Sistema B (sem telemetria). Essa análise identificou uma superestimativa deste indicador em até 13,2%, para o sistema sem telemetria, em relação à metaestabelecida pela empresa. Através dos resultados apresentados dentro da proposta do trabalho pode-se concluir que as ferramentas do TrackIT, com ênfase para a telemetria, auxiliaram na mitigação de erros e inconsistências na obtenção de dados em campo.

Palavras-chave: Floresta 4.0, Telemetria, Colheita Florestal, Indicadores operacionais, Máquinas Florestais.

ABSTRACT

The study employed the principles of Forest 4.0, using the Internet of Things (IoT) and telemetry to present a systemic solution for forestry wood harvesting in a company in the paper and packaging sector. The objective of this research was to analyze the operational performance of feller-buncher and skidder machines, using the utilization rate (TU%) obtained through telemetry from the “TrackIT” fleet management system. The process of building this solution involved the development of a Proof of Concept (POC) to highlight the benefits and justify the investment, and Microsoft Excel and Power BI software were used for calculations and data analysis. As results, qualitative gains stand out, including online monitoring of machines and identification of operational deviations. The POC made it possible to map and compare usage rates between System A (with telemetry - TrackIT) and System B (without telemetry). This analysis identified an overestimation of this indicator by up to 13.2%, for the system without telemetry, in relation to the target established by the company. Through the results presented within the work proposal, it can be concluded that the TrackIT tools, with an emphasis on telemetry, helped to mitigate errors and inconsistencies in obtaining data in the field.

Keywords: Forest 4.0, Telemetry, Forest Harvest, Operational indicators, Forest Machines.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1. Feller Tigercat 870D | 19 |
| Figura 2. Skidder Tigercat 635H | 20 |
| Figura 3. Computador de bordo..... | 22 |
| Figura 4. Padrão de movimentação do Skidder dentro do talhão..... | 23 |
| Figura 5. Tela do Supervisor Digital integrada ao computador de bordo | 24 |
| Figura 6. Estados de máquina reportados para o processador 01 (SK-01)..... | 25 |
| Figura 7. Estratégia de comunicação dos dados enviados ao TrackIT | 26 |
| Figura 8. Coletor de dados (M2M)..... | 26 |
| Figura 9. Registros de estados do turno e da máquina para o equipamento Skidder na plataforma TrackIT..... | 29 |
| Figura 10. Gráfico de comparação da Taxa de Utilização (%) do feller no 1º Turno entre os Sistemas A (com Telemetria) e B (sem Telemetria)..... | 31 |
| Figura 11. Gráfico de comparação da Taxa de Utilização (%) do feller no 2º Turno entre os Sistemas A (com Telemetria) e B (sem Telemetria)..... | 32 |
| Figura 12. Gráfico de comparação da Taxa de Utilização (%) do Skidder no 1º Turno entre os Sistemas A (com Telemetria) e B (sem Telemetria)..... | 33 |
| Figura 13. Gráfico de comparação da Taxa de Utilização (%) do skidder no 2º Turno entre os Sistemas A (com Telemetria) e B (sem Telemetria)..... | 34 |
| Figura 14. Interface de alerta para detecção de movimento. | 36 |
| Figura 15. Interface para registro retroativo de apontamentos. | 37 |
| Figura 16. Limite de tempo para o apontamento de refeição, destacado em azul..... | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Especificações técnicas das máquinas estudadas..... | 20 |
|---|----|

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 12 |
| 2.1 | Objetivo geral | 12 |
| 2.2 | Objetivos específicos..... | 12 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 13 |
| 3.1 | Indústria e Floresta 4.0 | 13 |
| 3.2 | Colheita Florestal..... | 14 |
| 3.3 | Internet of Things - IoT (Internet das Coisas) | 15 |
| 3.4 | Telemetria..... | 16 |
| 3.5 | TrackIT | 16 |
| 3.6 | Indicadores operacionais | 17 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 18 |
| 4.1 | Descrição da empresa e caracterização da área de estudo | 18 |
| 4.2 | Sistema de Colheita Florestal | 18 |
| 4.3 | Monitoramento assistido dos equipamentos | 21 |
| 4.4 | Ferramentas e funcionalidades do TrackIT | 21 |
| 4.4.1 | Computador de bordo..... | 21 |
| 4.4.2 | Mapa histórico de movimentações | 22 |
| 5.2 | Análise da Taxa de Utilização (TU %) nos Sistemas A e B para o <i>Feller</i> | 30 |
| 5.3 | Análise da Taxa de Utilização (TU %) nos Sistemas A e B para o <i>Skidder</i> | 32 |
| 5.4 | TrackIT: confiabilidade e precisão de dados enviados ao sistema | 35 |
| 5.4.2 | Supervisor digital..... | 35 |
| 5.4.3 | Detecção de equipamentos em estado de operação e parada..... | 36 |
| 5.4.4 | Apontamento retroativo | 36 |
| 5.4.5 | Configuração do limite de tempo para códigos de paradas operacionais | 37 |

| | | |
|---|----------------|----|
| 6 | CONCLUSÃO..... | 38 |
|---|----------------|----|

1 INTRODUÇÃO

Diante dos avanços tecnológicos recentes e de um contexto em que a demanda por produtos personalizados, maior complexidade, qualidade aprimorada e custos reduzidos está em constante crescimento, o conceito de Indústria 4.0 tem sido amplamente discutido em escala global (HERMAN et al., 2016).

No âmbito da indústria e dos serviços, o termo "Indústria 4.0" permeia as conversas sobre o contínuo desenvolvimento da digitalização (MÜLLER; JAEGER; HANEWINKEL, 2019). Em paralelo, associada à conectividade de dados, sensores, automação, robótica e inteligência artificial, a "Floresta 4.0" busca otimizar a gestão de recursos, bem como melhorar a eficiência, produtividade e segurança nas atividades florestais (SIMÃO, 2019).

Métodos convencionais de avaliação que, historicamente dependiam de decisões centralizadas e subjetivas com pouca fundamentação em dados de desempenho, passam por uma transformação significativa. A introdução de computadores e máquinas tem sido fundamental para automatizar e otimizar atividades anteriormente realizadas manualmente. Essa transição não apenas redefine os processos, mas também modifica a dinâmica das interações e comunicações entre as pessoas, como discutido por Lemos e Josgrilberg (2009).

A transmissão via telemetria, que se baseia na comunicação entre áreas remotas e um centro de captação de dados, representa uma abordagem essencial para o monitoramento e controle de atividades locais por meio de redes de computadores. No contexto mais amplo da evolução tecnológica, a utilização de sensores e atuadores sem fio para rastreamento e monitoramento tornou-se uma prática comumente empregada. Nesse cenário, a Internet das Coisas (IoT) destaca-se, proporcionando visibilidade, agilidade e adaptabilidade aos processos de gestão. Essa integração efetiva de telemetria e IoT permite que gestores acessem e monitorem dados de qualidade, fundamentais para a tomada de decisões estratégicas (XU, HE & LI, 2014; BEN-DAYA, HASSINI, BAHROUN, 2019; BROUS & JANSSEN, 2017; HOUNSELL ET AL., 2009; RAMOS ET AL., 2008).

De acordo com Gonçalves (2008), o setor florestal, dada sua relevância para as receitas nacionais e sua integração na indústria global, está vivenciando uma fase revolucionária impulsionada pelos avanços tecnológicos. Entretanto, é importante destacar que as empresas envolvidas em operações florestais enfrentam obstáculos diários que demandam planejamento para atingir a excelência operacional. Nesse contexto, a obtenção eficiente e precisa de dados de desempenho dos equipamentos se estabelece como um elemento fundamental para embasar

decisões estratégicas no cotidiano dessas empresas.

Para otimizar o gerenciamento, os softwares de gestão de operações florestais se estabelecem como ferramentas de crescimento significativo no mercado. Esses softwares automatizam a coleta, armazenamento e processamento de dados, resultando na redução de custos e aumento da produtividade. Em resposta à crescente demanda, empresas especializadas estão desenvolvendo sistemas e softwares capazes de gerenciar eficientemente as operações de colheita. Esses softwares, predominantemente baseados em apontamentos eletrônicos, possibilitam o monitoramento em tempo real das atividades de campo, eliminando em grande parte a necessidade de supervisão direta e aperfeiçoando os processos de monitoramento.

Dentro deste cenário, o presente trabalho tem por objetivo analisar o desempenho operacional de máquinas *feller* e *skidder* a partir do sistema de telemetria. Para atingir o objetivo proposto, a pesquisa se baseou no caso de uma empresa do setor de papel e embalagens, que implantou o sistema TrackIT para controle da frota de colheita florestal por meio de uma Prova de Conceito (PoC). Os dados coletados foram extraídos da base de dados da empresa, os quais foram analisados comparando o sistema atual de gestão vigente para fins de validação dos resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo analisar o desempenho operacional de máquinas *feller-buncher* e *skidder*, utilizando a taxa de utilização (TU%) obtida por meio da telemetria do sistema de gestão de frota “TrackIT”.

2.2 Objetivos específicos

- i. Avaliar as principais funcionalidades integradas no sistema "TrackIT" por meio de uma prova de conceito (PoC);
- ii. Atrelar os apontamentos dos operadores ao estado de máquina (telemetria), garantindo uma visão integrada e precisa das operações;
- iii. Calcular a Taxa de Utilização (TU %) dos equipamentos *Feller* e *Skidder*;
- iv. Comparar a Taxa de Utilização (TU%) entre os sistemas A (TrackIT – com telemetria) e B (sem telemetria).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Indústria e Floresta 4.0

A Indústria 4.0 tem sido amplamente discutida na literatura recente (FRANK et al., 2019) e é considerada um fenômeno disruptivo de grande impacto, tanto na indústria quanto na sociedade, devido aos seus notáveis avanços tecnológicos (HORVÁTH & SZABÓ, 2019). Choudhry & O'Kelly (2018) ressaltam que a indústria está passando por uma transformação significativa, migrando de sistemas tradicionalmente desconexos em setores como a manufatura, logística, tomada de decisões e serviços para uma forma de industrialização mais interconectada e inteligente, impulsionada pelo rápido avanço das tecnologias digitais.

O conceito de Indústria 4.0 engloba a ideia de fabricação inteligente, com um foco específico na digitalização, colaboração e automação. Esse modelo abarca componentes essenciais, tais como sistemas ciber-físicos (CPS), fábricas inteligentes, a Internet das Coisas (IoT) e a Internet de Serviços (IoS). Os sistemas ciber-físicos (CPS) são responsáveis por unir o mundo físico à Indústria 4.0, enquanto a IoT trata da interconexão dos elementos físicos nesse cenário (HERMANN, M., PENTEK, T., & OTTO, B., 2016).

A aplicação dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 no setor florestal surge como uma estratégia promissora para aperfeiçoar os processos existentes e impulsionar novos modelos de negócios. A ideia de Floresta 4.0 é diretamente inspirada pela Indústria 4.0 e desempenha um papel essencial na evolução da próxima geração da indústria florestal. A integração de Internet das Coisas, inteligência artificial, automação, dispositivos inteligentes, Blockchain e gêmeos digitais na floresta promete uma transformação significativa nesse setor (SAHAL, R., ALSAMHI, S. H., BRESLIN, J. G., & ALI, M. I., 2021).

De acordo com Dantas & Andreoli (2017), é notável uma transformação autêntica no contexto da indústria florestal, impulsionada não apenas pela relevância desse setor, mas também pela crescente demanda por inovações e avanços tecnológicos. Os diferentes segmentos que compõem o setor florestal são bastante heterogêneos e é dentro desse panorama diversificado que as tecnologias emergentes desempenham papéis distintos, contribuindo para a busca de inovações e a otimização dos processos.

3.2 Colheita Florestal

A colheita de madeira consiste em um conjunto de operações conduzidas no povoamento florestal, visando o preparo e extração da madeira até o ponto de transporte, com a finalidade de transformá-la em um produto final, de acordo com técnicas e padrões estabelecidos (MACHADO, 2008).

No setor florestal, ela assume um papel de destaque do ponto de vista econômico, uma vez que contribui de maneira significativa para a composição dos custos finais, podendo, juntamente com o transporte, representar até 50% dos gastos totais da indústria madeireira (MACHADO E LOPES, 2000).

Até 1940, a colheita florestal no Brasil dependia principalmente do trabalho manual, com pouca utilização de máquinas. Nas décadas de 1960 e 1970, as motosserras foram introduzidas, seguidas pelo desenvolvimento de maquinário local de médio porte. A mudança mais significativa ocorreu a partir de 1980, quando tratores florestais substituíram os tratores agrícolas adaptados (FREITAS et al., 2011).

No cenário atual, há uma diversidade de métodos e sistemas de colheita de madeira disponíveis, os quais variam de acordo com a espécie florestal, idade do povoamento, finalidade e condições da área. Para cada conjunto específico de condições, existe um método e sistema de colheita mais adequado (SILVA et al., 2003).

Entre os sistemas de colheita florestal mecanizada amplamente adotados em todo o mundo, destacam-se o *cut-to-length* e o *full tree*. O primeiro envolve o uso de um harvester para o corte e um forwarder para o transporte de toras curtas, enquanto o segundo utiliza um feller buncher e um skidder para a extração, sendo chamado de sistema de árvores inteiras (UDALI et al., 2023).

Rezende et al. (1997) desataca que a otimização das operações de colheita florestal é de suma importância para manter a competitividade no mercado. Assim, o entendimento aprofundado das características, funcionamento e potencial das máquinas de colheita é fundamental para impulsionar o desenvolvimento de novas tecnologias que atendam às necessidades em evolução da indústria florestal.

3.3 Internet of Things - IoT (Internet das Coisas)

A Internet das Coisas (IoT) surgiu como um dos desdobramentos das tecnologias originadas pela Indústria 4.0, visando à automatização de ecossistemas inteligentes que combinam tecnologias operacionais e sistemas industriais capazes de atingir altos níveis de automação (KEBANDE, 2022).

A ideia de Internet das Coisas, também conhecida como Internet of Things (IoT) em inglês, pode ser conceituada, conforme Magrani (2018) descreve, como um "sistema de objetos físicos que estão interligados à internet por meio de sensores compactos e integrados, gerando um ambiente de computação ubíqua onipresente, com o propósito de simplificar as atividades do dia a dia das pessoas."

De acordo com projeções da GSMA, até 2025, o número de conexões na Internet das Coisas (IoT) deverá atingir 25 bilhões em escala global. A adoção da IoT pode proporcionar vantagens para as empresas, como aprimoramento nos planejamentos de recursos, redução de custos e tempo de execução. Além disso, a automação de processos, velocidade no processamento de informações, maior precisão nas inspeções e análises, e a redução da necessidade de inspeções físicas presenciais são benefícios observados em estudos anteriores (GSMA | IoT, 2020; RATHORE et al., 2016; AHLBORN et al., 2010).

Em uma pesquisa conduzida por Pereira (2020) no contexto do uso de sensores IoT na área florestal, foi destacada a complexidade associada à coleta de informações em campo e à subsequente transferência remota desses dados. Contudo, o autor enfatiza que ao direcionar a atenção para as demandas particulares das operações, é possível alcançar melhorias significativas em termos de mobilidade e confiabilidade na transmissão de dados, resultando em benefícios substanciais.

A orientação e o controle das máquinas de colheita, juntamente com a coleta de dados cada vez mais precisos e abrangentes, permitem a transmissão imediata e remota das informações. Esse avanço na interação entre humanos e máquinas amplia o controle de qualidade das operações e simplifica a tomada de decisões e a resolução antecipada de problemas (FRANSSON, BRÄNNSTRÖM & FRANKLIN, 2021).

3.4 Telemetria

A telemetria é um método que consiste na aquisição de dados por meio de medições remotas, desenvolvendo-se como uma solução para atender às demandas de coleta de informações em locais distantes ou de difícil acesso. Essa abordagem possibilita a coleta eficiente e transmissão de informações com o propósito de monitorar e controlar máquinas de forma eficaz (DE MATTOS, 2004; VISSOTO, 2000).

Conforme destacado por Long, Jordaan & Castro-Santos (2023), a telemetria teve origem na década de 1950 e, ao longo do tempo, passou por uma série de evoluções com o propósito de melhorar os sistemas de GPS, acústica, rádio e comunicação via satélite. Com essa tecnologia, é possível coletar informações referentes à velocidade, posição geográfica, temperatura, umidade, pressão do óleo, alarmes do veículo, consumo e nível de combustível dos equipamentos (SICHONANY, 2011; JALBA et al., 2010; NETTO, 2010).

O sistema de telemetria desempenha um papel fundamental na redução de custos relacionados à prática de monitoramento manual de máquinas e na prevenção de perdas de receitas devido ao uso inadequado de equipamentos (SICHONANY, 2011). A obtenção de dados em tempo real remotamente e a análise de padrões são essenciais para avaliar o desempenho das redes e evitar essas perdas financeiras (ALHAMED et al., 2023). Essa tecnologia se alinha com os princípios da Indústria 4.0, focando na comunicação integrada para aumentar os níveis de coordenação e eficiência (ZAMBON et al., 2019).

3.5 TrackIT

TrackIT (AIKO, 2023) é um sistema de gerenciamento de frota desenvolvido para auxiliar no monitoramento de uma frota de equipamentos móveis em várias operações. O objetivo do sistema é proporcionar melhorias efetivas na produtividade, resultando em redução de custos e aumento na produção das operações.

A solução funciona independentemente do modelo, marca e ano de fabricação dos equipamentos utilizados e concentra-se, principalmente, nas seguintes áreas-chave:

- i. **Segurança Operacional:** Propõe-se a melhorar a segurança durante operações com alarmes de proximidade, cercas eletrônicas e excesso de velocidade, incluindo recursos como listas de verificação e botão de emergência.

ii. Planejamento e Controle: Simplifica o planejamento com mapas de tarefas e rotas, oferecendo visibilidade em tempo real das máquinas e alertas de locais inadequados.

iii. Gestão Operacional: Identifica gargalos operacionais com registros automatizados de paradas, medição de produção e indicadores em tempo real no painel de controle.

3.6 Indicadores operacionais

O efetivo monitoramento de qualquer sistema está intrinsecamente ligado à precisa definição das variáveis de controle a serem avaliadas e aos indicadores selecionados. Estes indicadores devem ser representativos dos resultados reais do processo em análise, alinhando-se aos objetivos planejados pela empresa. A qualidade do processo, a satisfação dos clientes e a geração de valor para os acionistas são responsabilidades fundamentais da empresa, conforme destacado por Hacker & Brotherson (1998). Eles afirmam que um sistema de indicadores efetivo deve capacitar os gestores a avaliar se as atividades programadas estão de fato contribuindo para o alcance dos objetivos organizacionais.

Segundo as análises de Camargo Júnior (2013), as atividades de maquinários florestais podem ser quantificadas em horas efetivamente trabalhadas, horas com paradas mecânicas e horas por paradas operacionais. A partir dessas horas, são derivados indicadores operacionais, incluindo a Disponibilidade Mecânica (DM), Eficiência Operacional (EO) e Taxa de Utilização (TU).

A DM representa o tempo em que um equipamento específico está disponível para a produção, influenciando diretamente a produtividade (LINHARES et al., 2012). A EO é a porcentagem do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo total programado para o trabalho, conforme indicado por Lopes et al. (2011). Silva et al. (2010) ressalta que esse indicador pode variar de acordo com o treinamento do operador.

A TU é calculada pelo produto destes dois índices (SCHETTINO, 2022). Contudo, é importante ressaltar que a falta de padronização nos conceitos, dependendo da fonte de consulta, leva à substituição da taxa de utilização pelo conceito de eficiência operacional.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Na realização deste trabalho, foi executada uma prova de conceito (PoC) ao longo de um período de cinco meses, compreendido entre fevereiro e junho de 2023, para analisar o desempenho operacional dos equipamentos *feller* e *skidder*, utilizando a TU obtida por meio da telemetria do sistema TrackIT.

Uma prova de conceito (PoC), conhecida em inglês como "Proof of Concept", consiste na confirmação de que um produto ou serviço específico possui a capacidade de atender a um objetivo determinado. Essa confirmação é obtida por meio da documentação de testes, e seu propósito principal é verificar e validar um projeto antes que seja efetivamente implementado (Cruz et al., 2022).

4.1 Descrição da empresa e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em uma empresa multinacional do setor de papel e embalagens. Os dados e relatórios provenientes da pesquisa foram coletados na sede florestal, localizada na região norte do estado de Santa Catarina.

O clima da região, conforme a classificação de Köppen, é do tipo Cfb, sendo caracterizado como temperado, com umidade constante, ausência de estação seca e verões frescos. A precipitação média anual é de 1.588,0 mm (EPAGRI, 2001), e a temperatura média mensal mais baixa ocorre em julho, com 11,7°C, enquanto a mais alta é registrada em janeiro, com 21,3°C.

A empresa detém uma base florestal que abrange mais de 50 mil hectares, incluindo florestas plantadas para a obtenção de madeira com propósitos comerciais, bem como áreas de florestas nativas. As fazendas estão situadas na região do Planalto Norte de Santa Catarina e no Sul do Paraná, compreendendo plantações de Pinus e Eucalipto. A empresa centraliza suas operações para produção de celulose e na comercialização de toras de madeira de diversas dimensões. As fazendas estão localizadas a distâncias variáveis da sede florestal, abrangendo um raio entre 30 e 150 km.

4.2 Sistema de Colheita Florestal

O sistema de colheita florestal *Full-tree* adotado pela empresa foi caracterizado por um módulo composto pelo seguinte sistema de máquinas: trator florestal derrubador-empilhador

(*feller-buncher*), trator florestal arrastador (*skidder*), processador e carregador florestal.

O *feller-buncher* (Figura 1) desempenha a função de derrubar árvores e agrupá-las em feixes, sendo posicionado na terceira linha e realizando a derrubada na quinta. Os feixes de árvores, então são arrastados até a margem da estrada pelo *skidder* (Figura 2). Em seguida, o processamento da madeira se inicia, envolvendo as atividades de desgalhamento, traçamento, destopamento e empilhamento, realizadas pelo processador florestal. O processador movia-se na mesma direção das operações de derrubada do *feller-buncher*. Contudo, no sentido oposto, começando o processamento dos feixes de árvores a partir da extremidade do talhão.

Por fim, a madeira era carregada nos veículos de transporte principal por meio de um carregador florestal com esteiras. As características técnicas das máquinas *Feller* e *Skidder*, alvo deste estudo, são detalhadas na Tabela 1.

Figura 1. Feller Tigercat 870D



Fonte: Tigercat (2023)

Figura 2. Skidder Tigercat 635H



Fonte: Tigercat (2023)

Tabela 1. Especificações técnicas das máquinas estudadas

| Máquina | Fabricante | Modelo /implemento | Potência (kw) | Peso Operacional (kg) | Tipo de rodado |
|----------------|-------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|
| FL - 01 | Tigercat | 870D/LOG MAX | 245 | 35565 | Pneus |
| SK - 01 | Tigercat | 635H | 212 | 25130 | Pneus |

Fonte: Tigercat (2023).

4.3 Monitoramento assistido dos equipamentos

No controle e monitoramento das operações, a empresa atualmente depende de um sistema de gestão florestal que exige que os operadores insiram manualmente os dados de eficiência e produção em um dispositivo móvel, com limitação de ferramentas e recursos para possibilitem monitorar estes apontamentos. O equipamento não está diretamente vinculado à máquina, permitindo o livre arbítrio para registrar os apontamentos em diferentes locais e horários, o que poderia impactar a precisão dos dados coletados.

Diante deste cenário, a empresa iniciou uma prova de conceito (PoC) para avaliar a aplicação do sistema de gerenciamento de frota TrackIT (Sistema A) nas operações e comparar com o sistema anterior, que chamaremos de "Sistema B" para fins desta pesquisa. O período de teste do sistema TrackIT durou cinco meses, durante os quais foram registrados dados em ambos os sistemas para fins de validação e comparação.

4.4 Ferramentas e funcionalidades do TrackIT

4.4.1 Computador de bordo

O sistema da *sturtup* Aiko realiza a integração do computador de bordo com a máquina, tornando os registros mais eficientes e ágeis. A tela é sensível ao toque e proporciona acesso automático a informações relevantes, o que permite registros manuais de forma simplificada. A personalização das configurações de botões e atalhos por meio de cores facilita o apontamento pelo operador, tornando o processo ainda mais eficiente.

O computador de bordo possui uma tela de 7 polegadas que executa o sistema Android 5+ e é equipado com 1 GB ou mais de RAM, além de oferecer um armazenamento de 8 GB ou superior. Ele possui conectividade WiFi e GSM e é capaz de armazenar dados offline por mais de 12 meses.

Figura 3. Computador de bordo



Fonte: Aiko (2023)

4.4.2 Mapa histórico de movimentações

O mapa histórico possibilita rastrear os equipamentos e o seu deslocamento no talhão. Além disso, a ferramenta oferece a capacidade de monitorar o desempenho da máquina em locais específicos. O sistema permite a visualização e o registro do histórico de velocidade da máquina em cada trajeto, identificando o operador responsável e registrando as informações de estado apontado durante o turno de trabalho, como paradas operacionais e mecânicas (Figura 4).

Figura 4. Padrão de movimentação do Skidder dentro do talhão



Fonte: Aiko (2023)

4.4.3 Supervisor digital

O supervisor digital oferece uma interface que exibe todos os registros de horas realizados durante o turno, juntamente com os dados de produção e indicadores parciais de desempenho. Esses indicadores são atualizados automaticamente em tempo real com base nos registros lançados pelo operador no computador de bordo, possibilitando uma comparação com as metas predefinidas.

Os indicadores incorporados no sistema da empresa abrangem à disponibilidade mecânica (DM), eficiência operacional (EO), taxa de utilização (TU) e horas trabalhadas. Quando esses indicadores não atingem as metas estabelecidas, são destacados em vermelho, enquanto os que superam as metas são exibidos em verde (Figura 5)

Os operadores têm a flexibilidade de acessar essa tela a qualquer momento durante o turno, permitindo uma avaliação contínua do desempenho de suas operações. Todos esses dados são alimentados pelo computador de bordo, incluindo informações como tempo, produção,

telemetria e GPS.

Figura 5. Tela do Supervisor Digital integrada ao computador de bordo



4.4.4 Telemetria avançada

O sistema de telemetria possibilita a obtenção de dados em tempo real referentes ao estado da máquina. Isso engloba informações importantes, conforme ilustrado na Figura 6, ao reportar quando a máquina está em operação (verde), desligada (rosa) ou em modo de motor ocioso (amarelo).

Em máquinas equipadas com telemetria, é possível obter uma variedade de informações essenciais, como RPM, consumo instantâneo, torque, horímetro, status de ignição, velocidade, por meio de uma interface de fácil acesso e leitura.

Figura 6. Estados de máquina reportados para o processador 01 (SK-01)



Fonte: Aiko (2023)

4.4.5 Plataforma WEB

A plataforma online oferece um serviço que permite acompanhar em tempo real a operação, fornecendo relatórios e telas operacionais para melhorar o controle dos equipamentos. Além disso, a solução é compatível com dispositivos móveis e computadores, permitindo o gerenciamento e análise dos dados de operação de forma flexível.

No sistema web, os usuários têm acesso simultâneo e ilimitado a várias funcionalidades usando filtros rápidos. Esses filtros permitem que os usuários enviem mensagens aos computadores de bordo, localizem ativos, identifiquem a produção e reconheçam alertas dos equipamentos de maneira eficiente.

A interface do sistema fornece informações claras, como a posição e o estado atual dos ativos, dados de telemetria, incluindo horímetro, velocidade, status do equipamento e sinal GPS. Todas as informações de data e hora são atualizadas automaticamente, permitindo aos usuários ver as últimas atualizações da máquina de forma conveniente.

4.4.6 Transmissão dos dados

Os dados operacionais são armazenados na memória do dispositivo, com capacidade de 32GB, o que permite a retenção por pelo menos 12 meses. Quando a conectividade à internet está disponível, essas informações podem ser transmitidas a um servidor na nuvem Microsoft, de forma automatizada. A Figura 7 ilustra as formas de comunicação utilizadas pela plataforma

TrackIT.

Figura 7. Estratégia de comunicação dos dados enviados ao TrackIT



Fonte: Aiko (2023)

Os dados podem ser enviados de diferentes formas, sendo elas: wifi, GSM (GPRS/EDGE/2G/3G/4G), satelital e via coletores de dados (M2M), conforme ilustrado na Figura 6.

Através do uso dessa tecnologia, assegura-se que um conjunto de dispositivos coletores se conecte de forma remota ao computador de bordo das máquinas, possibilitando a coleta de dados. Quando essas máquinas adentram uma área com cobertura de rede, são capazes de transferir todas as informações coletadas.

Figura 8. Coletor de dados (M2M)



Fonte: do Autor (2023).

No projeto piloto, para o *Feller e Skidder*, testou-se a comunicação via wifi, GSM e M2M, considerando à realidade da empresa em relação à localização das fazendas e o nível de conectividade em cada local.

4.5 Taxa de Utilização (%)

A determinação da disponibilidade mecânica e eficiência operacional envolveu cálculos baseados nas equações 1 e 2, respectivamente. Para os propósitos desta pesquisa, o desempenho operacional será calculado a partir da taxa de utilização (TU), a qual foi obtida pela multiplicação desses dois índices.

Equação 1: Cálculo da disponibilidade mecânica (DM)

$$DM = (Th - Hms) / Th * 100$$

Onde:

DM é a disponibilidade mecânica (%);

Hms representa o tempo de paradas para manutenção (h);

Th corresponde ao total de horas programadas.

Equação 2: Cálculo da eficiência operacional (EO)

$$EO = (Eh / Eh + Hos) * 100$$

Onde:

Eh equivale às horas efetivamente produtivas;

Hos representa o tempo de paradas não programadas em horas.

4.6 Análise de dados

A fim de analisar os dados relacionados ao monitoramento das operações em campo, os relatórios referentes ao período entre março e junho de 2023 serão avaliados, abrangendo tanto o primeiro quanto o segundo turno de trabalho.

É importante salientar que o sistema foi implantado em fevereiro de 2023, e as primeiras semanas foram dedicadas aos ajustes necessários para garantir seu pleno funcionamento nas operações. Esse intervalo também corresponde à fase de adaptação dos operadores ao sistema TrackIT.

No sistema B (sem telemetria), foram calculados os índices de Eficiência Operacional (EO) e Disponibilidade Mecânica (DM) para determinar a Taxa de Utilização (TU). Para efeitos de comparação, utilizando os dados de telemetria provenientes do TrackIT, a TU foi obtida a partir do estado de motor ligado em operação (horas operacionais). O software Microsoft Excel foi utilizado para tabulação dos dados, com os resultados visualizados em dashboards gerados no software Power BI.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Telemetria avançada

Os dados de telemetria possuem a capacidade de validar as informações registradas pelos operadores, proporcionando uma maior confiabilidade nas dados disponíveis. Esse aumento na confiabilidade facilitou significativamente o processo decisório em nível de gestão.

A Figura 9 apresenta uma comparação entre os registros de estado durante o turno de trabalho e, abaixo, os dados de telemetria para o equipamento *Skidder*.

Figura 9. Registros de estados do turno e da máquina para o equipamento Skidder na plataforma TrackIT



Legenda: paradas operacionais (amarelo), desligado (rosa), refeição (azul) e operação (verde).

Fonte: Aiko (2023)

A análise dessas informações, durante o período de POC, possibilitou conferir os dados incorretos enviados ao sistema e, conseqüentemente, realizar a contigências desses registros, garantindo uma representação mais precisa dos indicadores-chave avaliados.

5.2 Análise da Taxa de Utilização (TU %) nos Sistemas A e B para o *Feller*

A comparação entre os dois sistemas em relação ao indicador foi realizada com base em dados de telemetria, levando em consideração a mesma carga horária de trabalho. Durante o período analisado, observou-se uma superestimativa na Taxa de Utilização (TU%) do sistema B (sem telemetria) em comparação com o sistema A (TrackIT - com telemetria).

Em relação à média geral da TU para o *Feller* (1º turno), o TrackIT apresentou uma média de 62,75%, enquanto que, para o Sistema B, sem telemetria, a média foi superior, com 67,93%. Ambos os sistemas ficaram abaixo da meta estabelecida pela empresa que era de 69,3%.

A diferença entre esses valores indica uma discrepância significativa de 5,18%, sugerindo que a telemetria pode ser um fator essencial na obtenção de dados mais próximos da realidade operacional para validação, em comparação com os apontamentos realizados pelo operador em campo.

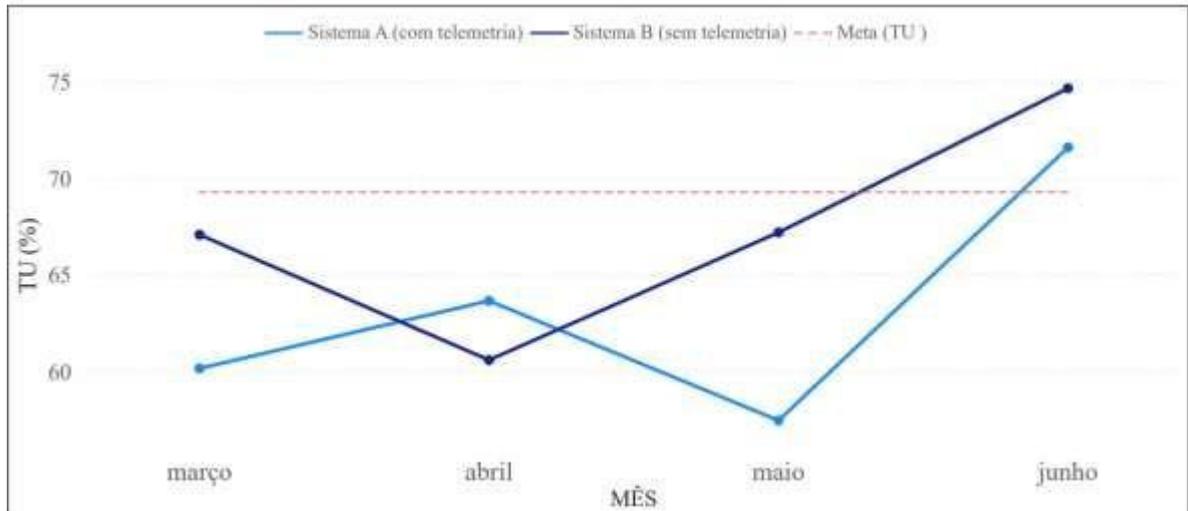
Dentro deste cenário, o monitoramento dos dados de telemetria pode auxiliar em eventuais desvios operacionais. Cechin (2000) destaca que otimizar a eficiência das operações de colheita, visando resultados mais produtivos, é essencial realizar o acompanhamento contínuo dessas atividades. O autor complementa a citação destacando:

“Para aumentar a eficiência das máquinas e equipamentos, na colheita florestal, é necessário conhecer os motivos que ocasionam as perdas de tempo nas atividades, realizar periodicamente manutenções preventivas, planejar adequadamente o sistema de colheita de madeira e diminuir o tempo que estas máquinas ficam paradas.”

A análise da Figura 10 permite uma observação mais detalhada da variação mensal dos dados durante o período sob análise. O Sistema B apresentou uma média superior do indicador ao longo do tempo, com exceção do mês de abril. Nesse mês, observou-se uma quantidade

significativa de lançamentos incorretos no Sistema B, identificados tanto pela telemetria do TrackIT quanto por outras ferramentas disponíveis no próprio sistema, como o mapa histórico.

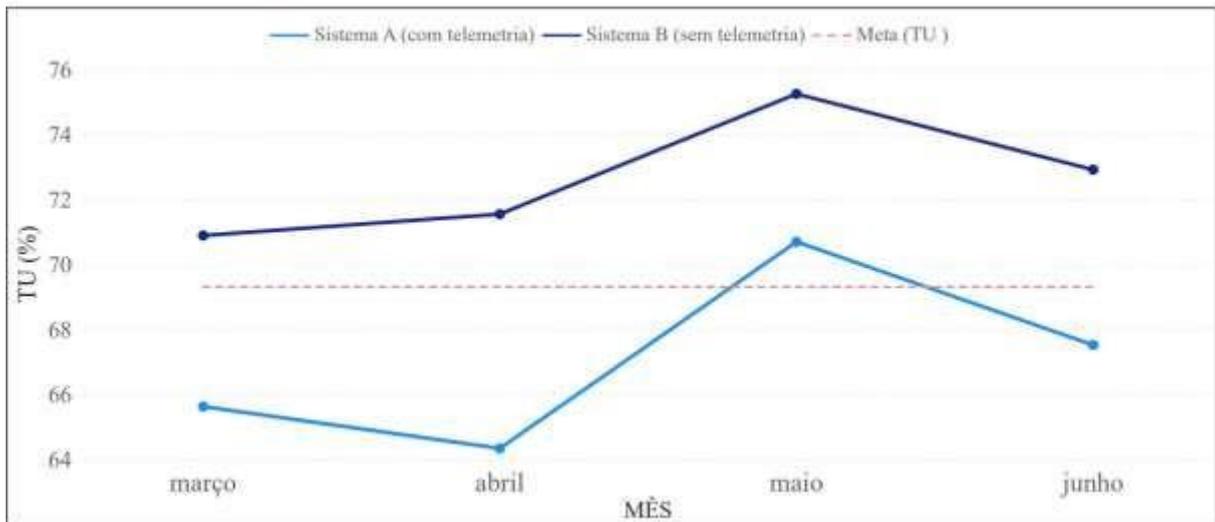
Figura 10. Gráfico de comparação da Taxa de Utilização (%) do feller no 1º Turno entre os Sistemas A (com Telemetria) e B (sem Telemetria)



Fonte: do Autor (2023).

No mesmo equipamento, durante o segundo turno, observa-se uma tendência similar. A diferença é que, ao longo do período de análise, a média de TU para o Sistema B permaneceu acima em comparação com o Sistema A. Apenas no mês de maio, a meta de 69,3% foi ultrapassada por ambos os sistemas (Figura 11). A discrepância na variação média da TU entre os dois sistemas foi de 5,4%, valor semelhante ao encontrado no primeiro turno, com médias de 72,76% para o Sistema B e 67,36% para o sistema TrackIT.

Figura 11. Gráfico de comparação da Taxa de Utilização (%) do feller no 2º Turno entre os Sistemas A (com Telemetria) e B (sem Telemetria)



Fonte: do Autor (2023).

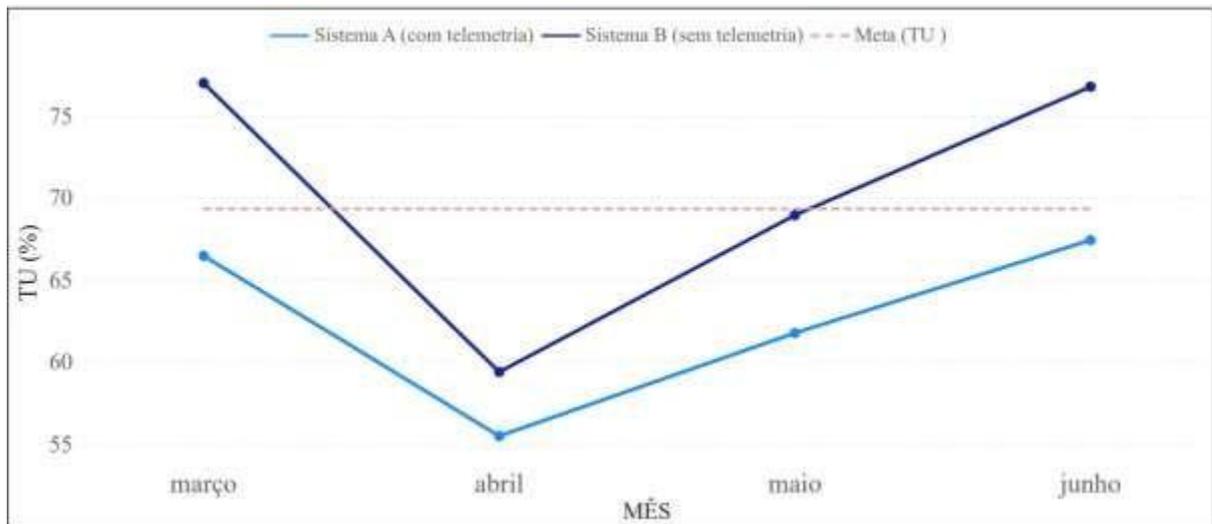
5.3 Análise da Taxa de Utilização (TU %) nos Sistemas A e B para o *Skidder*

Na operação de arraste, os resultados evidenciam uma discrepância ainda maior em relação à TU para os dois sistemas, permanecendo a margem superior para o Sistema B. No primeiro turno, os valores médios registrados foram, respectivamente, 63,02% e 70,92% para o TrackIT e o sistema sem telemetria.

Até o mês de abril, observamos que a variação média da TU apresenta uma queda, que justifica-se pela carga horária maior em relação ao deslocamento de operador e mudança da máquina para outra região, que impactaram na eficiência operacional e, consequentemente, na TU (Figura 12).

Se consideramos apenas os dados do TrackIT, a diferença percentual entre a média reportada pela telemetria e a meta estabelecida, é de 6,28 %. Peloia & Milan (2010) reiteram a importância da avaliação e monitoramento do desempenho operacional de máquinas florestais como elementos fundamentais para a gestão e apoio à tomada de decisões, abrangendo desde o nível estratégico até o operacional.

Figura 12. Gráfico de comparação da Taxa de Utilização (%) do Skidder no 1º Turno entre os Sistemas A (com Telemetria) e B (sem Telemetria)

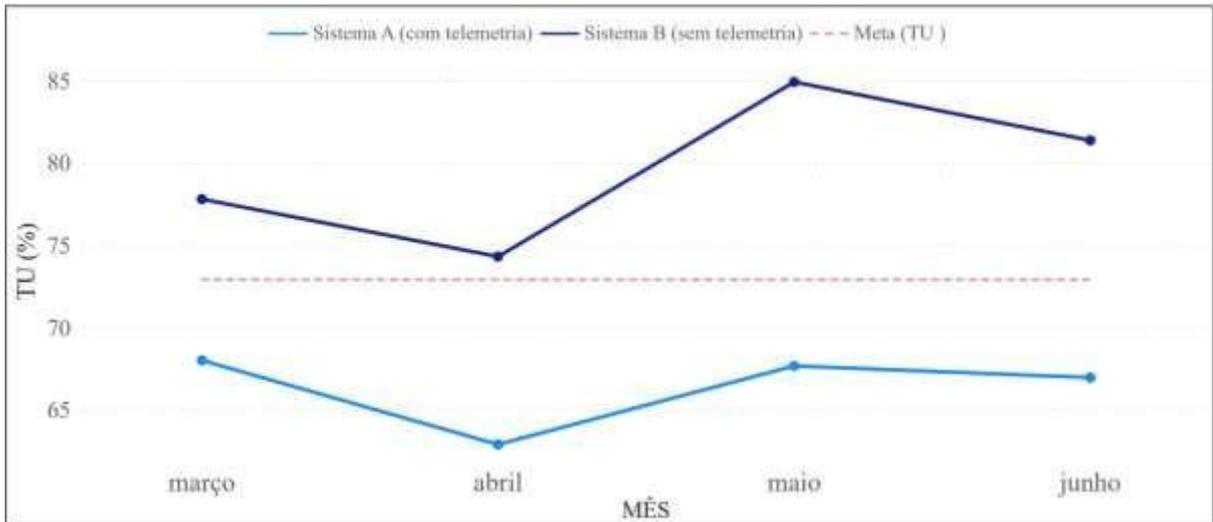


Fonte: do Autor (2023).

A disparidade mais significativa na comparação do indicador foi observada no Skidder durante o segundo turno. A variação atingiu 13,15% de superestimativa da Taxa de Utilização (TU) para o Sistema B em comparação com o Sistema A, com médias registradas de 79,64% e 66,49%, respectivamente.

A Figura 13 destaca a variação ao longo do período de análise, evidenciando que, dentro da análise do Sistema B, os resultados para a Taxa de Utilização (TU%) mantiveram-se consistentemente acima da meta preestabelecida (72,90%) ao contrário dos dados relatados pela telemetria, que apresentou uma diferença de 7,81%, indicando valores inferiores. As médias registradas foram de 79,64% para o Sistema B e 66,49% para o Sistema A.

Figura 13. Gráfico de comparação da Taxa de Utilização (%) do skidder no 2º Turno entre os Sistemas A (com Telemetria) e B (sem Telemetria)



Fonte: do Autor (2023).

Os valores de Taxa de Utilização (TU), provenientes dos dados de telemetria dos equipamentos, sugerem que há oportunidades de melhoria nas operações de colheita da empresa. Conforme mencionado por Naji et al. (2019), os elevados índices de utilização de máquinas indicam o êxito das estratégias de planejamento operacional e dos programas de manutenção preditiva, preventiva e corretiva implementados pela empresa. A ocorrência frequente de taxas de utilização de máquinas florestais superiores a 70% evidencia o avançado estágio de desenvolvimento da colheita florestal mecanizada, conforme destacado por Dodson et al. (2015).

Segundo Alves (2006), os gestores em empresas florestais costumam gerenciar um volume considerável de informações. Esses dados desempenham um papel essencial no respaldo das decisões de curto e longo prazo, resultando na constante geração de dados que alimentam as bases de dados existentes. Dentro desse contexto, a análise dos dados de telemetria possibilita a identificação de padrões operacionais, a otimização de processos eo aperfeiçoamento do desempenho operacional na colheita florestal, embasando decisõesde maneira ágil e assertiva nas empresas.

5.4 TrackIT: confiabilidade e precisão de dados enviados ao sistema

Além dos resultados decorrentes da aplicação das ferramentas mencionadas anteriormente, integradas no TrackIT, identificou-se outros recursos do sistema que desempenharam um papel fundamental na confiabilidade e precisão dos dados monitorados na plataforma online do sistema. A seguir, são destacados alguns dos recursos, adaptações e customizações implementados durante a fase de prova de conceito (PoC).

5.4.1 Mapa histórico

O mapa histórico proporcionou uma compreensão mais aprofundada do padrão de movimentação dos equipamentos ao rastrear seu deslocamento no talhão. Observou-se um maior deslocamento da máquina na busca e localização dos primeiros feixes de árvores, o que tende a impactar no consumo de combustível e no desgaste de componentes, como pneus e esteiras. Os deslocamentos diários estavam 10 km acima da meta estabelecida para a atividade de arraste, e a partir do mapa histórico identificou-se a possibilidade de rotas mais otimizadas dentro do talhão.

Além disso, a funcionalidade de histórico de movimentações dos equipamentos proporcionou uma visão detalhada da operação em qualquer período da POC. Isso auxiliou no acompanhamento das atividades realizadas, incluindo manobras e análises de incidentes, fornecendo informações a respeito do desempenho do equipamento em locais e condições específicas entre fazendas e talhões.

5.4.2 Supervisor digital

Para avaliar o desempenho de rendimento e eficiência de cada atividade por meio de indicadores, estabelecia-se uma meta com base no equipamento e a operação de arraste ou derrubada. No entanto, no projeto piloto, uma das principais dificuldades identificadas em campo foi a falta de familiaridade dos operadores com os indicadores (EO, DM e TU) e suas metas pré-estabelecidas.

A ferramenta do supervisor digital possibilitou uma melhor gestão em relação ao desempenho dos operadores durante o turno de trabalho. Dentro da cabine, o acesso a todos os indicadores era facilitado, sendo atualizados em tempo real, de acordo com os registros de

eficiência e dados de produção. Isso facilitou o mapeamento de oportunidades de melhoria e, ao mesmo tempo, reduziu a sobrecarga dos líderes em campo.

5.4.3 Detecção de equipamentos em estado de operação e parada

Por meio da captação de dados nativos do computador de bordo do sistema, que incluem GPS, acelerômetro e giroscópio, ou por meio de sensores instalados na máquina, foi possível identificar o comportamento operacional, distinguindo entre momentos em que a máquina está em operação ou parada.

Adicionalmente, quando o operador indicava um estado de turno inconsistente com a realidade do estado da máquina, o sistema gerava alarmes dentro da cabine, alertando-o para corrigir o registro no computador de bordo. Em caso de ausência de correção, o sistema, após um período estipulado, ativava os estados de parada e operação não apontada, simplificando assim a gestão de registros incorretos na plataforma online (Figura 14).

Figura 14. Interface de alerta para detecção de movimento.

| Parada detectada, mude para um estado compatível. | | | |
|---|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 24 - FALTA DE MÃO DE OBRA (CONTRATAÇÃO) | 25 - AGUARDANDO TRANSPORTE | 29 - FALTA DO COLABORADOR | 32 - AGUARDANDO REFEIÇÃO |
| 33 - DDS/ LABORAL/CAFÉ/ EPI | 45 - AGUAR. TRANSP. EQUIPA. | 46 - FÉRIAS | 52 - INSPEÇÃO DIÁRIA |
| 54 - EQUIPE EM TRANSPORTE | 55 - AGUAR. TRANSP. M.O | 57 - EXAME SAÚDE | 65 - PARADA ORIENTADA |
| 48 - AGUAR. FRENTE OP. CON. | 49 - FALTA CAMINHÃO AP. OPER. | 10 - FIM DE TURNO | |

Fonte: Aiko (2023)

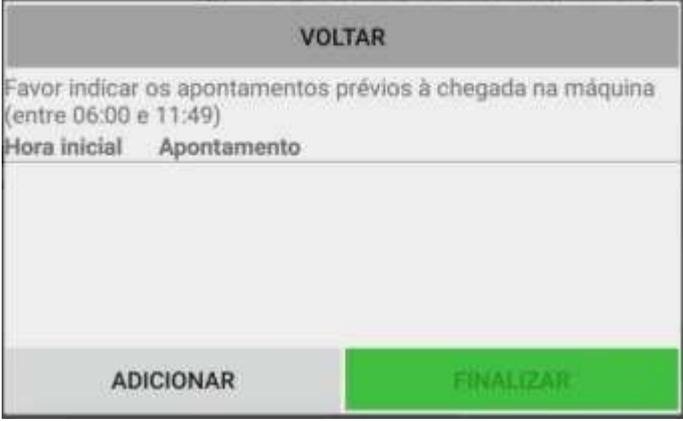
5.4.4 Apontamento retroativo

O operador, ao chegar na máquina em um horário acima ao que é determinado habitualmente para iniciar o turno de trabalho, registrava o apontamento retroativo. Sabe-se que, devido as diversas circunstâncias que ocorrem operacionalmente em campo, pode ocorrer oscilações em relação à chegada na máquina, como a questão do deslocamento do operador.

Dentro deste cenário, o apontamento retroativo auxiliou nas especificações de cada motivo de parada, podendo estes serem quebrados em diferentes motivos. A Figura 15 ilustra a

solicitação do apontamento retroativo no computador de bordo.

Figura 15. Interface para registro retroativo de apontamentos.



| Hora inicial | Apontamento |
|--------------|-------------|
|--------------|-------------|

Fonte: Aiko (2023)

5.4.5 Configuração do limite de tempo para códigos de paradas operacionais

No âmbito do projeto piloto, implementou-se a funcionalidade de estabelecer um limite para certos códigos no sistema, centrando-se principalmente no horário de refeição. Dado que, no sistema B, os apontamentos eram realizados de maneira arbitrária pelos operadores, essa personalização resultou em um aumento significativo de apontamentos após o período de refeição.

Constatou-se, portanto, que em parte dos apontamentos lançados no sistema B não era registrado códigos entre o intervalo de refeição e a retomada das operações em campo. Diante dessa constatação, ao considerar o limite de 1 hora estabelecido, o sistema solicitava o apontamento retroativo quando o operador chegava na máquina, abrangendo atividades como deslocamentos e eventuais reuniões ocorridas após o almoço ou jantar (Figura 16).

Figura 16. Limite de tempo para o apontamento de refeição, destacado em azul



Legenda: paradas operacionais (amarelo), paradas mecânicas (vermelho), refeição (azul) e operação (verde).

Fonte: Aiko (2023)

6 CONCLUSÃO

As abordagens da Floresta 4.0, além de inovar no mercado ao oferecer equipamentos altamente produtivos, incorpora tecnologias que permitem o acesso de informações em tempo real em relação às operações realizadas, suportadas pelo conceito de Iot (Internet das Coisas). Essas informações vão desde indicativos simples, como ligar/desligar do motor, até os dados que capacitam o equipamento a corrigir automaticamente o estado de eficiência e produção apontados pelo operador.

A condução da Prova de Conceito (POC) foi fundamental para avaliar a aplicabilidade das ferramentas disponibilizadas pelo TrackIT no contexto atual da empresa objeto deste estudo. Entre as vantagens proporcionadas pelo uso deste sistema, destaca-se a mitigação de erros e inconsistências na obtenção de dados relacionados à operação de colheita florestal.

Através do sistema TrackIT, foi possível mapear os indicadores reais em relação à taxa de utilização (TU) para o *feller* e *skidder*, confrontando-os com o sistema B (sem telemetria), e, conseqüentemente, proporcionando uma tomada de decisão de forma mais assertiva em termos de gestão.

A implementação do apontamento eletrônico, no computador de bordo, e a utilização dos relatórios de gerenciamento do TrackIT, apresentaram-se como elementos que simplificaram e otimizaram a gestão das atividades. Evidencia-se que, em um futuro próximo, essas ferramentas se tornarão imprescindíveis para assegurar um gerenciamento eficaz e promover ganhos operacionais na colheita florestal.

7 REFERÊNCIAS

Ahlborn, T.M., Shuchman, R., Brooks, C.N., Harris, D.K., Burns, J.W., Roussi, C., Dobson, R., Vaghefi, K. & Oats, R.C. (2010) **An evaluation of commercially available remote sensors for assessing highway bridge condition**. Journal of Bridge Engineering, v. 17, n. 6, p. 886-895.

ALHAMED, F. et al. **P4 Telemetry collector**. Computer Networks, v. 227, p. 109727, 2023.

BEN-DAYA, Mohamed; HASSINI, Elkafi; BAHROUN, Zied. **Internet of things and supply chain management: a literature review**. International journal of production research, v. 57, n. 15-16, p. 4719-4742, 2019.

BROUS, Paul et al. **Factors Influencing Adoption of IoT for Data-driven Decision Making in Asset Management Organizations**. In: IoTBDS. 2017. p. 70-79.

CAMARGO JUNIOR, Reinaldo Rocha de. **Análise de sistemas de colheita de povoamentos de eucalipto com baixa produtividade**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CECHIN, Nirlene Fernandes. **Análise da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e dos equipamentos utilizados no corte raso de povoamentos florestais na região do planalto norte de Santa Catarina**. 2013.

CHOUDHRY, Harsh; O'KELLY, Glen. **Precision forestry: a revolution in the woods**. Paper, Forest Products & Packaging, 2018.

CRUZ, Rodrigo Fontes; JÚNIOR, Methanias Colaço; GOIS, Victor Menezes. **How experimental and strategic are Business Intelligence (BI) and Data Mining applications?**. Revista Ibero-Americana de Estratégia, v. 21, n. 1, p. 17689, 2022.

DANTAS, M. B.; ANDREOLI, C. V. **Código Florestal Anotado: Observações de ordem técnica e judicial**. Editora Lumen Juris, 2017.

DA XU, Li; HE, Wu; LI, Shancang. **Internet of things in industries: A survey**. IEEE Transactions on industrial informatics, v. 10, n. 4, p. 2233-2243, 2014.

DE MATTOS, A. N. **Telemetria e conceitos relacionados**. Alessandro Nicoli de Mattos, 2004.

HOUNSELL, N. B. et al. **Review of urban traffic management and the impacts of new vehicle technologies**. IET intelligent transport systems, v. 3, n. 4, p. 419-428, 2009.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina. **Dados e informações bibliográficas da unidade de planejamento regional litoral sul catarinense – UPR8**. Florianópolis: EPAGRI, 2001. 1 CD ROM.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. **Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies**. International journal of production economics, v. 210, p. 15-26, 2019.

FRANSSON, P.; BRÄNNSTRÖM, Å.; FRANKLIN, O. **A tree's quest for light—optimal height and diameter growth under a shading canopy**. Tree physiology, v. 41, n. 1, p. 1-11, 2021

FREITAS, L. C. de et al. **Avaliação ambiental do processo de inovação tecnológica na colheita florestal**. Revista Árvore, v. 35, p. 329-339, 2011.

GONÇALVES, ALÉCIO FERREIRA. **A COLHEITA FLORESTAL DO SÉCULO XXI “Foco nas novas estruturas e tecnologias aplicadas à colheita mecanizada de corte raso de eucalipto”**. Especialista em Gestão Florestal) – Universidade federal do Paraná. Curitiba, 2008.

GSMA Intelligence. 2020. **Global Mobile Trends2021**

HERMANN, Mario; PENTTEK, Tobias; OTTO, Boris. **Design principles for industrie**

4.0 scenarios. In: 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS). IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HORVÁTH, Dóra; SZABÓ, Roland Zs. **Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?.** Technological forecasting and social change, v. 146, p. 119-132, 2019.

JALBA, Liviu et al. **Trackview–fleet tracking solution using Global Positioning System.** IFAC Proceedings Volumes, v. 43, n. 8, p. 238-243, 2010.

JOSGRILBERG, Fabio; LEMOS, André. **Comunicação e mobilidade: aspectos socioculturais das tecnologias móveis de comunicação no Brasil.** EdUFBa, 2009.

HACKER, Marla E.; BROTHERTON, Paul A. **Designing and installing effective performance measurement systems.** IIE solutions, v. 30, n. 8, p. 18-24, 1998.

KEBANDE, V. R. **Industrial internet of things (IIoT) forensics: The forgotten concept in the race towards industry 4.0.** Forensic Science International: Reports, v. 5, p. 100257, 2022.

LINHARES, Mariana et al. **Eficiência e desempenho operacional de máquinas harvester e forwarder na colheita florestal.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 42, p. 212-219, 2012.

LOPES, E. da S. et al. **Avaliação técnica e de custos de um sistema de cabos aéreos na extração de Pinus taeda L. em região montanhosa.** Scientia Forestalis (Brazil), v. 39, n. 91, 2011.

LONG, M.; JORDAAN, A.; CASTRO-SANTOS, T. **Environmental factors**

influencing detection efficiency of an acoustic telemetry array and consequences for data interpretation. *Animal Biotelemetry*, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2023.

MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 2. Ed. Atual. E ampl. – Viçosa, MG, Ed. UFV, 2008.

MACHADO CC, LOPES ES. **Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal.** *Cerne*. 2000;6(2):124-9

MAGRANI, Eduardo. **A Internet das Coisas no Brasil**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.

MÜLLER, Fabian; JAEGER, Dirk; HANEWINKEL, Marc. **Digitization in wood supply—A review on how Industry 4.0 will change the forest value chain.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 162, p. 206-218, 2019.

NETO, José Morelli; CABRAL, Rodrigo Becke. **PROPOSTA DE UM PADRÃO PARA A COMUNICAÇÃO DE DADOS EM SISTEMAS DE TELEMETRIA BASEADO EM WEB SERVICES**. Universidade do Vale do Itajaí, UNIVALI.

PEREIRA, F. B. **Sensores IoT para pesquisa florestal**. Orientador: Dr. Rui Tadashi Yoshino. 2020. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Especialização em Indústria 4.0, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, 2020.

Rathore, M.M., Ahmad, A., Paul, A. & Thikshaja, U.K. (2016), **Exploiting real-time big data to empower smart transportation using big graphs**. 2016 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), p. 135- 139.

REZENDE, J. L.; FIEDLER, N. C.; MELLO, J. M.; SOUZA, A. P. **Análise técnica e de custos de métodos de colheita e transporte florestal**. *Boletim Agropecuário*, 22.1997. 50 p

SAHAL, Radhya et al. **Industry 4.0 towards Forestry 4.0: Fire detection use case.** Sensors, v. 21, n. 3, p. 694, 2021.

SCHETTINO, Stanley et al. **Influência de fatores ergonômicos na produtividade do sistema homem-máquina na colheita florestal mecanizada.** Sci. For, v. 50, p. e3779, 2022.

SICHONANY, Oni Reasilvia de Almeida Oliveira et al. **Sistema de apoio à decisão para utilização no agronegócio (SADA): telemetria e tratamento de dados de desempenho de máquina de colheita.** 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria

SILVA, R. S.; FENNER, P. T.; CATANEO, A. **Desempenho de máquinas florestais de colheita: derrubador-processador Slingshot sobre as esteiras.** SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, v. 6, p. 267-279, 2003.

SIMÃO, L. **Floresta 4.0: Como os Conceitos da Indústria 4.0 estão Revolucionando o Setor Florestal.** B. Forest, v. 59, 2019.

UDALI, A. et al. **Logging Residue Assessment in Salvage Logging Areas: a Case Study in the North-Eastern Italian Alps.** South-east European forestry, v. 14, n. 1, p. 23-07, 2023.

VISSOTO, D. **Transmissão de dados via telemetria: uma opção de comunicação remota.** São Paulo. Relatório técnico, 2000.

ZAMBON, I. et al. **Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future developmentfor SMEs.** Processes,v.7,n.1,p.36,20