



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MATHEUS OLIVEIRA MAZETTO

Implementação de ferramentas 4.0 na gestão de manutenção em uma operação florestal

Uberlândia

2024

MATHEUS OLIVEIRA MAZETTO

Implementação de ferramentas 4.0 na gestão de manutenção em uma operação florestal

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luciano José Arantes

Uberlândia

2024

MATHEUS OLIVEIRA MAZETTO

Implementação de ferramentas 4.0 na gestão de manutenção em uma operação florestal

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, pela banca examinadora formada por:

Uberlândia, 11 de novembro de 2024.

Prof. Dr. Luciano José Arantes - Orientador

Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Me. Felipe Chagas Rodrigues de Souza

AGRADECIMENTOS

Este trabalho de conclusão de curso representa o encerramento de uma fase profundamente significativa da minha vida, marcada por intensas aprendizagens, desafios superados e a construção de laços e conhecimentos que levarei para sempre. Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força, inspiração e amparo em todos os momentos dessa jornada.

Expresso minha gratidão aos meus pais, Regina Maura e Luiz Carlos, e à minha irmã, Isabella. Sem o apoio, a compreensão e o incentivo incondicional de vocês, esse momento não seria possível. Vocês foram o meu alicerce, e é com imenso carinho que compartilho esta conquista com vocês.

Agradeço, também, aos professores que, com dedicação e competência, me guiaram ao longo desse percurso acadêmico. Suas orientações e ensinamentos foram fundamentais para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Meus sinceros agradecimentos vão, igualmente, aos colegas de curso e aos amigos do trabalho, que, direta ou indiretamente, contribuíram para essa realização. A parceria, o apoio mútuo e as trocas de experiências foram essenciais para tornar essa caminhada mais leve e enriquecedora.

Matheus Oliveira Mazetto

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar a implementação de ferramentas da Indústria 4.0 no contexto da manutenção mecânica florestal, especificamente em uma empresa do setor de celulose. A transição do uso de sistemas manuais para aplicativos de manutenção e tecnologias avançadas, como o StarLink para conectividade em campo, demonstrou ser fundamental para garantir maior precisão e agilidade no processo de manutenção. Com o uso dessas ferramentas, foi possível otimizar indicadores de desempenho como o Tempo Médio Entre Falhas (Mean Time Between Failures - MTBF) e o Tempo Médio Para Reparo (Mean Time To Repair - MTTR), além de proporcionar o monitoramento em tempo real de ordens de serviço pelo SAP. O estudo também destaca a importância da sincronização imediata das informações, principalmente em áreas remotas, e os benefícios gerados pela análise detalhada dos dados coletados diretamente pelos mecânicos no campo. Os resultados mostram que a digitalização dos processos trouxe maior confiabilidade nas informações, reduzindo o tempo de resposta e garantindo a execução eficiente das ordens de manutenção.

Palavras-chave: Manutenção Florestal. StarLink. Ferramentas 4.0. Gestão de Manutenção.

ABSTRACT

This study aims to analyze the implementation of Industry 4.0 tools in the context of forest mechanical maintenance, specifically in a company within the cellulose sector. The transition from manual systems to maintenance applications and advanced technologies, such as StarLink for field connectivity, has proven essential to ensure greater accuracy and agility in the maintenance process. With the use of these tools, it was possible to optimize performance indicators such as Mean Time Between Failures (MTBF) and Mean Time to Repair (MTTR), in addition to enabling real-time monitoring of service orders through SAP. The study also highlights the importance of immediate synchronization of information, especially in remote areas, and the benefits generated by the detailed analysis of data collected directly by field mechanics. The results show that process digitization brought greater reliability to information, reducing response time and ensuring efficient execution of maintenance orders.

Keywords: Forest Maintenance. StarLink. Industry 4.0 Tools. Maintenance Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução das Técnicas de Manutenção	15
Figura 2 - Organograma de um Departamento de Manutenção	20
Figura 3 – Mapa indicativo da intensidade do sinal de 3G e 4G no território nacional	22
Figura 4 – Mapa de disponibilidade de internet da StarLink	23
Figura 5 - Representação esquemática da nuvem de dados	24
Figura 6 – Correlação entre os 4 Vs do Big Data.....	25
Figura 7 – Modelo de etiqueta de manutenção.....	28
Figura 8 – Representação do SAP	29
Figura 9 - Tela do aplicativo de manutenção	30
Figura 10 – Tratamento da demanda	31
Figura 11 - Fluxograma de Manutenções Programadas 3.0	32
Figura 12 - Fluxograma de Manutenções Corretivas 3.0	33
Figura 13 - Fluxograma de Manutenções Preventivas com mobilidade	34
Figura 14 - Fluxograma de Manutenções Corretivas com mobilidade	36
Figura 15 - Fluxograma de Manutenções Corretivas 3.0	38
Figura 16 - Antena Starlink utilizado no Feller.....	39
Figura 17 - Router Starlink na cabine do Feller.	39
Figura 18 - Detalhes do SAP IW 23	40
Figura 19 - Informações da Nota - IW23	41
Figura 20 - Apontamentos da Nota – IW 23	41
Figura 21 - Foto do sistema com as solicitações abertas.....	42
Figura 22 - Tabela do MTTR - FELLER (Janeiro – Setembro).....	43
Figura 23 - Tabela MTBF FELLER (Janeiro – Setembro)	44
Figura 24 - Pareto Sistema – Eventos Feller	45

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ERP	Planejamento de Recursos Empresariais
KPIs	<i>Key Performance Indicators</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
PM	<i>Plant Maintenance</i>
SAP	Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivo Específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Conceito de Manutenção e seu desenvolvimento	15
2.1.1	Primeira Geração	16
2.1.2	Segunda Geração	16
2.1.3	Terceira Geração	16
2.1.4	Quarta Geração	17
2.2	Tipos de manutenção	17
2.2.1	Manutenção Corretiva	18
2.2.2	Manutenção Preventiva	18
2.2.3	Manutenção Preditiva	19
2.3	Estrutura organizacional da área de manutenção	20
2.4	Ferramentas 4.0 na Manutenção	21
2.4.1	Conectividade rural	21
2.4.2	Internet das coisas	23
2.4.3	Nuvem de Dados	24
2.4.4	Big Data	24
2.4.5	Sistema de controle mobile	25
3	METODOLOGIA	27
3.1	Apresentação da empresa	27
3.2	Classificação da pesquisa	27
3.3	Etapas da implementação das ferramentas 4.0	27
3.3.1	Identificação da Demanda (Substituição da Etiqueta pelo aplicativo)	27
3.3.2	Tratamento da demanda	30
4	PLANO DE ANÁLISE DE DADOS	40
4.1	Exemplo de Corretiva Mecânica com a utilização do Aplicativo (Visualização da nota na IW23)	40
4.2	IW29 (relatório de exibição de notas) em tempo real	41
4.3	Análise do MTTR (Mean Time to Repair)	42
4.4	Análise do MTBF (Mean Time Between Failures)	43
4.5	Análise de Falhas por Sistema (Pareto Sistema)	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1	Implementação De Monitoramento Em Tempo Real	47
5.2	Otimização dos indicadores de manutenção (MTTR e MTBF)	47
5.3	Aumento da confiabilidade dos dados	48
5.4	Conectividade em áreas remotas	48
6	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Detentor de um território continental, o Brasil apoia-se no agronegócio como um de seus pilares para a geração de riqueza, representando 27,5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em 2021, sendo que o setor florestal é uma parcela importante desse segmento (Dias *et al.* 2023). Com sua vasta extensão territorial e biodiversidade única, o setor florestal possui grande relevância não só econômica, mas também social e ambiental no país. Ao longo das duas últimas décadas, o setor tem investido fortemente em inovação tecnológica e se beneficiado desses avanços, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do agronegócio brasileiro.

O avanço tecnológico e a crescente demanda por eficiência e produtividade impulsionaram o setor florestal a adotar novas práticas e inovações ao longo dos anos. Com o surgimento de novas tecnologias, especialmente no contexto da chamada Indústria 4.0, a automação, o monitoramento e a análise de dados em tempo real tornaram-se essenciais para a gestão de manutenção mais sustentáveis e eficientes.

Assim como explica Viana (2014), em 1777, com o projeto de James Watt, a máquina a vapor foi um marco devido à sua capacidade de gerar força, sendo um dos símbolos da Primeira Revolução Industrial, que transformou as fábricas que ganharam força para escalar seus produtos, diminuindo os custos, aumentando o mercado produtor e movimentando o fluxo de capital de uma forma nunca vista.

O advento da eletricidade, em diversas fases entre 1850 e o fim da 2ª Guerra Mundial, viabilizado pelos estudos de Nikola Tesla, Thomas Edison e George Westinghouse, substituiu as grandes máquinas a vapor por motores elétricos, mais potentes e versáteis. Dessa forma, um marco para a 2ª fase da Revolução Industrial foi o livro *Princípios de Administração Científica* (Taylor, 1990), do engenheiro mecânico Frederick Taylor, que trouxe uma verdadeira revolução às fábricas.

Outro marco para a administração científica foi o lançamento do Ford T, um produto de sucesso criado por Henry Ford. Com o sucesso de seu automóvel, ele sentiu a necessidade de aumentar a produção, aplicando o conceito de linhas de montagem em movimento.

Após o fim da 2ª Guerra Mundial, com os avanços tecnológicos oriundos dos esforços de guerra, dá-se início à 3ª Revolução Industrial, sendo que dois semicondutores foram fundamentais para isto: o germânio e o silício, criando os circuitos integrados, base para o surgimento de computadores menores e mais rápidos. A partir daí, a informática começou a se expandir rapidamente, facilitando o desenvolvimento de sistemas de produção automatizados

e tecnologias da informação, pavimentando o caminho para a globalização e a era da informação que vivemos atualmente, possibilitando à indústria uma elevação de produtividade no trabalho, com captura, processamento e transmissão de dados.

Observa-se que, desde 1777, o homem e a máquina estabeleceram uma relação de busca constante por maior produtividade, qualidade total em serviços e produtos, além de uma melhor gestão ambiental. Esse processo culminou na 4ª Revolução Industrial, que está em curso no mundo atualmente, e foi denominada pelos alemães como “Indústria 4.0”.

As empresas estão sempre buscando a modernização e o aperfeiçoamento de sua gestão com o objetivo de aumentar a produtividade e reduzir os custos associados ao processo. Segundo Lima (2019, p. 44), “garantir que a manutenção é efetuada de forma eficiente significa que um equipamento ou sistema específico terá uma maior disponibilidade produtiva, levando a organização a atingir melhores resultados”. Assim, o plano de manutenção da empresa assegura que o produto seja fabricado e concluído com sucesso.

Nesse contexto, o presente trabalho consiste em um estudo de caso realizado em uma fábrica de celulose, com foco na gestão de manutenção do setor florestal. O estudo discorre sobre a implementação de novas tecnologias, analisando as vantagens decorrentes dessas implementações.

Este trabalho tem como objetivo descrever os procedimentos e ferramentas existentes na gestão de manutenção convencional, assim como a transição que vem ocorrendo devido às tecnologias emergentes em desenvolvimento no mercado no cenário da Indústria 4.0. A elaboração deste estudo busca conceituar o tema de forma objetiva, expondo as tecnologias atuais no setor secundário em paralelo com a quarta revolução industrial. Nessas circunstâncias, a gestão da manutenção ganha destaque, visto que o dinamismo e a confiabilidade da linha produtiva dependem diretamente da preservação dos maquinários e processos. Portanto, o gerenciamento e planejamento deste setor devem estar em constante evolução. A implantação de sistemas móveis com conectividade em campo constitui uma tecnologia disruptiva, proporcionando ganhos de agilidade e confiabilidade na informação.

A implementação de ferramentas 4.0 na manutenção industrial tem se mostrado uma oportunidade promissora para aumentar a confiabilidade na gestão de dados e processos. Durante minha experiência profissional na área de manutenção, percebi que, apesar da evolução tecnológica e da disponibilidade de ferramentas digitais avançadas, muitas empresas ainda utilizam métodos manuais para o controle e a gestão das atividades de manutenção. Esse modelo tradicional, embora funcional, apresenta limitações, especialmente no que se refere à precisão, agilidade e rastreabilidade das informações.

Ao integrar soluções tecnológicas modernas, como aplicativos de manutenção e sistemas de sincronização automática, a confiabilidade das informações fornecidas pela equipe de manutenção é significativamente aprimorada. Ferramentas 4.0 permitem que dados sejam coletados diretamente pelos mecânicos em campo, garantindo maior precisão e reduzindo a margem de erro associada ao uso de fichas manuais. Essa digitalização facilita o monitoramento em tempo real das solicitações e ordens de serviço, possibilitando maior controle e fluidez dos processos, portanto justifica-se este estudo uma vez que soluções tecnológicas modernas podem corroborar com a gestão da manutenção e trazer maior confiabilidade para os indicadores operacionais.

A implantação dessas ferramentas será de extrema importância para a empresa, pois permitirá que a equipe de manutenção tenha acesso a dados confiáveis, que poderão ser confrontados com informações de outras áreas, promovendo uma análise integrada e precisa. Esse modelo garante que todas as solicitações feitas em campo sejam devidamente registradas e atendidas, além de assegurar que os itens de segurança estejam em conformidade. Ao eliminar a dependência de fichas manuais, que levam tempo para serem processadas e inseridas no sistema, os processos se tornarão mais ágeis, beneficiando tanto a operação quanto a gestão estratégica da manutenção.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo de caso na empresa “X”, a fim de analisar o desempenho das ferramentas tecnológicas implantadas na gestão de manutenção, validando seu funcionamento e medindo os ganhos quando comparados aos métodos antigos utilizados nas operações florestais.

1.1.2 Objetivo Específicos

Visando atingir o objetivo geral, foram definidos **três objetivos específicos** listados abaixo:

- Realizar um levantamento bibliográfico e estudo documental relacionado ao tema do projeto, identificando os principais termos e conceitos que representam a transição das práticas tradicionais de manutenção florestal para o modelo de Manutenção 4.0,

utilizando indicadores como ferramentas de análise de dados qualitativos;

- Investigar a demonstração comparativa entre o modelo tradicional anteriormente usado na gestão da manutenção e o modelo com ferramentas 4.0, avaliando os ganhos deste novo modelo de solução para o Planejamento e Controle de Manutenção (PCM);
- Analisar se a implementação de um aplicativo de manutenção em campo, integrado ao *software* ERP de gestão de manutenção (SAP PM) traz vantagens competitivas reais na gestão de manutenção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceito de Manutenção e seu desenvolvimento

A palavra “manutenção” advém do termo em latim *manus tenere*, cujo significado é “manter o que se tem em mãos”, conforme explica Ferraz Júnior (2009). Assim, a manutenção é o conjunto de atividades voltadas para manter os bens de produção em perfeito estado produtivo. Dessa forma, a manutenção torna-se um setor com responsabilidade direta de garantir a disponibilidade dos ativos de uma empresa, sendo essa disponibilidade o resultado de uma gestão de manutenção eficiente. No entanto, por algum tempo, acreditou-se que os resultados financeiros positivos de uma empresa estavam atrelados unicamente aos investimentos em tecnologias e ampliação das plantas. Portanto, as atividades de manutenção para manter a fábrica em perfeito estado de conservação eram consideradas secundárias.

Realizar manutenção era apenas o ato de consertar um equipamento que não estava em seu perfeito estado de funcionamento, ou seja, apenas manutenções corretivas. Com o tempo, o setor de manutenção passou por quatro grandes revoluções, que foram apelidadas de “Gerações da Manutenção”, as quais podem ser visualizadas na Figura 1:

Figura 1 - Evolução das Técnicas de Manutenção



Fonte: ABECOM (2022).

2.1.1 Primeira Geração

Antes da Primeira e da Segunda Guerra Mundial, as indústrias utilizavam equipamentos grandes e de menor complexidade que resultava em máquinas que operavam lentamente, consumiam muita energia e enfrentavam paradas inesperadas frequentes, prejudicando a produção.

A manutenção não era uma prioridade no processo produtivo e recebia pouca atenção. As rotinas de manutenção eram pouco definidas, limitadas a tarefas simples, como limpeza e lubrificação.

Naquela época, predominava a manutenção corretiva: quando algum equipamento falhava, a equipe de reparo era chamada e a produção só retomava após o conserto. A manutenção não era sistematizada, e os serviços eram registrados manualmente, sem muitos critérios Dutra (2019).

2.1.2 Segunda Geração

Logo após a Segunda Guerra Mundial, a necessidade de aumentar e acelerar a produção se intensificou, devido ao crescimento da demanda por produtos. Assim, as indústrias investiram na mecanização dos métodos e aumentaram sua complexidade para atender à demanda crescente. Como resultado, criaram departamentos de manutenção que não só consertavam avarias, mas também trabalhavam para evitá-las, otimizando a produção.

A busca por melhorias na produtividade levou as equipes de manutenção a padronizarem suas atividades e a não aceitarem mais paradas não programadas, surgindo assim o conceito de manutenção preventiva.

No entanto, as técnicas preventivas envolviam paradas programadas e substituições de peças que nem sempre eram necessárias, elevando os custos de manutenção. As equipes começaram a buscar maneiras de reduzir esses custos e prolongar a vida útil dos equipamentos e peças conforme discorre Dutra (2019).

2.1.3 Terceira Geração

Entre as décadas de 1940 e 1970, com o desenvolvimento da aviação comercial, as técnicas de manutenção preventiva se tornaram mais complexas e estratégicas, já que era inviável realizar manutenções corretivas em aeronaves em voo. Era necessário garantir que não ocorressem paradas não planejadas durante os voos, tornando a manutenção uma das

áreas mais importantes das indústrias.

Além da aviação, as fábricas implementaram sistemas como o “*just-in-time*”, projetado para aumentar a eficiência, reduzir custos e minimizar o desperdício de tempo e recursos na produção.

Isso acelerou a mecanização e automação das máquinas e fortaleceu o conceito de manutenção preditiva. Surgiram os primeiros computadores e a internet começou a se desenvolver, tornando-se grandes aliados da manutenção e impulsionando as técnicas preditivas Dutra (2019).

2.1.4 Quarta Geração

A partir da década de 1970, com o processo de globalização e o aprimoramento da internet e dos computadores, a indústria se expandiu ainda mais. *Softwares* mais avançados permitiram a inserção da manutenção em processos sofisticados, como a análise e o monitoramento *online* de equipamentos, uma técnica preditiva eficiente.

Os departamentos de manutenção evoluíram para garantir o bom funcionamento constante dos ativos, melhorando os processos produtivos através da prevenção e predição. Hoje, os equipamentos são mais confiáveis, as peças duram mais e os custos de manutenção são menores, conforme discorre Dutra (2019).

2.2 Tipos de manutenção

A Norma Brasileira da ABNT NBR 5462 (ABNT, 1994) define os termos relacionados com a confiabilidade e manutenibilidade. De início, é importante entender as relações entre os conceitos de defeito, falha e pane, que são descritos nos seguintes termos:

- **Defeito:** Qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos. Primeiro estado de anormalidade apresentado por um equipamento.
- **Falha:** Confere ao equipamento o estado de inconfiabilidade, que, segundo a NBR 5462, é a “Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”, sendo assim o equipamento não atende a 100% das funções requeridas.
- **Pane:** Estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção preventiva ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos. Nota: Uma pane é

geralmente o resultado de uma falha de um item, mas pode existir sem uma falha anterior.

2.2.1 Manutenção Corretiva

Manutenção Corretiva é realizada quando as máquinas apresentam problemas, como falhas panes e quebras, que os impedem de funcionar como deveriam (Branco Filho, 2008). Efetuada após a ocorrência de uma falha, é destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Observa-se que a definição de corretiva omite o caráter de planejamento, porém em alguns momentos ela pode ser programada e planejada ou de caráter emergencial, assim há dois tipos de manutenções corretivas: (1) Corretiva Emergencial e (2) Corretiva Planejada.

Manutenção Corretiva Emergencial: Quando a manutenção precisa ser feita imediatamente para evitar impactos no sistema produtivo, é indicada a manutenção corretiva emergencial (Branco Filho, 2008; Viana, 2014). É realizada após a pane do equipamento e deve ser efetuada com caráter de urgência devido ao lucro cessante, segurança do trabalhador ou ao meio ambiente. A situação não pode ser programada e deve-se deslocar uma equipe de pronto atendimento, com soluções de curto prazo. Sendo assim, é a mais cara, perigosa e demorada para a empresa. Normalmente, esse tipo de manutenção envolve custos significativos, devido a perdas na produção, na qualidade e na qualidade pode até causar danos adicionais ao equipamento (Pinto; Xavier, 1998).

Manutenção Corretiva Programada: É aquela que existe o conhecimento prévio de uma falha ou pane, através de inspeção ou monitora. De acordo com a definição de Pinto e Xavier (1998), a manutenção corretiva planejada é uma atividade planejada para corrigir o desempenho abaixo do esperado ou para resolver uma falha por decisão da gestão. A existência de redundâncias na planta, que eliminam o caráter de lucro cessante, risco de segurança do trabalhador ou prejudica o meio ambiente, possibilita a tomada de decisão planejada e programada, preparando a ação mantenedora para resolução de demanda.

2.2.2 Manutenção Preventiva

Segundo a Norma ABNT NBR 5462, Manutenção Preventiva é a manutenção efetuada em intervalos pré-determinados ou de acordo com os critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item. Sendo assim, a

manutenção preventiva pode ser classificada como todo o serviço realizado em máquina que ainda não esteja em falha, ou seja, que está em condições operacionais ou com defeitos que não afetam o atendimento a nenhuma das funções requeridas.

Esse tipo de manutenção planejada oferece vantagens como um almoxarifado mais enxuto, redução no fator improvisação, aumentado a qualidade do serviço. Por consequência, reduz as manutenções corretivas.

A manutenção preventiva busca aumentar a vida útil do equipamento, reduzir as falhas em equipamentos críticos, melhorar o planejamento e a programação da manutenção, minimizar as perdas de produção devido a falhas e garantir a segurança da equipe de manutenção (Sullivan *et al.*, 2010).

2.2.3 Manutenção Preditiva

Segundo a Norma brasileira ABNT NBR 5462, Manutenção Preditiva é manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

A manutenção realizada nas áreas noturnas de falha ou no momento mais operacional, levando em consideração outros requisitos operacionais, é conhecida como manutenção preditiva (Branco Filho, 2008). Atuando de forma antecipada à falha, consiste em tarefas de manutenção que visam acompanhar a máquina, por medições através de ensaios não destrutíveis ou por controle estatístico, predizendo a proximidade da falha ou defeito, buscando definir o correto tempo de intervenção da equipe mantenedora.

Os tipos de manutenção preditiva mais usados são: Ensaio por Ultrassom, Análise de Vibração mecânica, análise de óleo lubrificantes e termografia.

Outra forma de acompanhamento preditivo das máquinas é a telemetria, que é um monitoramento contínuo de dados em tempo real que são passados dos equipamentos para um computador. Esses dados são coletados através de sensores como pressostatos, termopares ou acelerômetros

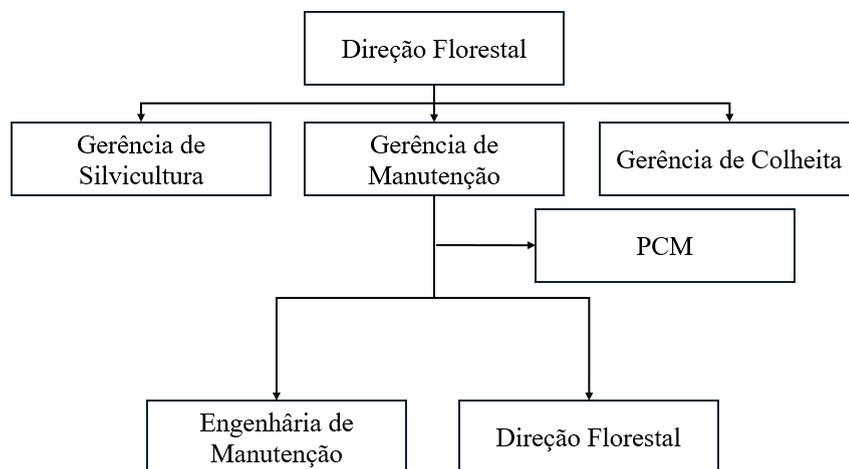
Em comparação com a manutenção baseada em condição, a manutenção periódica é geralmente mais dispendiosa, pois parte da vida útil do componente é desperdiçada (Xenos, 2004).

2.3 Estrutura organizacional da área de manutenção

Há um consenso na literatura que não existe um organograma fechado para o setor de manutenção e sim estratégias que são utilizadas em situações específicas, havendo ajustes e adaptações em cada aplicação. Porém, observa-se, em grandes organizações, o crescimento de tendência da existência de uma diretoria como foco em manutenção, que se configura como uma área com função estratégica, principalmente devido ao fato da industrialização 4.0, em que as organizações se movimentam para uma realidade mais complexa em torno da função da manutenção. Dessa maneira, a norma é que a manutenção ocupe um nível de gerência departamental, da mesma forma que a operação.

Na estrutura de uma equipe de manutenção é coerente a existência de três grandes áreas de atuação, a saber: O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM); A Execução da Manutenção; e a Engenharia de Manutenção.

Figura 2 - Organograma de um Departamento de Manutenção



Cabe ressaltar que é possível que existam empresas que não possuem a área de Engenharia de Manutenção, isso está relacionado à maturidade da empresa nas decisões estratégicas, porém, no contexto da Indústria 4.0, cada vez mais presente, é insustentável a ausência de uma engenharia de manutenção, pois é nesse setor a criação de modificações e melhorias, como a implantação de ferramentas 4.0 para o setor.

2.4 Ferramentas 4.0 na Manutenção

Dutra (2019) explica que a Indústria 4.0 traz como marca o conjunto de mudanças nos processos de produção, suas operações e nos seus sistemas, através de uma conexão digital integrada, sendo também classificada de fábrica inteligente, o que inclui o monitoramento dos processos físicos e sua recriação num ambiente virtual para a tomada de decisões. Assim, com esta nova realidade proposta pela indústria 4.0, as tomadas de decisão serão cada vez melhores, uma vez que tudo estará conectado e as informações estarão disponíveis em tempo real. Portanto, cria-se um ambiente com muitos benefícios, tais como: redução de custos, economia de energia, aumento da segurança, conservação ambiental, redução de erros, fim do desperdício, transparência nos negócios, aumento da qualidade de vida, personalização e escala sem precedentes.

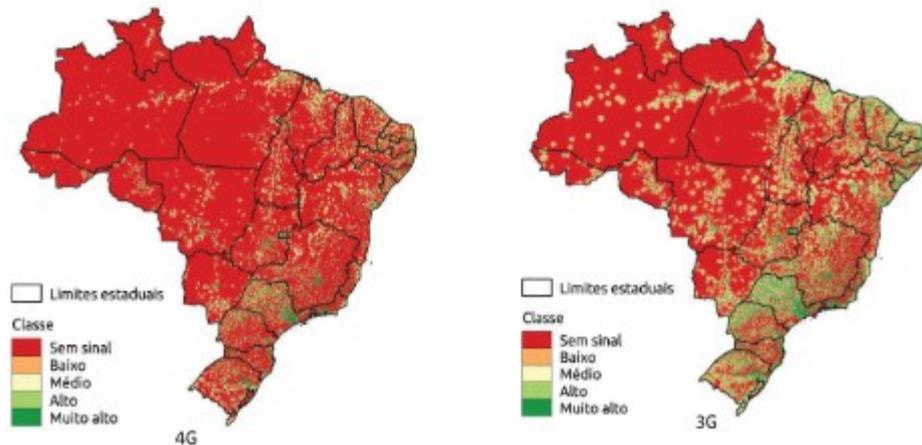
Nesse contexto, muitas tecnologias emergentes vão ter aplicabilidade neste cenário em uma nova revolução industrial para com a gestão da manutenção, como a conectividade rural, Internet das coisas (*IoT - Internet of things*), Nuvem de dados (*Cloud*), robótica e Impressão 3D, Realidade Aumentada (RA) e *Big Data*.

2.4.1 Conectividade rural

Assim como explicam Maule *et al.* (2023), o aumento da disponibilidade de infraestrutura de conectividade multiplica os acessos à rede e amplia as possibilidades de utilização de tecnologias associadas aos processos produtivos e de gestão de propriedades rurais, levando a diversos benefícios, tais como a elevação da produtividade, redução de custos e, conseqüentemente, ao incremento de competitividade. Além da existência da conexão em si, um fator importante em muitas aplicações e soluções é a velocidade do tráfego de dados, ou seja, a capacidade do serviço de conexão de enviar e receber os conteúdos digitais em determinada unidade de tempo.

Porém, sabe-se que o rural ainda está desconectado, em um panorama atual da qualidade e distribuição geográfica da banda larga via as tecnologias 3G e 4G no território nacional, que pode ser visto na Figura 3, apresentada a seguir.

Figura 3 – Mapa indicativo da intensidade do sinal de 3G e 4G no território nacional

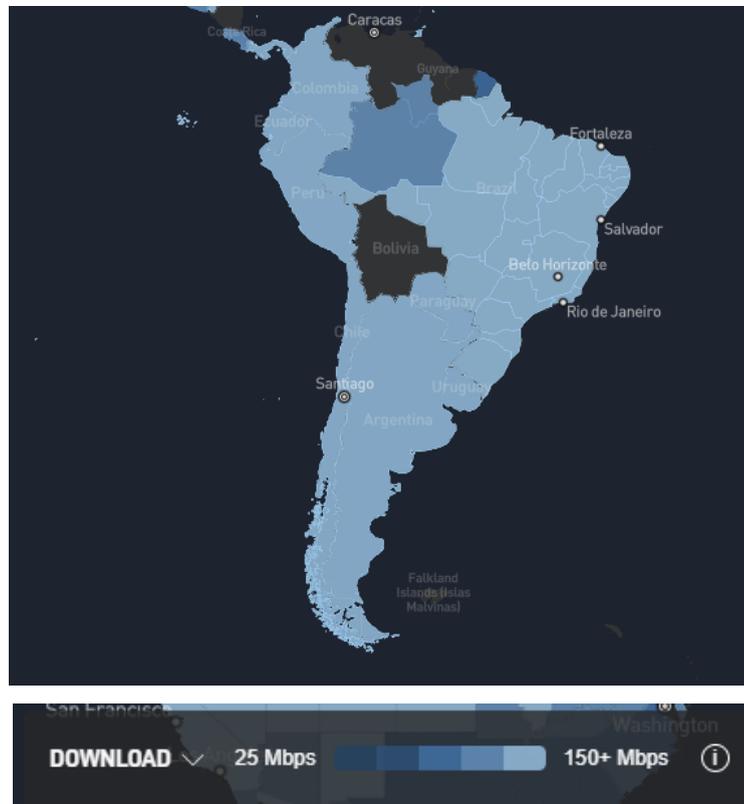


Fonte: Dias *et al.* (2023, p. 105).

Portanto, observa-se que há a necessidade de avançar muito com a infraestrutura para ampliar e universalizar a conectividade no meio rural e assegurar a entrada da agricultura digital em todo o território explorado com a agropecuária. Neste sentido, a indústria de satélite ultimamente tem ganhado destaque, devido ao ambicioso projeto de empresas como a StarLink, a qual pretende lançar mais de 40.000 satélites, formando uma rede global de acesso à internet. Este projeto não é, contudo, exclusividade da empresa mencionada, havendo outras empresas que trabalham no desenvolvimento de arquiteturas que disponibilizam ferramentas da Agricultura 4.0 mais acessíveis, no que se refere ao custo de aquisição e manutenção, nas áreas rurais.

Essa situação reflete a realidade da empresa estudada neste projeto. Em grande parte de suas áreas de operação, tanto na silvicultura quanto na colheita, não há disponibilidade de sinal 3G ou 4G. Isso reforça a necessidade de explorar alternativas como a internet via satélite, cuja viabilidade foi confirmada, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Mapa de disponibilidade de internet da StarLink



Fonte: StarLink.com/br/map (2024).

2.4.2 Internet das coisas

A Internet das Coisas (IoT) permite a coleta e troca de informações entre as máquinas, através de dispositivos e sensores eletrônicos instalados e conectados entre si à internet, podendo ser acessado remotamente, trazendo aumento da eficiência operacional, da segurança industrial, e diminuindo custos e tempo.

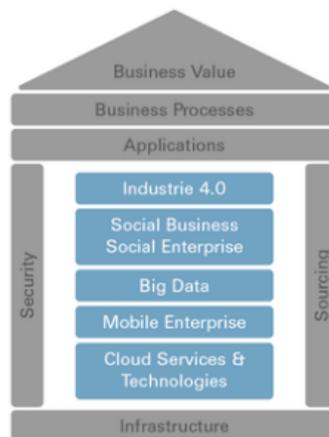
Galeale (2016) define Internet das Coisas como a rede mundial de objetos conectados, em que ocorre a troca de informação a nível global de maneira instantânea. Essa comunicação acontece por meio da interação cotidiana de equipamentos e dispositivos por meio de sensores, transmissores e receptores existentes nas “coisas” que usamos que possibilitam a interação homem-máquina ou máquina-máquina por meio de rede internet. De acordo com Borlido (2017) no âmbito da indústria, a IoT tem como aplicabilidade primordial a informação e comunicação entre os dispositivos de detecção de dados (sensores e transdutores em geral) com atuadores (motores elétricos, válvulas etc.) entre si ou entre as máquinas, proporcionando relatórios em tempo real de cada dispositivo isolado que fazem com que o próprio sistema se monitore e se controle.

2.4.3 Nuvem de Dados

Proporciona capacidade de armazenamento e cálculo de computadores e servidores compartilhados e interligados por meio da internet. As informações ficam armazenadas numa nuvem compartilhada, que pode ser acessada por computador ou *smartphone*, além da sincronização automática de dados.

De acordo com Borlido (2017), a nuvem de dados (*Cloud*) consiste no aproveitamento de memória, de armazenamento e cálculo em computadores e servidores interligados por meio de rede sem fio (*wireless*). A informação fica disponibilizada em uma nuvem-compartilhada (*Cloud*) com capacidade ilimitada de interconexão entre empresas. Dentre suas funções, tem-se as opções de armazenar todos os dados empresariais com segurança, versatilidade e sincronismo automático, com acesso remoto por qualquer dispositivo vinculado à empresa, sendo também economicamente vantajoso para as organizações, que deixaram de investir em redes locais para interligação dos dados da empresa, como *switches*, cabos de rede e computadores. Assim, todo o gerenciamento relacionado ao histórico de manutenções e organização de dados ficará arquivado virtualmente. A Figura 5 apresenta a representação esquemática de interligação da nuvem.

Figura 5 - Representação esquemática da nuvem de dados



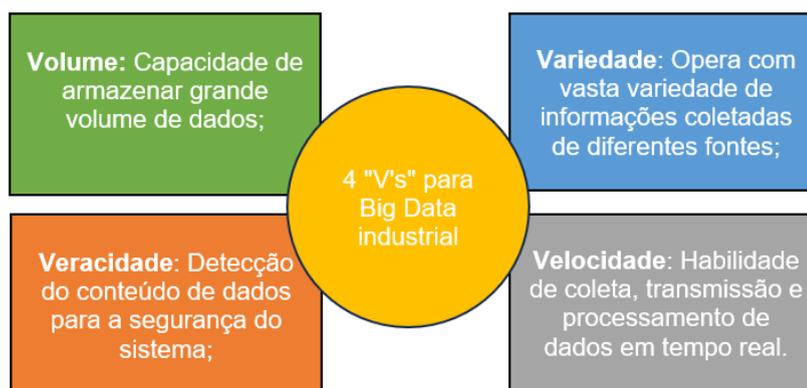
Fonte: Cloud Computing & Industry 4.0 (2015)

2.4.4 Big Data

O chamado *Big Data* traz o controle de gerenciamento operacional, sendo feita a coleta de grandes volumes de informação, que são organizadas e podem ser analisadas em tempo real, contribuindo para prever tendências e tomadas de decisões melhores.

Conforme Zanela *et al.* (2021), a *Big data* é uma tecnologia utilizada por gestores que almejam versatilidade na tomada de decisões, capaz de processar uma infinidade de dados simultaneamente, com confiabilidade entre suas informações. O conceito de Big Data analítica está presente na quarta geração industrial para oferecer soluções de manipulação, padronização e transformação de dados industriais. Propõe-se, então, o modelo dos 4 “V’s” para Big Data industrial: **variedade**, **velocidade**, **veracidade** e **volume** (Khan *et al.*, 2017). A Figura 6 demonstra a correlação entre os 4V’s. Segundo Khan *et al.* (2017), a International Business Machines (IBM) propôs o modelo dos 4 “V’s”, onde **Volume** se refere à capacidade de armazenar grande volume de dados, **Variedade** trata da operação com uma vasta gama de informações coletadas de diferentes fontes, **Veracidade** diz respeito à detecção do conteúdo dos dados para garantir a segurança do sistema, e **Velocidade** envolve a habilidade de coletar, transmitir e processar dados em tempo real.

Figura 6 – Correlação entre os 4 V’s do *Big Data*



Fonte: Khan *et al.* (2017).

2.4.5 Sistema de controle mobile

Os *softwares* de gestão da manutenção com módulo *mobilem* são desenvolvidos em plataformas que usam aplicativos de fácil compreensão, tendo característica intuitiva e atrativa, facilitando a implantação do sistema, trazendo uma tecnologia que contribui para o aumento da qualidade e desempenho do processo como um todo. Inovar aperfeiçoando tanto as ferramentas de controle quanto sua aplicação é estrategicamente importante para promover o aumento de produtividade com maior qualidade e confiabilidade da manutenção (Correia; Ribeiro; Ciuccio, 2015).

A tecnologia *mobile* pode ser utilizada nos seguintes dispositivos: *Palm, Pocket PC,*

Smartphones e *Tablets*, operando no sistema Android e iOS. Os dispositivos móveis portáteis possibilitam acesso de forma flexível ao *software* de manutenção em qualquer localidade da empresa, possibilita rápida entrada de dados e acesso imediato às informações nas operações de manutenção, possibilitando executar abertura, fechamento e cancelamento de ordens de serviço e coleta acumulativa de dados (Correia; Ribeiro; Ciuccio, 2015).

A integração de aplicativos de manutenção em campo com sistemas de gestão como o SAP PM (*Plant Maintenance*) representa um avanço tecnológico fundamental na Indústria 4.0. Essa solução *mobile* possibilita o gerenciamento das atividades de manutenção em tempo real, permitindo que operadores e técnicos registrem, atualizem e acompanhem ordens de serviço diretamente no local da operação. A comunicação direta com o sistema centralizado de gestão elimina a necessidade de registros manuais e retrabalhos, garantindo maior acuracidade e agilidade no fluxo de informações. Além disso, o uso de dispositivos móveis conectados ao SAP promove uma visão integrada das atividades de manutenção, facilitando o monitoramento contínuo dos equipamentos, análise de desempenho e a otimização de processos, com impacto direto na redução de custos e no aumento da confiabilidade operacional.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, será exposta a metodologia utilizada para implementar ferramentas 4.0 na área de Manutenção de equipamentos florestais da empresa em questão, assim como uma breve descrição dela.

3.1 Apresentação da empresa

A empresa X é uma das maiores fábricas de celulose solúvel do mundo. Com investimento de R\$ 5,2 bilhões, a planta está sendo erguida no Triângulo Mineiro, entre os municípios de Indianópolis e Araguari. Com o início da operação, em 2022, produz 500 mil toneladas de celulose solúvel por ano, além de 144 MW de energia limpa. As fibras especiais de celulose produzidas na empresa serão utilizadas na indústria têxtil, gerando tecidos com inovação, sustentabilidade e alta tecnologia.

3.2 Classificação da pesquisa

A pesquisa pode ser classificada como um estudo de caso. Foram apontados fatores que influenciavam no processo produtivo, que posteriormente foram realizadas análises e observações dos efeitos provocados. Segundo Turrioni e Mello (2012), um estudo de caso requer um estudo intenso e detalhado de um ou poucos objetos que possibilitem um vasto e aprofundado conhecimento.

3.3 Etapas da implementação das ferramentas 4.0

3.3.1 Substituição da ficha de solicitação pelo aplicativo

Uma das principais dificuldades enfrentadas pelas empresas está relacionada à seleção das estratégias operacionais mais específicas para aprimorar suas capacidades existentes, reduzir os custos de manutenção e alcançar o nível de competitividade desejado, tudo isso baseado em uma avaliação precisa de eficiência e eficácia (Kim; Kumar, V.; Kumar, U., 2012).

Anteriormente, era utilizado o processo de etiqueta para identificar o local, o tipo de anomalia, a prioridade e os recursos necessários para resolver a deterioração. É composto de duas vias: uma se mantinha localizada no veículo da anomalia de identificação visual e a outra

era entregue a um técnico para trazê-la ao escritório registrar no sistema e programar a ordem (Figura 7).

Figura 7 – Modelo de etiqueta de manutenção

SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO - MECÂNICO	SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO - OPERADOR
Tipo de Nota:	Tipo de Nota:
Prioridade:	Prioridade:
Equipamento:	Equipamento:
Tipo de Problema:	Tipo de Problema:
Local do defeito:	Local do defeito:
Sintoma:	Sintoma:
Tipo de Problema:	Tipo de Problema:
Descrição:	Descrição:

As etiquetas eram divididas em dois padrões de cores:

Vermelho: Operador ou Mecânico, identificam uma falha e o problema será resolvido pela equipe de mecânicos.

Amarelo: Operador identifica e é capaz de resolver o problema.

Após recebimento da ficha, trazida por um técnico de campo, essa ficha é inserida dentro do SAP, abrindo uma nota e ordem para o planejamento, na qual o PCM coleta o relatório no sistema SAP e solicita peças na ordem aberta para programação com as peças requisitadas (Figura 8).

Figura 8 – Representação de lançamento de ordem no SAP

The figure illustrates the process of entering a maintenance order into the SAP system. On the left is a paper form titled "SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO - MECÂNICO" with fields for: Tipo de Nota, Prioridade, Equipamento, Tipo de Problema, Local do defeito, Sintoma, Tipo de Problema, and Descrição. A large arrow points from this form to the SAP interface on the right. The SAP interface shows the "Criar nota PM: FL CorretivaInspeção" screen with fields for Nota (0000000001 EC), Status da nota (MSPN), and Ordem. Below these are tabs for "Nota", "Avaria, parada", "Dados de localização", "Síntese de datas", "Item", "Medidas", and "Atividades". The "Nota" tab is active, showing fields for "Objeto de referência" (Loc. instalação, Equipamento), "Situação" (Codificação, Descrição), and a large text area for the description.

Porém, havia um grande desafio com a utilização da ficha de papel para a abertura de solicitações de manutenção, uma vez que ela apresentava uma série de desafios operacionais que comprometiam a eficiência do processo. Um dos principais problemas era o tempo necessário para que a ficha chegasse até o escritório, onde seria inserida no sistema SAP. Esse intervalo entre a identificação da anomalia e o seu registro oficial aumentava o risco de atrasos no atendimento das demandas.

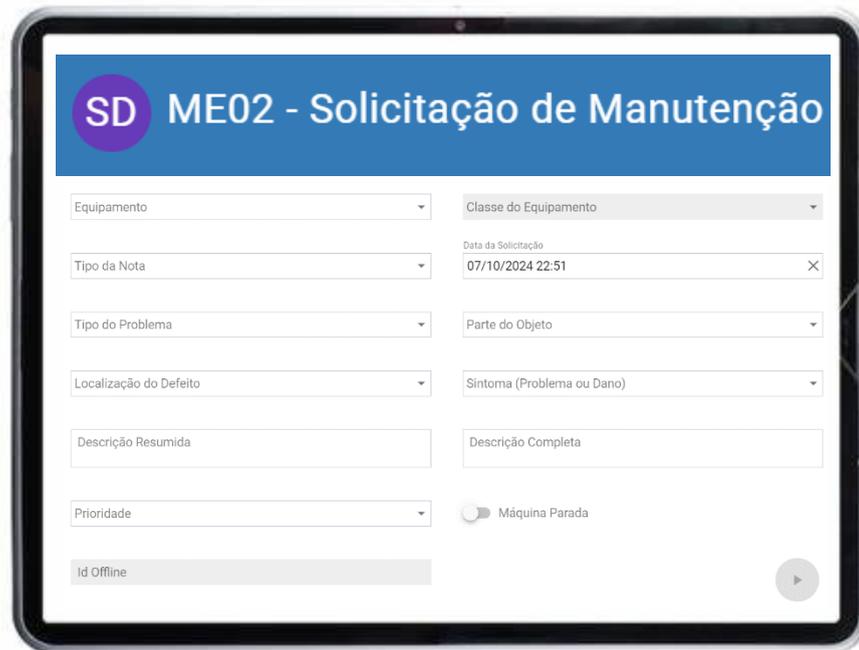
Além disso, a ficha de papel estava sujeita a se perder durante a troca de turnos entre operadores, o que dificultava a continuidade do processo e gerava inconsistências na comunicação. Outro fator crítico era a legibilidade das informações, uma vez que a escrita manual frequentemente resultava em dificuldades de leitura, causando interpretações errôneas e, conseqüentemente, erros nos apontamentos de falhas. Essas incongruências dificultavam a correta priorização das atividades de manutenção e impactavam negativamente o planejamento e a execução dos serviços.

Assim, houve a oportunidade de implementar uma ferramenta 4.0 que utiliza a Internet das Coisas (IoT) para transformar o processo de abertura de solicitações de manutenção. A implementação de um aplicativo *mobile* conectado em tempo real ao sistema de gestão representa um avanço significativo, permitindo a coleta de dados imediata e precisa diretamente do campo.

O uso do aplicativo de manutenção (Figura 9) garante a geração de informações em tempo real, atendendo às exigências do time de confiabilidade para a abertura de ordens. Ele assegura que dados essenciais, como o tipo de problema, a parte afetada do equipamento, a

localização do defeito e uma descrição detalhada, sejam registrados de forma completa, evitando a falta de informações, travando o lançamento dessa solicitação sem o preenchimento correto. Essas informações são enviadas diretamente para um banco de dados, permitindo que a equipe trabalhe com um histórico preciso, o que facilita o cálculo confiável de indicadores como MTBF, MTTR e LCC, que antes eram prejudicados pela falta de dados consistentes.

Figura 9 - Tela do aplicativo de manutenção

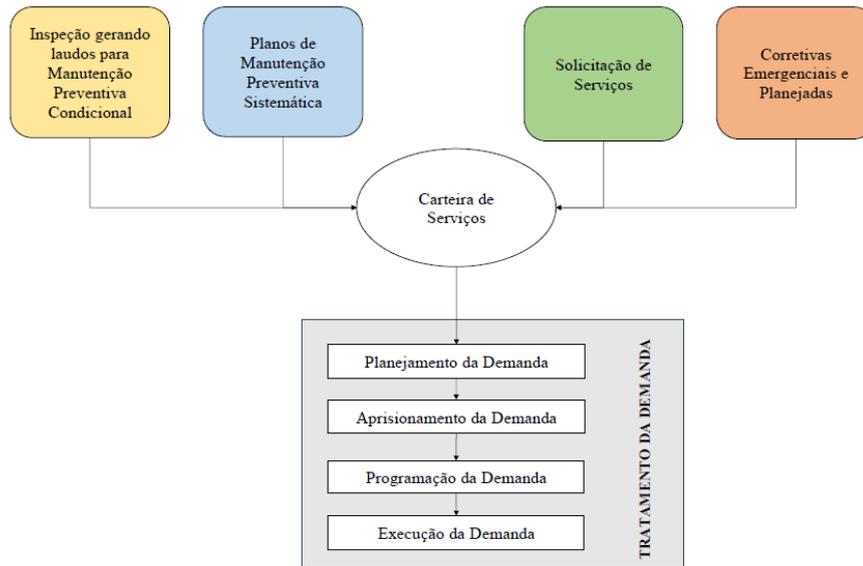


The image shows a tablet displaying the 'ME02 - Solicitação de Manutenção' application. The interface is organized into several sections:

- Header:** A blue bar at the top contains the logo 'SD' in a purple circle and the title 'ME02 - Solicitação de Manutenção' in white text.
- Form Fields:**
 - Equipment Selection:** Two dropdown menus labeled 'Equipamento' and 'Classe do Equipamento'.
 - Date and Time:** A text input field for 'Data da Solicitação' showing '07/10/2024 22:51' with a clear 'X' button.
 - Problem Details:** Three dropdown menus: 'Tipo da Nota', 'Tipo do Problema', and 'Localização do Defeito'.
 - Object and Symptom:** Two dropdown menus: 'Parte do Objeto' and 'Sintoma (Problema ou Dano)'.
 - Descriptions:** Two text input fields: 'Descrição Resumida' and 'Descrição Completa'.
 - Priority and Status:** A dropdown menu for 'Prioridade' and a toggle switch for 'Máquina Parada'.
 - Offline ID:** A text input field for 'Id Offline'.
- Navigation:** A circular play button icon is located in the bottom right corner of the screen.

3.3.2 Tratamento da demanda

De acordo com Viana (2014), uma vez identificada a demanda de manutenção, parte-se para o processo de “Tratamento da Demanda”, conforme a metodologia CIT/CSM, o percurso é realizado, conforme a Figura 10, por meio de 4 (quatro) atividades: (1) Planejamento da Demanda; (2) Aprovisionamento da Demanda; (3) Programação da Demanda e (4) Execução.

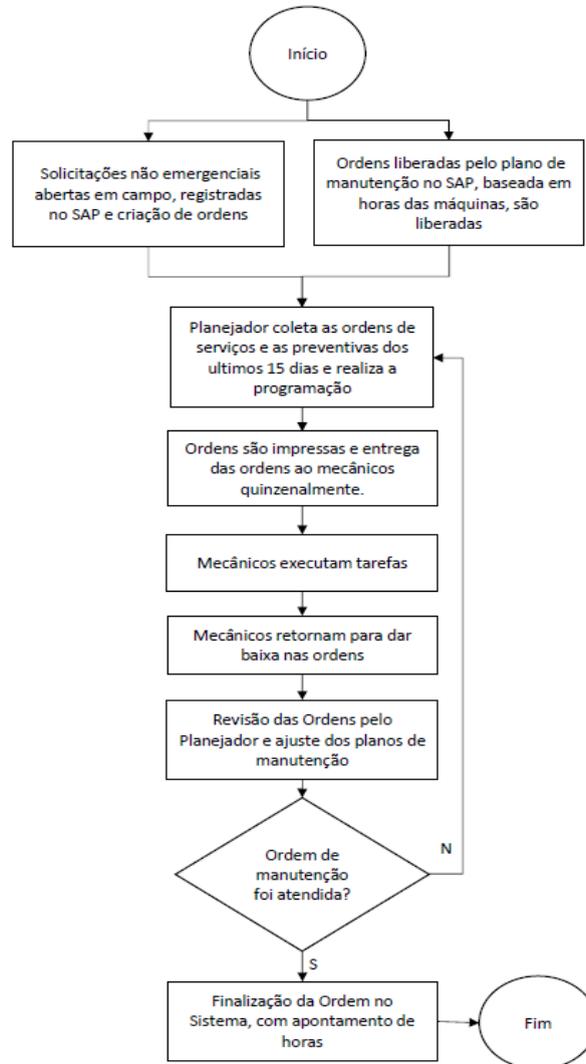
Figura 10 – Tratamento da demanda

Fonte: Viana (2014).

Antes da implementação da mobilidade, o tratamento da demanda para as manutenções preventivas ou corretivas programadas seguia um fluxo mais tradicional. Após a solicitação ser registrada no SAP ou as ordens serem liberadas com base no horímetro das máquinas, o planejador coletava essas informações.

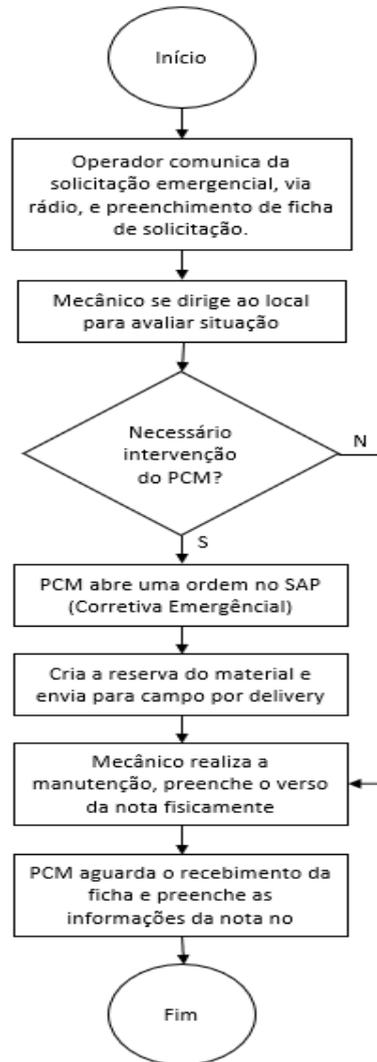
Utilizando a transação IW31, ele reunia as ordens geradas ao longo de 15 dias para programação. Essas ordens eram impressas e entregues pessoalmente aos mecânicos, que as recebiam pela manhã, executavam as tarefas e retornavam ao longo do turno para dar baixa nas ordens. O planejador, então, revisava as ordens concluídas, ajustando os planos de manutenção conforme necessário, como atualizar tempos de operação ou remover tarefas obsoletas, conforme o esquema na Figura 11:

Figura 11 - Fluxograma de Manutenções Programadas 3.0



Anteriormente, para atender às manutenções corretivas emergenciais (Figura 12), o operador comunicava a necessidade via rádio, sinalizando a solicitação e abrindo uma nota física para registrar o ocorrido. O mecânico se dirigia ao local, avaliava a situação e, se necessário, solicitava as peças via rádio. O PCM, por sua vez, abria uma ordem de corretiva emergencial no SAP, vinculada ao número da ficha de papel. O material era entregue por *delivery*. Após a conclusão da manutenção, o mecânico fechava a nota fisicamente, e o programador aguardava a chegada desse documento para finalizar a solicitação no sistema. No entanto, quando a ficha finalmente chegava, a confiabilidade das informações era muito baixa, comprometendo a qualidade dos dados e dificultando a criação de indicadores precisos para gestão da manutenção.

Figura 12 - Fluxograma de Manutenções Corretivas 3.0



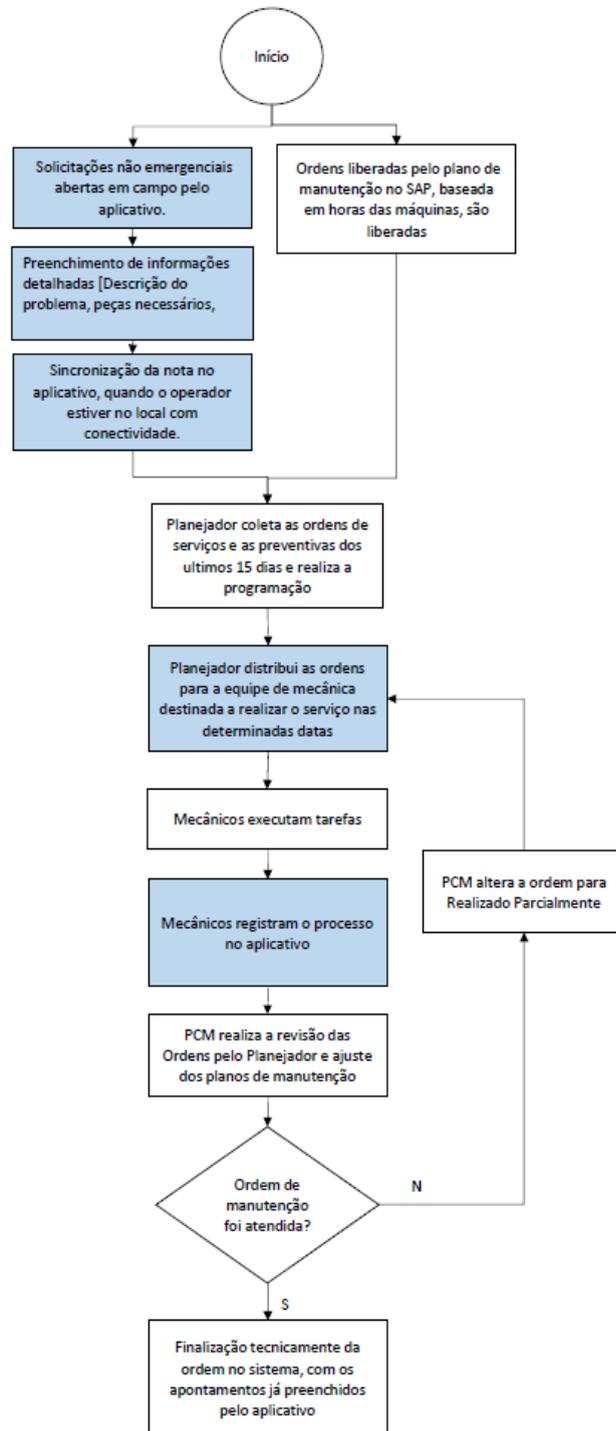
No modelo de PCM 4.0 (Figura 13), as manutenções preventivas e corretivas são gerenciadas de forma distinta, porém ambas se beneficiam das inovações trazidas pela mobilidade e pela integração digital.

O processo para as manutenções preventivas continua a seguir o mesmo fluxo de coleta dos planos de manutenção, utilizando a IP30 para gerar as ordens e reunindo-as na transação IW38. No entanto, o que muda com a introdução do PCM 4.0 é que as ordens não precisam mais ser impressas, eliminando problemas comuns, como falhas de impressão, falta de tinta ou papel.

Nesse sentido, atualmente o planejador simplesmente transmite as ordens diretamente para os dispositivos móveis dos mecânicos, que as acessam em campo. Isso elimina as falhas do antigo processo em que documentos físicos se perdiam ou não chegavam a tempo. O mecânico recebe todas as informações de forma organizada no dispositivo móvel, podendo

executar as ordens e registrar o progresso digitalmente, o que acelera o processo e reduz erros de comunicação.

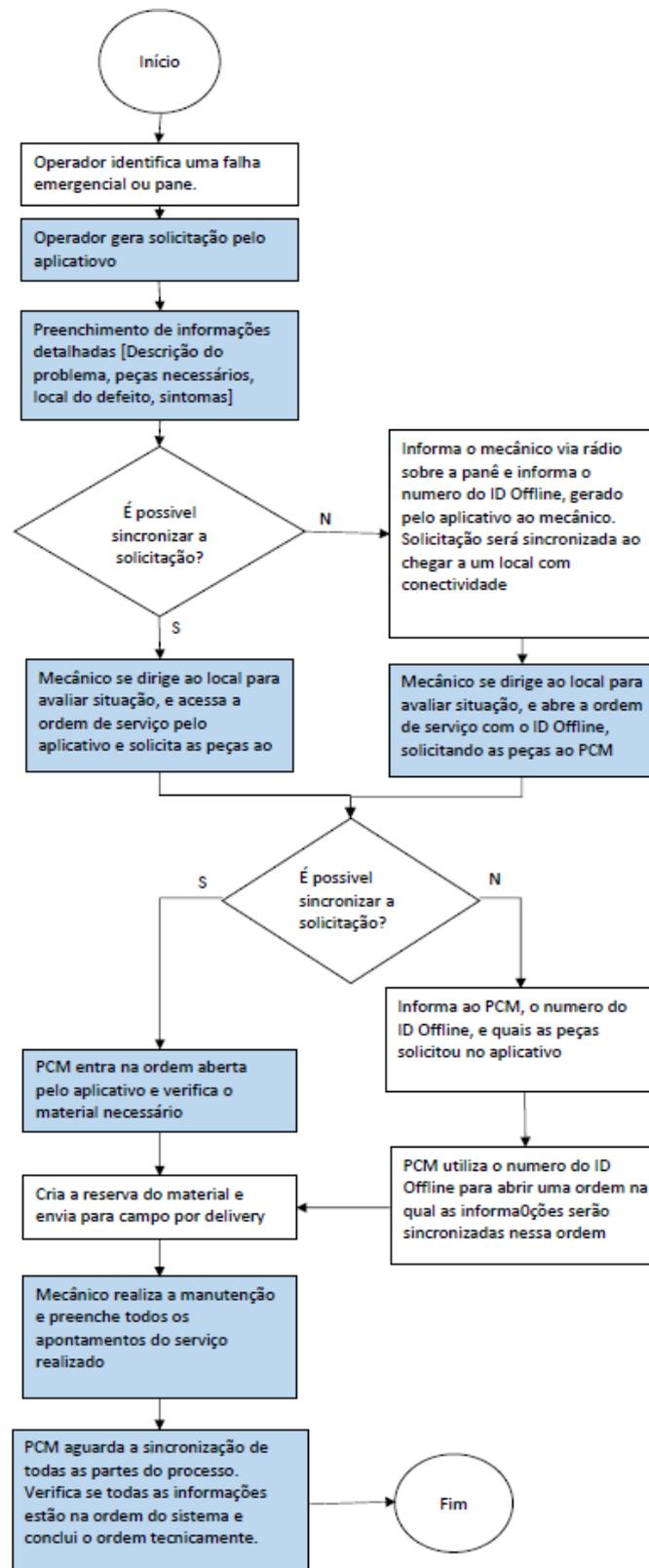
Figura 13 - Fluxograma de Manutenções Preventivas com mobilidade



O processo de manutenções corretivas emergenciais também foi modernizado. Com a aplicação do TPM (*Total Productive Maintenance*), os operadores agora participam ativamente da identificação de falhas. Em vez de abrir um chamado via rádio e registrar a solicitação em ficha física, o operador gera a solicitação diretamente pelo aplicativo, preenchendo informações detalhadas como a descrição do problema, peças e recursos necessários. O planejamento dessas ações segue um padrão de gestão de ativos, utilizando metodologias como a análise de criticidade ABC e FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), permitindo priorizar as intervenções corretivas com base na criticidade dos ativos.

O mecânico em campo acessa a ordem de serviço pelo aplicativo, solicita peças ao PCM, que utiliza uma estratégia de delivery para garantir a entrega rápida. Esse fluxo (Figura 14) aumenta a eficiência e a confiabilidade das informações, melhorando a análise de dados e a criação de indicadores como MTBF, MTTR e disponibilidade.

Figura 14 - Fluxograma de Manutenções Corretivas com mobilidade



3.3.2.1 Utilização de StarLink para conectividade

No método de registro através de aparelhos móveis, a sincronização das informações entre o campo e o SAP é importante para a efetividade do processo de manutenção. Em boa parte do processo proposto, ocorre a transferência de informação do campo para o sistema, como quando o operador da máquina **“faz a solicitação”** pelo aplicativo. No entanto, em áreas sem cobertura de internet, o operador pode gerar a solicitação e visualizar o número correspondente, o que permite dar continuidade a alguns processos internos, como a retirada de peças no almoxarifado ou a comunicação com o mecânico para que ele possa adicionar informações à ordem de serviço. No entanto, a sincronização completa com o sistema central só ocorre quando o operador entra em uma área com conectividade, o que muitas vezes acontece apenas após o término de sua jornada operacional.

Essa circunstância provoca atrasos na entrada das informações no sistema, o que pode impactar na operacionalização e capacidade da gestão de dados em tempo real. Para garantir uma manutenção mais efetiva, a sincronização em tempo real se destaca, permitindo que as solicitações sejam visíveis instantaneamente no sistema e que o planejamento e a execução das manutenções corretivas ou preventivas ocorram de forma mais ágil.

Desse modo, surge a oportunidade de aplicar o StarLink, uma rede de satélites de baixa órbita desenvolvida pela SpaceX. O objetivo do StarLink é fornecer acesso à internet em áreas remotas e de difícil cobertura, como é o caso das operações florestais. Essa solução permite alta velocidade de conexão e baixa latência, mesmo em regiões isoladas, onde as opções de conectividade terrestre são limitadas ou inexistentes.

Com o StarLink, os operadores no campo podem se conectar à internet em tempo real, garantindo que as solicitações de manutenção sejam enviadas e processadas instantaneamente no sistema, sem necessidade de deslocamento a locais com sinal e assim aumenta a precisão dos dados e melhora a eficiência do processo (Figuras 15 a 17).

Figura 15 - Fluxograma de Manutenções Corretivas 3.0

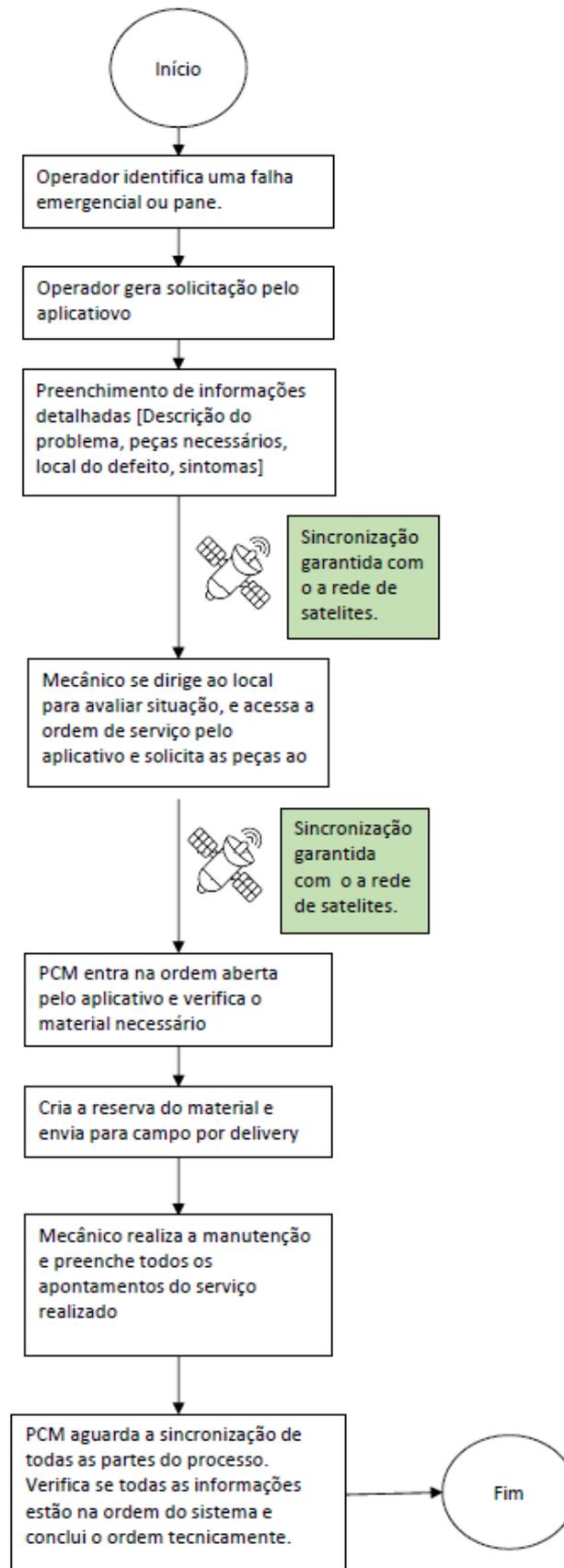


Figura 16 – Antena Starlink utilizado no Feller



Figura 17 – Router Starlink na cabine do Feller.



4 PLANO DE ANÁLISE DE DADOS

Nesta seção, serão analisados os dados coletados pelos apontamentos dos mecânicos, no qual a equipe de manutenção tem acesso a dados confiáveis, gerado pelos mecânicos, que será utilizado para serem confrontados com as demais informações geradas por outras áreas, promovendo uma análise integrada e precisa

4.1 Exemplo de Corretiva Mecânica com a utilização do Aplicativo

Com a implementação do aplicativo de manutenção, o fluxo completo de uma solicitação de manutenção corretiva pode ser visualizado em detalhes dentro do SAP, através da transação “IW23”. Nesse exemplo, demonstramos o resultado de uma ordem gerada no campo, mostrando as informações que foram preenchidas em cada etapa.

Inicialmente, temos o tipo de nota que foi aberta, neste caso, uma nota corretiva mecânica, destinada a solucionar um problema identificado durante a operação. A nota possui um *status* que reflete o andamento da solicitação, incluindo a descrição do problema e a ordem associada. A ordem foi vinculada a um local de instalação específico, onde o equipamento está alocado, e nela consta o equipamento que necessita da intervenção.

Figura 18 - Detalhes do SAP IW 23

The screenshot displays the SAP IW23 transaction interface. At the top, the order number is FT03 8000053747, with the description 'Substituição do Cilindro de levante do c'. Below this, the system status is shown as 'ABER CAPC DMNV SCDM' and 'PRGR'. A navigation bar includes tabs for 'DdsCabeç.', 'Operações', 'Componentes', 'Custos', 'Parceiro', 'Objetos', 'Dados adic.', 'Localiz.', 'Planej.', and 'Controle'. The 'DdsCabeç.' tab is active, showing a grid of data:

Responsáveis		Notas	
Gr.planej.	030 5803 PLANEJ.FLORESTAL	Nota	6000033544
CenTrabRes	MEC5803 / 5803 MANUTENCAO LDC - F...	Custos	BRL
Responsável		TipoAtvMnt	006 Estratégia baseada ...
		CondInst	
		Endereço	

Below the grid, the 'Datas' section shows:

Datas		Prioridade	
InícioBase	16.10.2024	Prioridade	2 Alta
Fim-base	16.10.2024	Revisão	

A descrição completa do problema foi gerada em tempo real pelo aplicativo, e cada etapa do processo foi registrada com precisão, garantindo o acompanhamento detalhado da manutenção:

- 19/09/2024 07:36:00 - Operador 1 (via aplicativo): *Cilindro acumulador está perdendo força.*
- 19/09/2024 17:36:00 - PCM (via SAP): *Abertura de ordem de inspeção para o Mecânico 3.*
- 20/09/2024 12:20:50 - Mecânico (via aplicativo): *É necessário a substituição do cilindro.*
- 20/09/2024 12:20:50 - PCM (via SAP): *reserva do material feito e enviado a campo*
- 20/09/2024 12:20:50 - Mecânico (via aplicativo): *substituição do cilindro*

Figura 19 - Informações da Nota - IW23

Situação	
Codificação	FT-FICHA HID Hidraulica
Descrição	Substituição do Cilindro de levante do
<p>19.09.2024 07:36:00 BRAZIL (INT_SCPI) Operador 1 Cilindro acumulador está perdendo força.</p> <p>19.09.2024 17:36:00 BRAZIL (INT_SCPI) PCM Abertura de ordem de inspeção para o Mecânico 3.</p> <p>20.09.2024 12:20:50 BRAZIL (INT_SCPI) Mecânico É necessário a substituição do cilindro.</p> <p>20.09.2024 12:20:50 BRAZIL (INT_SCPI) PCM Reserva do material feita e enviada a campo.</p> <p>20.09.2024 12:20:50 BRAZIL (INT_SCPI) Mecânico Substituição do</p>	

No final da nota, podemos visualizar os apontamentos de horas, que mostram o tempo de início e fim de cada atividade, desde a abertura da solicitação até o encerramento da ordem.

Figura 20 - Apontamentos da Nota – IW 23

Datas-base				
Início desejado	16.072024	10:32:21	Prioridade	2 Alta
Concl.desejada	18.072024	11:58:25	Parada	<input type="checkbox"/>

4.2 IW29, relatório de exibição de notas em tempo real

Com a implementação das ferramentas 4.0, possibilitou-se que tivéssemos acesso à transação “IW29” para exibição de notas em tempo real, o que otimizou significativamente as tratativas de campo. Agora, consigo visualizar as solicitações de manutenção assim que são abertas, permitindo um acompanhamento imediato e uma resposta mais ágil por parte da

equipe de manutenção. Essa funcionalidade melhora o controle e a eficiência na gestão das ordens de serviço.

A “IW29” também permite aplicar filtros personalizados para encontrar notas ou ordens específicas de forma rápida. Esse recurso facilita a identificação de falhas ou componentes específicos, melhorando a agilidade na busca por problemas críticos.

Com essa funcionalidade em tempo real, a equipe consegue tomar decisões mais rápidas e assertivas, o que tem impactado diretamente no desempenho das atividades de manutenção e na disponibilidade dos equipamentos

Figura 21 - Foto do sistema com as solicitações abertas

Nota	Criado em	Ordem	Descrição	Local de instalação	Denominação do loc.instalação
6000036938	02.10.2024	8000058318	barra estabilizadora do eixo	1058-5803-5809...	CAMINHAO OFICINA
6000036937		8000058317	interclima nao funciona	1058-5803-5809...	CAMINHAO OFICINA
6000036915		8000058287	Remendo	1058-5803-5803...	SKIDDER
6000036914		8000058286	Serviço em campo	1058-5803-5803...	GARRA TRACADORA
6000036924		8000058305	solicitar motor partida	1058-5803-5803...	PICADOR DE MADEIRA MOVEL
6000036905		8000058276	soprar sistema de arrefecimento	1058-5803-5809...	TRATOR PNEU
6000036887		8000058258	botao da tração	1058-5803-5803...	TRATOR PNEU
6000036943		8000058323	Trator sem partida	1058-5803-5809...	TRATOR PNEU
6000036942		8000058322	Tensor e a correia quebrada	1058-5803-5809...	TRATOR PNEU
6000036906		8000058277	alternador com defeito	1058-5803-5809...	TRATOR PNEU
6000036944		8000058324	Bomba de alta com Defeito	1058-5803-5809...	TRATOR PNEU
6000036941		8000058321	Suporte da barra de tração quebrado	1058-5803-5809...	TRATOR PNEU
6000036926		8000058307	lubrificação da máquina ineficiente	1058-5803-5803...	TRATOR PNEU
6000036898		8000058269	cabo fora do lugar	1058-5803-5809...	TRATOR PNEU
6000036917		8000058289	parafusos do volante	1058-5803-5809...	TRATOR PNEU

4.3 Análise do MTTR (Mean Time to Repair)

Ao analisarmos o **MTTR (Mean Time to Repair)**, conseguimos mensurar a eficiência da nossa equipe de manutenção no tempo médio gasto para realizar reparos em sistemas, equipamentos ou itens. Esse indicador nos permite avaliar o tempo médio que levamos para colocar uma máquina de volta em operação após uma falha. O MTTR é fundamental para identificar possíveis variações de desempenho entre os mantenedores, já que, muitas vezes, o mesmo tipo de reparo pode levar tempos diferentes dependendo de quem executa a tarefa.

Essas inconsistências são normalmente causadas pela falta de padronização nas operações, algo que podemos corrigir por meio de treinamentos ou pela implementação de procedimentos padronizados. O cálculo do **MTTR** é feito dividindo o tempo total de parada causado pelas falhas pelo número de falhas ocorridas no mesmo período.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de paradas ocasionadas por falhas}}{\text{Número de falhas no período}}$$

Nesse sentido, apresenta-se exemplo de indicadores criados a partir dos apontamentos da equipe de manutenção (Figura 22), no qual apresenta os dados referentes a seis equipamentos do tipo Feller Buncher, mostrando o número de paradas registradas. Essas informações foram coletadas diretamente do aplicativo de manutenção, representando dados brutos, sem qualquer tipo de tratamento. É importante destacar que esse número total de paradas inclui todos os eventos registrados, como os checklists realizados pelos operadores no início de cada turno, o que distorce o indicador de paradas e não reflete, de forma realista, as ocorrências de manutenção. Além disso, há a necessidade de um acompanhamento mais próximo junto à equipe de campo para garantir que os apontamentos operacionais não sejam indevidamente categorizados como manutenções. Apesar dessas limitações, a coleta de dados por meio do aplicativo já representa um avanço significativo, pois estabelece uma base inicial para a construção de indicadores confiáveis. Como projetos futuros, será essencial desenvolver métodos e processos para tratar os dados de forma mais detalhada, permitindo análises mais precisas e indicadores que reflitam a realidade das operações.

Figura 22 - MTTR - Feller (Janeiro – Setembro)

Mês	Equipamento	Horas Paradas	Nº de paradas	MTTR
Janeiro	FELLER	237,03	148	1,60
Fevereiro	FELLER	41,08	25	1,64
Março	FELLER	129,32	102	1,27
Abril	FELLER	306,27	197	1,55
Maiο	FELLER	149,50	149	1,00
Junho	FELLER	287,48	164	1,75
Julho	FELLER	338,88	179	1,89
Agosto	FELLER	501,38	242	2,07
Setembro	FELLER	393,12	257	1,53
Total		2.384,07	1463	1,63

4.4 Análise do MTBF (Mean Time Between Failures)

Ao analisarmos o **MTBF (Mean Time Between Failures)**, conseguimos medir a confiabilidade dos nossos equipamentos, calculando o tempo médio entre falhas. Essa métrica representa a média dos períodos de funcionamento contínuo das máquinas, desde o momento

em que as colocamos em operação ou após a correção de uma falha, até o surgimento da próxima falha.

Consideramos como tempo de funcionamento todo o período em que o equipamento está operando, independentemente do motivo da operação. O **MTBF** é aplicável apenas a itens que podem ser reparados, não sendo utilizado para itens descartáveis. O cálculo do **MTBF** é feito dividindo o tempo total de operação do equipamento pelo número de falhas ocorridas durante o período analisado.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo Total de operação do equipamento} - \text{Horas paradas}}{\text{Número de falhas no período}}$$

Na figura 23 é possível visualizar um exemplo de MTBF do equipamento Feller, de janeiro a setembro, assim como o MTTR, o MTBF também está sendo calculado a partir de dados brutos coletados diretamente do aplicativo de manutenção, sem tratamento prévio. O número de paradas registrado não reflete com precisão a quantidade real de paradas ocorridas em campo, pois inclui eventos que não são falhas reais, como checklists operacionais realizados no início dos turnos. Esse fator distorce os resultados e pode levar a interpretações imprecisas. No entanto, mesmo com essas limitações, o uso desses dados brutos já fornece uma base inicial importante para a construção dos indicadores. Com o tempo, será necessário um trabalho de tratamento e refinamento dos dados para que o MTBF reflita de maneira mais realista as condições de operação no campo, permitindo análises mais precisas e eficazes.

Figura 23 - MTBF Feller (Janeiro – Setembro)

Mês	Equipamento	Horas Totais	Total de horas parada	Nº de paradas	MTBF
Janeiro	FELLER	4.460,40	237,03	148	28,54
Fevereiro	FELLER	4.173,10	41,08	25	165,28
Março	FELLER	4.460,90	129,32	102	42,47
Abril	FELLER	4.316,98	306,27	197	20,36
Mai	FELLER	4.460,87	149,50	149	28,94
Junho	FELLER	4.317,00	287,48	164	24,57
Julho	FELLER	4.448,90	338,88	179	22,96
Agosto	FELLER	4.459,90	501,38	242	16,36
Setembro	FELLER	4.317,00	393,12	257	15,27
Total		39.415,05	2.384,07	1463	25,31

4.5 Análise de Falhas por Sistema (Pareto Sistema)

Na prática, o diagrama de Pareto é frequentemente usado em análises de qualidade e gestão de desempenho para identificar os problemas que têm maior impacto. Esse conceito foi amplamente popularizado no campo da gestão por Joseph M. Juran, um especialista em qualidade, que usou o princípio para descrever uma maneira de priorizar esforços de melhoria da qualidade. Ele aplicou o princípio em controles de qualidade e chamou a observação de “os poucos vitais e os muitos triviais”, o que ajudou a focar nas causas mais críticas dos problemas (Juran, 1951).

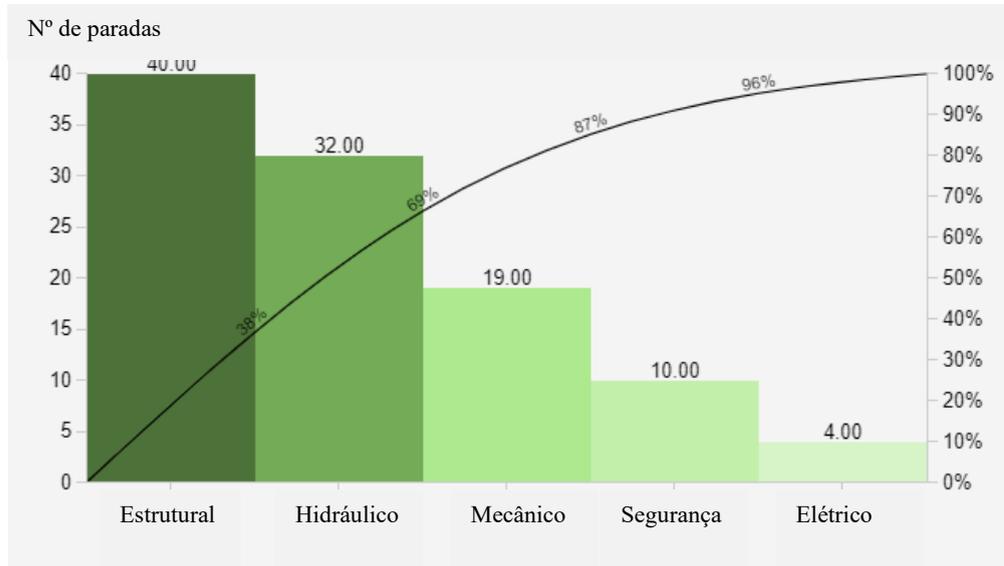
Na análise de dados apresentada no gráfico de Pareto, conseguimos identificar as falhas ocorridas no Feller durante um período determinado. Essas falhas são classificadas por sistema, o que nos permite observar a concentração em funções globais da máquina, como as falhas estruturais, hidráulicas, mecânicas, de segurança e elétricas.

Essa categorização possibilita avaliar a probabilidade de ocorrência de uma falha, seu nível de severidade e a capacidade de detecção antecipada. A partir dessas informações, podemos traçar um plano de ações preventivas eficazes, focado nas principais áreas de vulnerabilidade antes que as falhas se repitam. Essa abordagem orientada por dados fortalece a manutenção preditiva e proativa, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a confiabilidade do equipamento.

A Figura 24, apresenta o gráfico de Pareto dos sistemas, que detalha o número de paradas registradas no mês de setembro para a classe Feller Buncher, considerando seis máquinas. No eixo Y, são mostradas as ocorrências de paradas durante o período, com as causas organizadas por ordem de frequência. Observa-se que as maiores causas de paradas foram, respectivamente: estruturais, hidráulicas, mecânicas, de segurança e elétricas. A escala à esquerda do gráfico representa o número absoluto de paradas. Apesar do Pareto indicar que a maior parte das falhas é de origem estrutural, a realidade no campo sugere que grande parte dos problemas é hidráulica. Esse descompasso pode ser atribuído a erros no apontamento dos sintomas pelos operadores no momento da abertura das solicitações de manutenção.

Esse fato evidencia a necessidade de treinamento contínuo e mudança de cultura entre os operadores, para garantir que as solicitações sejam registradas corretamente e reflitam a real origem dos problemas. Além disso, problemas elétricos são frequentemente confundidos com falhas estruturais ou hidráulicas, devido à dificuldade dos operadores em identificar falhas elétricas com precisão. Esse cenário destaca a importância de investir em capacitação para melhorar a qualidade dos registros e, conseqüentemente, a confiabilidade dos dados coletados.

Figura 24 - Pareto Sistema – Eventos Feller



5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação de tecnologias da Indústria 4.0 no setor de manutenção florestal gerou avanços notáveis na forma como os dados são coletados, monitorados e analisados. As tecnologias integradas proporcionaram melhorias nos processos de manutenção, conectividade e confiabilidade das informações. A seguir, os principais resultados são detalhados.

5.1 Implementação de Monitoramento em Tempo Real

A adoção de dispositivos móveis e tecnologias de IoT (Internet das Coisas), como o uso do StarLink, proporcionou uma comunicação eficiente entre as equipes em campo e os sistemas de manutenção, permitindo monitoramento em tempo real. Esses dispositivos são conectados a redes colaborativas, com sensores e atuadores dotados de inteligência artificial, garantindo uma conexão constante entre a parte física e o sistema digital da empresa.

O conceito de Sistemas Ciberfísicos (CPS) é fundamental nessa integração, já que ele conecta os dados provenientes dos sensores e equipamentos com sistemas cibernéticos, permitindo que as ordens de serviço sejam gerenciadas de maneira mais eficaz. Segundo Cheng *et al.* (2016), o CPS permite uma integração entre o mundo físico e o cibernético, o que facilita a tomada de decisões rápidas e assertivas. Além disso, a IoT é o meio de transmissão dos dados coletados, enquanto a big data atua como uma ferramenta para manusear o grande volume, variedade e veracidade dos dados trafegados.

Essa implementação resultou em um acompanhamento mais preciso das atividades de manutenção e garantiu que falhas pudessem ser rapidamente detectadas e solucionadas, evitando impactos negativos na operação.

5.2 Otimização dos indicadores de manutenção (MTTR e MTBF)

A integração de tecnologias digitais com *Big Data* foi essencial para otimizar os indicadores de desempenho, como o MTTR (Tempo Médio Para Reparo) e o MTBF (Tempo Médio Entre Falhas). A *Big Data*, como destacado por Zanela *et al.* (2021), é uma ferramenta que permite prever e analisar dados em tempo real, facilitando a programação e a tomada de decisões estratégicas.

Com o uso de algoritmos de processamento rápido, a *Big Data* ajudou na análise do histórico de falhas e permitiu a criação de modelos preditivos que melhoraram a

confiabilidade dos processos. A maior precisão na análise dos tempos de parada e manutenção resultou em uma redução do MTTR e um aumento do MTBF, o que contribuiu diretamente para a eficiência operacional.

A plataforma CPS foi fundamental para integrar diferentes sistemas, possibilitando a análise dos dados gerados pelas máquinas conectadas. Isso garantiu uma visão mais completa do ciclo de vida dos equipamentos, permitindo ações preventivas antes que falhas ocorram.

5.3 Aumento da confiabilidade dos dados

A digitalização dos processos de manutenção, aliada à utilização de *IoT* e *Big Data*, aumentou consideravelmente a confiabilidade dos dados. O uso de aplicativos móveis para a inserção de dados diretamente em campo eliminou a necessidade de registros manuais, que anteriormente geravam inconsistências e atrasos.

Com a conectividade em tempo real e a análise automática de grandes volumes de dados, foi possível garantir que as informações fossem precisas e atualizadas constantemente. Isso não apenas melhorou a tomada de decisões, como também reduziu a incidência de falhas nos relatórios de manutenção.

Segundo Srinivasan, Ivezic e Kulvatunyou (2014), o uso de CPS e IoT juntos melhora a qualidade dos dados ao permitir que múltiplos dispositivos e sistemas se comuniquem de forma eficiente. Isso resolve um dos principais desafios enfrentados pela IoT, que envolve a transmissão e leitura de dados em tempo real, especialmente em ambientes industriais remotos.

5.4 Conectividade em áreas remotas

A implementação do StarLink foi muito importante para superar os desafios de conectividade em áreas remotas, onde a infraestrutura de comunicação tradicional é insuficiente. Antes da introdução dessa tecnologia, as regiões florestais enfrentavam problemas graves de falta de conectividade, o que prejudicava o fluxo de informações e a resposta rápida às falhas detectadas nas máquinas.

Com o StarLink, foi possível garantir uma conexão estável e de alta velocidade, essencial para a transmissão de dados em tempo real entre os dispositivos *IoT*, sistemas CPS e a central de monitoramento. Isso permitiu que as ordens de serviço fossem atualizadas instantaneamente, otimizando o tempo de resposta das equipes de manutenção.

Essa tecnologia também facilitou a implementação de outras soluções baseadas na Indústria 4.0, como *Big Data* e sistemas preditivos, que dependem da rápida coleta e transmissão de dados. A conectividade garantida pelo StarLink em áreas florestais melhorou significativamente a eficiência das operações de manutenção e reduziu o tempo de inatividade das máquinas.

6 CONCLUSÃO

A implementação de tecnologias da Indústria 4.0 na manutenção florestal demonstrou ser uma iniciativa de grande impacto, tanto na otimização dos processos quanto na melhoria da confiabilidade dos dados e conectividade em áreas remotas. A introdução de sistemas ciberfísicos (CPS), *IoT* e *Big Data* possibilitou uma integração mais eficiente entre o mundo físico e o cibernético, permitindo que as máquinas e equipamentos comunicassem dados em tempo real, gerando insights mais precisos e promovendo uma tomada de decisão rápida e assertiva.

O uso de conectividade via StarLink foi um diferencial essencial, garantindo comunicação constante em áreas onde a infraestrutura de rede tradicional não era suficiente. Esse avanço tecnológico possibilitou monitoramento contínuo e remoto, melhorando a resposta a falhas de forma eficaz das operações de manutenção.

Com essas tecnologias, houve uma significativa melhora nos indicadores de manutenção, como MTTR (Tempo Médio Para Reparo) e MTBF (Tempo Médio Entre Falhas), que são essenciais para a análise de desempenho das máquinas em campo. A confiabilidade e a precisão dos dados coletados em tempo real permitiram que a equipe de manutenção antecipasse falhas e tomasse medidas preventivas com maior eficácia, minimizando o tempo de inatividade das máquinas e aumentando a produtividade.

Ademais, além de melhorar a qualidade dos dados e a precisão das análises no contexto da manutenção florestal, o projeto também agregou valor ao processo geral da equipe de manutenção. A implementação de tecnologias da Indústria 4.0, como monitoramento em tempo real e sistemas de coleta automática de dados, otimizou o tempo gasto em verificações manuais e reduziu significativamente a carga de trabalho associada à identificação de falhas e erros operacionais. Além disso, o número de homem-horas necessário para a criação dessas solicitações foi reduzido pela metade, eliminando o desgaste gerado pelo uso de etiquetas e fichas de papel. Antes, a perda frequente dessas fichas entre turnos exigia retrabalho constante, o que comprometia a eficiência do processo. Com o aplicativo, esse problema foi completamente solucionado, permitindo maior agilidade e confiabilidade na coleta e transmissão de informações.

Os ganhos obtidos vão além da redução de retrabalho. A conectividade via StarLink abriu novas possibilidades para expandir ainda mais os ganhos. Nos próximos passos, seguiria com trabalhos voltados para o desenvolvimento de treinamentos especializados para as equipes em campo, capacitando-as a utilizar as novas tecnologias e técnicas de manutenção de

forma mais eficaz. Além disso, avançaria na implementação de sistemas de telemetria, aproveitando as respostas rápidas para detectar e agir imediatamente sobre qualquer alteração nos sensores instalados nas máquinas, o que possibilitará a criação de uma central de monitoramento para processar e analisar as informações em tempo real.

Outro foco importante seria a aplicação de técnicas preditivas de manutenção, buscando antecipar falhas antes que ocorram e otimizando a eficiência operacional. A utilização de óculos de realidade aumentada também será explorada, proporcionando diagnósticos e reparos mais rápidos e precisos para os técnicos e operadores. Esses projetos, alinhados aos conceitos da Indústria 4.0, têm o potencial de transformar a manutenção florestal, promovendo maior produtividade, redução de custos e maior confiabilidade nas operações.

REFERÊNCIAS

- ABECOM. Gestão da Manutenção: entenda o que é, porque ela é importante e quais os principais cursos. **ABECOM**, 28 mar. 2022. Disponível em: <https://www.abecom.com.br/gestao-manutencao/>. Acesso em: 08 out. 2024.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR5462 – Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. Disponível em: <https://ufsb.edu.br/propa/images/dinfra/coman/Legisla%C3%A7%C3%B5es/NBR-5462.pdf>. Acesso em: 03 out. 2024.
- ABRAMAN, Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos. 2023. Disponível em: <https://abramanoficial.org.br/>. Acesso em: 06 maio 2023.
- BORLIDO, D. J. A. **Indústria 4.0 – Aplicação a Sistemas de Manutenção**. 2017. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2017.
- BRANCO FILHO, R. A. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC**. Programa de Atualização Técnica 2008 – Sistema FIRJAN - SESI/SENAI – Rio de Janeiro, 2008.
- CHENG, G.-J. *et al.* Industry 4.0 development and application of intelligent manufacturing. **2016 International Conference on Information System and Artificial Intelligence (ISAI)**. IEEE, 2016. p. 407-410.
<https://doi.org/10.1109/ISAI.2016.0092>
- CORREIA, A. J.; RIBEIRO, G. A.; CIUCCIO, R. L. O desafio para a implantação de sistemas de controle mobile na manutenção industrial. XXX Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos. **Anais...** Campinas, de 3 a 7 de agosto de 2015.
- DIAS, E. M. *et al.* (Orgs.) **Agro 4.0: fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil**. Rio de Janeiro: Autografia, 2023.
- DUTRA, Jhonata. **Planejamento e controle da manutenção descomplicado**. Brasília: Engeteles Editora, 2019.
- FERRAZ JUNIOR, J. E. **Mapeamento das percepções de desempenho da gestão da manutenção de sistemas de climatização prediais – O caso do INMETRO**. 2009. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão, Segurança do Trabalho, Meio-ambiente e Gestão) Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro, 2009.
- GALEGALE, G. P. *et al.* INTERNET DAS COISAS APLICADA A NEGÓCIOS - UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO. **JISTEM - Journal of Information Systems and Technology Management**, v. 13, n. 3, p. 423–438, set. 2016.
<https://doi.org/10.4301/S1807-17752016000300004>
- JURAN, J. M. **Juran's Quality Control Handbook**. New York: McGraw Hill, 1951.
- KIM, D-Y; KUMAR, V.; KUMAR, U. Relationship between quality management practices

and innovation. **Journal of operations management**. 30, p. 295-315, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.02.003>

LIMA, T. G. A. A. **Análise de manutenção de equipamentos de uma empresa de segurança eletrônica**. 2019. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2019.

MAULE, R. F. *et al.* Conjuntura rural brasileira e Agro 4.0: conectividade, capacidade e conteúdo como condicionantes da competitividade. *In: DIAS, E. M. et al. (Orgs.) Agro 4.0: fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil*. Rio de Janeiro, RJ: Autografia, 2023.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

SILVA, D. dos S. da; LIMA, E. V. O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0. IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. **Anais...** Ponta Grossa, Brasil, 04 a 06 dez. 2019.

SRINIVASAN, V.; IVEZIC, N.; KULVATUNYOU, B. On architecting and composing through-life engineering information services to enable smart manufacturing. **3rd International Through-life Engineering Services Conference**, Cranfield , UK.

SULLIVAN, G. P. *et al.* **Operations & maintenance best practices: a guide to achieving operational efficiency**. Richland: Pacific Northwest National Laboratory, 2010. <https://doi.org/10.2172/1034595>

TAYLOR, F. W. **Princípios de Administração Científica**. 8 Ed. São Paulo: Atlas, 1990.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. 2012. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

VIANA, H. R.G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. Belo Horizonte: EDG, 2004.

ZANELA, H. C. *et al.* Gestão da Manutenção na Indústria 4.0. **Revista Mythos**. Vol. 15, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.36674/mythos.v15i1.518>