

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RAQUEL SOUZA GOULART

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE MANUTENÇÃO 4.0 PARA MÁQUINAS E
EQUIPAMENTOS AGROINDUSTRIAIS FLORESTAIS**

PONTA GROSSA

2022

RAQUEL SOUZA GOULART

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE MANUTENÇÃO 4.0 PARA MÁQUINAS E
EQUIPAMENTOS AGROINDUSTRIAIS FLORESTAIS**

**Proposal for a 4.0 Maintenance System for Forestry Agro-Industrial Machines
and Equipment**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Profa. Dra. Joseane Pontes.

Coorientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino.

PONTA GROSSA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa**



RAQUEL SOUZA GOULART

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE MANUTENÇÃO 4.0 PARA MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS
AGROINDUSTRIAIS FLORESTAIS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 08 de Julho de 2022

Dra. Joseane Pontes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Elaine Paiva Mosconi, Doutorado - Université de Sherbrooke

Dra. Fernanda Tavares Treinta, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Luis Mauricio Martins De Resende, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 08/07/2022.

RESUMO

A manutenção tem um papel estratégico no funcionamento de empresas, pois é a responsável por garantir a disponibilidade e performance dos seus ativos, sendo indispensável em toda cadeia de produção. Esta área demanda uma busca constante por tecnologias que venham otimizar a manutenção trazendo redução de custos e aumento da disponibilidade dos equipamentos. A partir da Quarta Revolução Industrial as mudanças advindas das tecnologias digitais tornaram a manutenção inteligente, mostrando um processo de evolução até a Manutenção 4.0, permitindo vantagens em relação aos modelos utilizados nas revoluções industriais anteriores. Através destas tecnologias habilitadoras o objetivo deste trabalho é propor um sistema de manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais. Para a consolidação do objetivo foi realizada uma revisão sistemática de literatura a partir a partir da metodologia PRISMA e apoiados pelo software Mendeley e o desenvolvimento do sistema a partir do método Desing Science. Os resultados mostram a relação e sinergia entre a Manutenção Inteligente e a Indústria 4.0 e a convergência entre estas tecnologias para construção de um modelo de manutenção Inteligente através do monitoramento em tempo real das máquinas. O trabalho proposto entregou a área florestal um display com *dashboards* para acompanhamento online para maior agilidade e assertividade na tomada de decisão.

Palavras-chave: indústria 4.0; manutenção 4.0; manutenção preditiva; agronegócio.

ABSTRACT

Maintenance plays a strategic role in the operation of companies, as it is responsible for ensuring the availability and performance of their assets, being essential throughout the production chain. This area demands a constant search for technologies that will optimize maintenance, reducing costs and increasing equipment availability. From the Fourth Industrial Revolution onwards, the changes arising from digital technologies made maintenance smart, showing an evolution process until Maintenance 4.0, allowing advantages over the models used in previous industrial revolutions. Through these enabling technologies, the objective of this work is to propose a 4.0 maintenance system for agro-industrial forestry machines and equipment. For the consolidation of the objective, a systematic literature review was carried out based on the PRISMA methodology and supported by the Mendeley software and the development of the system based on the Design science method. The results show the relationship and synergy between Intelligent Maintenance and Industry 4.0 and the convergence between these technologies to build an Intelligent Maintenance model through real-time monitoring of machines. The proposed work delivered to the forestry area a display with dashboards for online monitoring for greater agility and assertiveness in decision making.

Keywords: industry 4.0; maintenance 4.0; predictive maintenance; agribusiness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de Pesquisa	18
Figura 2 - Histórico das Revoluções Industriais	23
Figura 3 - Pilares da Indústria 4.0	24
Figura 4 - Evolução da Manutenção	32
Figura 5 - Arquitetura Distribuída	40
Figura 6 - Arquitetura Centralizada	40
Figura 7 - Tecnologias Habilitadoras para Manutenção Preditiva	46
Figura 8 - Evolução da Agricultura na perspectiva da evolução da Indústria ...	47
Figura 9 - Evolução da Indústria, Agronegócio e Manutenção	51
Figura 10 – Processo de pesquisa para o desenvolvimento de sistemas	56
Figura 11 - Nuvem de Palavras	58
Figura 12 - Aplicação da Metodologia PRISMA	60
Figura 13 - Sistema de Manutenção 4.0 Agroflorestal	61
Figura 14 - Nuvem de Palavras	70
Figura 15 - Fluxograma para Desenvolvimento do Sistema de Manutenção 4.0 Agroflorestal	71
Figura 16 – Máquinas Florestais Módulo de Colheita	73
Figura 17 – Arquitetura da Solução	74
Figura 18 - Configuração Interface RDBMS	76
Figura 19 - Diretório de Logs e Querys	77
Figura 20 - Definição Responsável pelo Serviço	78
Figura 21 - Ignorar Dados Nulos	78
Figura 22 - Valores Correntes e Unidades	80
Figura 23 - Selecionando DataBase	81
Figura 24 - Árvore de Elementos	81
Figura 25 - Árvore de Template	82
Figura 26 - Template por Categoria	83
Figura 27 - Template Florestal Organizado por Categoria	83
Figura 28 - Dados de Telemetria	84
Figura 29 - Dados Eficiência Operacional	84
Figura 30 - Tabela Extraída do SAP	85
Figura 31 - Configuração da Tabela SAP	85
Figura 32 - Tela Geral Vision	87
Figura 33 - Layout daTela	88
Figura 34 - Display ou Dashboard para o Sistema de Manutenção 4.0	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tipos de Manutenção	31
Gráfico 2 - Exportação de Celulose Mundial.....	50
Gráfico 3 - Quantitativo por Ano	67
Gráfico 4 - Atualização de Artigos	67
Gráfico 5 - Quantitativo por País.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo da Caracterização da Pesquisa	54
Quadro 2 - Resultados e Discussões	65
Quadro 3 - Artigos mais citados no portfólio de artigos	68
Quadro 4 - Frequência de palavras-chave encontradas nos artigos	69
Quadro 5 - Formação da Equipe	72

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
BDA - Big Data Analytics
CAN - Controller Area Network
CBM - Manutenção baseada na condição
ECU - Eletronic Control Unit)
IIoT – Industrial Internet of things
IoT – Internet of things
KPIs - Key Performance Indicator
LGPD - Lei Geral de Proteção de Dados
MBTF - Tempo médio entre falhas
MP - Monitoramento Preditivo
MPT - Manutenção Produtiva Total
PB – Petabyte
PdM – Manutenção Preditiva
PHM - Prognóstico e Gestão da Saúde
PI – Plant Information
PIMS – Plant Information System
PM - Manutenção Preventiva
POC – Prova de Conceito
RDBMS - Relational database management system
SAP – System Analysis Programmen Twicklung (Desenvolvimento de Programas para Análise de Sistemas)
SQL – Standard Query Language
TB - Terabyte
TIC - Tecnologia da Informação e Comunicação
ZB - Zettabyte

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
1.2	Justificativa	14
1.2.1	Relação do Tema com Engenharia de Produção e Grupo de Pesquisa EORE	16
1.3	Estrutura Da Pesquisa	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Indústria 4.0	19
2.1.1	Histórico da Indústria 4.0	21
2.1.2	Pilares da Indústria 4.0.....	24
2.2	Manutenção	28
2.2.1	Tipos de Manutenção	30
2.2.2	Evolução da Manutenção	31
2.3	Manutenção 4.0	35
2.4	Rede Can	38
2.4.1	Determinação da Estrutura.....	39
2.5	<i>Big Data</i>	41
2.5.1	<i>Big Data e Analytics</i>	43
2.5.2	Análise Preditiva e Correlações.....	44
2.6	Agronegócio	46
2.7	Considerações Sobre o Capítulo	51
3	METODOLOGIA	53
3.1	Caracterização Da Pesquisa	53
3.2	Revisão Sistemática De Literatura (F1-E1)	56
3.2.1	Obtenção do Portfólio Bibliográfico	59
3.2.2	Detalhamento das Etapas	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1	Resultados Da Análise Bibliométrica A Partir Da Rsl (F1 - E0)	66
4.2	Resultado Do Desenvolvimento Do Sistema De Manutenção 4.0 Para Máquinas E Equipamentos Agroindustrias Florestais	70
4.2.1	Caracterização da Indústria.....	70
4.2.2	Fase 1: Construir Um Framework Conceitual.....	72
4.2.3	Fase 2 – Desenvolver Uma Arquitetura Do Sistema	73
4.2.5	Fase 3 – Analisar e Projetar o Sistema	75

4.2.9	Etapa 4: CONSTRUIR O PROTÓTIPO DO SISTEMA	86
4.2.9	Etapa 5: Observar E Avaliar O Sistema	90
5	CONCLUSÃO	93
5.1	Sugestões Para Trabalhos Futuros	95
	REFERÊNCIAS	96

1 INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 é o resultado da evolução das tecnologias industriais ao longo do tempo, sendo utilizado este termo pela primeira vez em 2011 durante a Feira de Hannover na Alemanha. Já se passaram três revoluções industriais ao longo das décadas (vapor, eletricidade e eletrônicos/automação). A quarta revolução é baseada em tecnologias habilitadoras, como: Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Integração de Sistemas, Cybersegurança, Impressão 3D, Simulação, Robótica, Realidade Aumentada e Virtual, *Big Data* e *Analytics* utilizadas para encontrar novas maneiras de tornar os negócios mais eficientes e competitivos. Segundo Schumacher, Erol e Sihn (2016) relaciona-se à identificação da situação atual da indústria no contexto da Indústria 4.0 para melhorar seus processos.

De acordo com Seidel (2018) essas tecnologias buscam o aumento da produtividade através de novos dispositivos, se destacam pela capacidade de captar e interpretar informações, pela comunicação entre si podendo completar-se de modo que se obtenha um modelo de negócios totalmente integrado. Estas tecnologias apresentam suas particularidades e tem impactos muito abrangentes, podendo modificar áreas diversas como a economia, sociedade, comunicação e o agronegócio.

A análise desta trajetória indica que o uso massivo da tecnologia e inovação, proporcionada pela revolução tecnológica ou Indústria 4.0 vem sendo utilizadas no agronegócio nos últimos anos, e estão gerando muitos resultados, principalmente no aumento da competitividade e dinamismo registrado pelo setor. As tecnologias da Indústria 4.0 trazem grandes oportunidades de melhorias nos diversos segmentos de negócios e setores da indústria (SUMER, 2018). Em especial ao agronegócio, proporcionando aumento de produtividade, eficiência e qualidade ao setor.

O agronegócio é o maior negócio do Brasil, o setor alcançou uma participação de 27,4% no PIB brasileiro, a maior taxa desde 2004. No ano de 2021 teve um crescimento de 8,36% (CEPEA, 2022). Ele contempla toda a cadeia de produção, estocagem, industrialização e comercialização de insumos, produtos agrícolas e pecuários (HEREDIA, 2010). O agronegócio é protagonista no setor econômico mundial, envolvendo toda cadeia de produção alimentar que interliga vários setores, como a agricultura, a pecuária e a indústria, além do comércio que consome seus produtos. É o setor que possui a maior capacidade de geração de empregos e um dos

seus maiores desafios se encontra no aumento dos índices de produtividade e sustentabilidade buscando cada vez mais tecnologia e inovação no setor.

Para que a produtividade e qualidade sejam efetivas, a implementação destas tecnologias precisa proporcionar melhorias na manutenção industrial, que é um grande demandante de recursos tecnológicos, já que nos setores agroindustriais o desgaste é uma das principais causas responsáveis pelas paradas de produção, reduzindo a produtividade e aumentando os custos de manutenção.

Segundo a McKinsey (2016) estima-se que, até 2025, os processos relacionados à Indústria 4.0 poderão reduzir custos de manutenção de equipamentos entre 10% e 40%, conseqüentemente aumentando a eficiência do trabalho e produtividade. O tamanho do mercado global de manutenção preditiva deve crescer de US \$ 4,0 bilhões em 2020 para US \$ 12,3 bilhões em 2025, a uma taxa composta de crescimento anual de 25,2% durante este período (PWC, 2017). De acordo com Wan *et al.* (2017) a indústria está cada vez mais exigindo que se trabalhe com alta confiabilidade, baixos riscos ambientais e segurança humana enquanto opera seus processos com rendimento máximo.

É muito importante pesquisar, estudar e entender os processos de desgaste que atuam em condições específicas (COZZA, 2016). Com o surgimento da Indústria 4.0, a manutenção é considerada uma área específica de ação necessária para sustentar com sucesso uma vantagem competitiva. A manutenção é de extrema importância para a indústria moderna, incluindo o agronegócio.

Na manutenção, a análise do desgaste é muito importante para evitar quebras e paradas não programadas dos equipamentos, a quebra não prevista representa uma parada brusca no equipamento, causando grandes prejuízos e a perda de produção (BLOCK, KREIMEIER e KUHLENKOTTER, 2018). Dentre os tipos de manutenção existentes, a manutenção preditiva tem destaque na análise dos processos de desgaste, reduzindo os custos e conseqüentemente aumentando a produção.

O grande objetivo da manutenção preditiva é determinar de forma antecipada a necessidade de serviços de manutenção, eliminando revisões desnecessárias para inspeção e aumentando o tempo de disponibilidade dos equipamentos. Através do monitoramento do estado de funcionamento dos equipamentos, é possível expor a real condição de confiabilidade destes, pois um equipamento confiável pode melhorar ou manter sua eficiência, e ampliar a sua disponibilidade, reduzindo os custos de

reparos, substituições ocasionadas por falhas inesperadas, além de aumentar a segurança dos mantenedores (NAMBISAN *et al.*, 2017).

Para o Brasil atuar com excelência no agronegócio precisa além de desenvolver pesquisas científicas com foco no desenvolvimento e melhoramento das culturas, é necessário também elevar o nível da forma de atuação da manutenção dos equipamentos responsáveis pela produção. Através do avanço tecnológico das máquinas e dos equipamentos agrícolas que estão cada vez mais equipados com diferentes tecnologias, incluindo as tecnologias impulsionadas pela Indústria 4.0, garantindo a máxima eficiência dos equipamentos, elevando assim a produtividade (CEPEA, 2022). Implementando formas de manutenção sistêmicas e eficientes, identificando uma anomalia no equipamento antes que apresentem uma falha, buscando na manutenção preditiva o monitoramento do estado dos equipamentos em tempo real, analisando assim o estado de conservação e a performance do equipamento (SILVESTRI, 2020).

Neste sentido, a Indústria 4.0 está colaborando diretamente para a revolução tecnológica, tanto as máquinas quanto os gestores são diariamente confrontados com a tomada de decisões envolvendo uma entrada massiva de dados e customização no processo de manufatura. Através da utilização das tecnologias da Indústria 4.0 como sensoriamento IOT, *Big Data*, *Analytics* e conectividade será possível monitorar e prever falhas nos equipamentos florestais de forma preditiva e até prescritiva aumentando os níveis de produção. De acordo com Becherer *et al.* (2020) a possibilidade de realizar manutenção preditivas contribui para aumentar o tempo de disponibilidade das máquinas, o controle e a qualidade da produção e a redução de custos.

As unidades florestais apresentam maior dificuldade de fazer a manutenção adequada de suas máquinas e implementos agrícolas e assim obterem uma maior eficiência em seu processo de colheita e beneficiamento de produto (EMBRAPA, 2020). Essa dificuldade se deve à falta de dados e informações online dos equipamentos, não sendo possível a análise de dados em tempo real.

Diante disto, a pesquisa pretende responder a seguinte pergunta: **Como desenvolver um sistema de manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais?**

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Propor um sistema de manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar a evolução e tipologia da manutenção no contexto da indústria 4.0;
- Estabelecer as principais tecnologias 4.0 voltadas ao sistema de manutenção preditiva para o setor do agronegócio;
- Desenvolver uma arquitetura de referência para coletas e armazenamento de dados;
- Propor um Sistema de Análise de Dados para correlacionar dados de diferentes fontes e identificando padrões;
- Obter indicadores para as máquinas e equipamentos florestais em tempo real;
- Aplicar o sistema.

1.2 Justificativa

De acordo com Klos *et al.* (2019), na manutenção preditiva se faz o monitoramento das condições de máquinas através de coletas sistemáticas de dados e acompanhamento dos parâmetros operacionais, analisando suas tendências de aumento, estabilização ou redução. A Manutenção Preditiva tem por objetivo a promoção da maior disponibilidade operacional dos equipamentos, obtendo-se assim uma maior confiabilidade ao processo e aumento da segurança industrial, tendo como resultado uma melhor produtividade e performance operacional, associados a redução dos custos, de modo a estimar e prever a degradação gradual das máquinas, permitindo que os operadores tomem decisões informadas sobre as operações de manutenção (SARMIENTO *et al.* 2020).

Observa-se a grande importância da manutenção industrial nos mais diversos segmentos da indústria, encontram-se exemplos em usinas de Açúcar e Alcool

(DEBRASA) no município de Brasilândia/MS, utilizam-se os conceitos de monitoramento Preditivo como ferramenta de auxílio para seu planejamento de manutenção. Encontra-se também aplicações destinadas a manutenção preditiva de carregadeiras, caminhões e escavadeiras em empresas na área de mineração, utilizando tecnologias de *Big Data* através dos dados de telemetria de equipamentos, mais direcionado aos equipamentos da empresa alvo deste trabalho (SANTOS, 2017).

Segundo Ghobril (2018) identificou-se uma alternativa de solução para a grande dificuldade que usinas de açúcar e álcool têm em fazer a manutenção de forma adequada em suas máquinas e equipamentos hidráulicos para disponibilizar recursos e viabilizar a manutenção preditiva de máquinas e equipamentos agrícolas em usinas de açúcar e álcool, sendo assim possível aumentar a disponibilidade desses equipamentos em campo, esta situação proporciona melhoria nos índices de colheabilidade e conseqüentemente o aumento da rentabilidade das empresas.

As aplicações em manutenção preditiva em equipamentos são amplamente utilizadas no setor industrial, porém no setor florestal há uma limitação principalmente em função da conectividade, relevo e da falta de sensoriamento nas máquinas, dificultando esse tipo de desenvolvimento e aplicações. Essa lacuna é evidenciada na literatura, já que artigos pesquisados sobre o tema nas bases: Scopus, Web of Science e Science Direct não apontaram referências para aplicação de manutenção preditiva utilizando base de dados online em máquinas agroindustriais florestais. Embora as aplicações com dados em tempo real são amplamente aplicadas em outros setores industriais como na mineração e indústria de açúcar e álcool, não foram encontradas referências sobre este tema, proporcionando um caráter original a este trabalho para este o setor.

A solução proposta neste trabalho pretende utilizar as tecnologias da Industria 4.0 para propor um modelo de manutenção viabilizando a manutenção preditiva nas máquinas e equipamentos agrícolas melhorando a produtividade e rentabilidade no agronegócio, possibilitando:

- ✓ Monitoramento da saúde dos equipamentos;
- ✓ Redução de custos de manutenção;
- ✓ Redução de paradas na operação;
- ✓ Redução de Riscos Ambientais;
- ✓ Otimizações Logísticas;
- ✓ Segurança Operacional;

- ✓ Identificar falhas e atuar antes que aconteça
- ✓ Aumentar a disponibilidade das máquinas em campo;
- ✓ Aumentar a colheabilidade e competitividade

O trabalho visa explorar uma demanda do setor através de desenvolvimentos para uma solução tecnológica e inovadora na manutenção. Será proposto um sistema de manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais, trazendo algumas importantes contribuições:

- **Tecnológico:** o impacto tecnológico e digital oriundo da Quarta Revolução Industrial irá possibilitar um modelo de utilidade específica para manutenção preditiva e prescritiva de máquinas e equipamentos agrícolas florestais, não se limitando apenas a área florestal, mas pode ser expandido para outros segmentos de negócios onde apresentam uma grande quantidade de ativos com alto valor agregado, tais como: mineração, indústria química, aviação, indústria petroquímica e agronegócio em geral.

- **Econômico:** este trabalho pretende gerar contribuição econômica diante da grande representatividade do agronegócio no Brasil e no mundo, estimulando a partir deste estudo, a melhoria na produção, empregos, renda e diversos benefícios na economia diante do contexto da indústria 4.0. Busca ainda contribuir com a maior produtividade, qualidade, eficiência, confiabilidade e competitividade para o setor e para economia do país.

- **Social:** este trabalho pretende melhorar a preparação dos colaboradores para uma nova cultura e rotina de trabalho na manutenção e para enfrentar os novos desafios, é fundamental o desenvolvimento de novas habilidades visando maior agilidade e produtividade na execução dos trabalhos.

- **Acadêmico:** este trabalho pretende contribuir para a identificação dos tipos de manutenção e suas respectivas tecnologias necessárias para o desenvolvimento da manutenção inteligente no agronegócio. Além disso, contribuirá academicamente a partir de um estudo sobre sistema de manutenção 4.0 aprimorado para novos desafios, ampliando o uso de tecnologia na área florestal.

1.2.1 Relação do Tema com Engenharia de Produção e Grupo de Pesquisa EORE

Na engenharia de Produção observa-se a grande capacidade de integração dos mais diversos sistemas do ambiente industrial buscando a melhoria contínua em

seus processos, integrando sistemas, pessoas, processos, materiais, informações, tecnologia, equipamentos, bens e serviços. Desta forma convergindo com o propósito da Indústria 4.0 ou fábricas inteligentes pois exige a colaboração de diferentes áreas como: a engenharia química, engenharia mecânica, engenharia elétrica e ciência da computação para a sua realização (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

O trabalho também está inserido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR – Ponta Grossa), pois é um trabalho inovador na área do agronegócio e segue a linha de pesquisa de Gestão do Conhecimento e Inovação e do grupo de pesquisa de Engenharia Organizacional e Redes de Empresas (EORE).

O grupo EORE trabalha com desenvolvimento de pesquisas voltados a redes de empresas e Indústria 4.0 e tem por objetivo de avaliar, testar e comparar a metodologia de gestão da mesma, bem como as novas tecnologias podem impactar áreas como produção, manutenção, qualidade, sustentabilidade, recursos humanos e segurança.

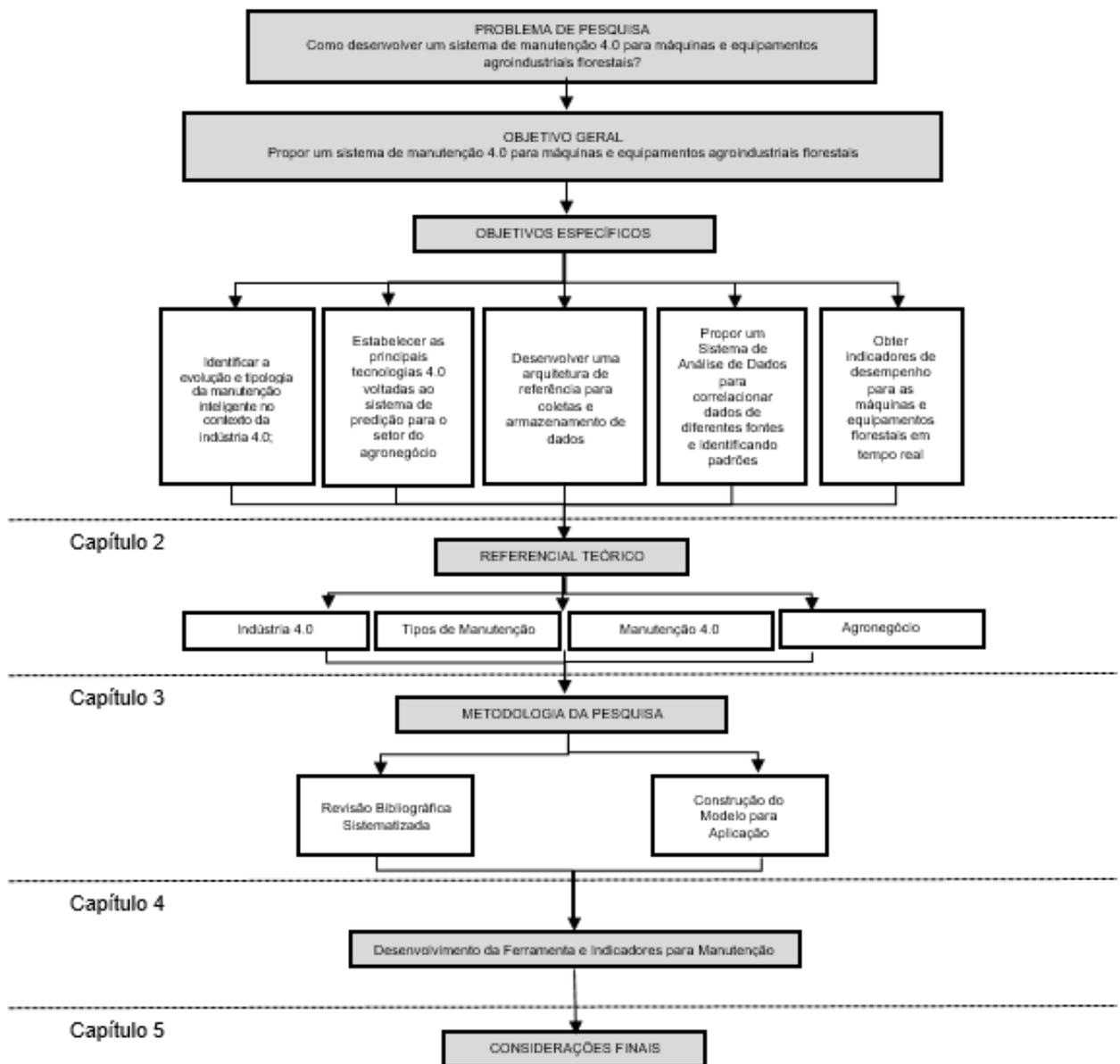
Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema para a identificação e análise da saúde de máquinas colheitadeiras agroindustriais, através da conectividade e o sensoriamento destes equipamentos, análise e tratamento de dados e correlações buscando o desenvolvimento de uma manutenção inteligente no setor florestal, aumentando a produtividade e reduzindo as perdas e paradas nos processos produtivos. Neste sentido e inserido no tema do grupo de pesquisa, este trabalho busca a implementação de um sistema de manutenção 4.0 para os equipamentos agroflorestais, onde será necessário inicialmente ter acesso aos dados das máquinas através da Rede CAN para assim transmitir, armazenar, tratar e analisar os dados através de modelos e correlações. Será apresentada uma nova aplicação de inovação tecnológica, associada a uma demanda do segmento de papel e celulose, contudo considera-se um grande potencial de expansão, onde este modelo serve como referência para aplicações em outros setores ou equipamentos.

1.3 Estrutura Da Pesquisa

Este trabalho está estruturado no desenvolvimento de uma aplicação utilizando tecnologias da Indústria 4.0 para manutenção.

O trabalho está estruturado em 5 capítulos. O Capítulo 1 apresenta o problema de pesquisa, com os Objetivos Gerais, Específicos, Justificativa, Escopo do Trabalho, Aspectos Metodológicos. O Capítulo 2 apresentará o referencial teórico da Indústria 4.0, Manutenção, Manutenção 4.0 e Agronegócio. O Capítulo 3 apresenta o procedimento metodológico no desenvolvimento da revisão de literatura. O Capítulo 4 apresenta o desenvolvimento da ferramenta e indicadores de manutenção, e o Capítulo 5 apresentará as considerações finais e conclusão do trabalho. A Figura 1 apresenta a estrutura de pesquisa.

Figura 1 - Estrutura de Pesquisa



Fonte: Autora (2021).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma visão geral sobre a temática abordada nesse trabalho. Será contextualizado primeiramente a Indústria 4.0 com o objetivo de caracterizar e entender essa nova revolução dentro da literatura especificada. Na sequência serão apresentados conceitos baseados na Manutenção 4.0, especialmente a Manutenção Preditiva e o uso de tecnologias da Indústria 4.0 para implementar modelos de aplicações que venham contribuir para formulação de um sistema de análise de dados e correlações que possam identificar e antecipar as falhas nos equipamentos florestais.

2.1 Indústria 4.0

Segundo Becherer *et al.* (2020) a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 reflete a evolução da automação que aconteceu em ondas impulsionadas por avanços tecnológicos e invenções dentro de um contexto histórico ao longo do tempo, como a máquina a vapor, a produção da linha de montagem e a introdução dos computadores e da Internet. Outro impulsionador da automação é a separação do poder da informação, que marcou a etapa da fabricação individual de peças de trabalho para uma produção em série mais eficiente e com economia de mão de obra (SHORT e TWIDDLE, 2019). Com a disponibilidade de computadores, a coleta e processamento de informações em sistemas de automação tornou-se o desafio predominante. Ao mesmo tempo, o impulso da tecnologia também forneceu a base para tornar os sistemas de automação mais complexos em muitos aspectos diferentes, como o tamanho da empresa, o grau de maturidade tecnológica, cultura organizacional.

De acordo com Sung (2018) o conceito de Indústria 4.0 é definido pela interconexão de produtos, máquinas e processos pela inteligência artificial, permitindo a adaptação as mudanças de mercado de forma mais independente. Modelar a Quarta Revolução Industrial para garantir que ela seja empoderadora e centrada no ser humano – ao invés de divisionista e desumana – não é uma função para um único interessado ou setor, e nem para uma região, ou indústria ou cultura. Pela própria natureza fundamental e global dessa revolução, ela afetará e será influenciada por todos os países, economias, setores e pessoas (SCHWAB, 2016).

De acordo com Moldavan (2018) a introdução de novos conceitos como Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem, abriu um caminho para sistemas massivamente distribuídos e sua adoção em novos paradigmas de automação, com a Indústria 4.0 ou Internet Industrial, levou a uma visão completamente nova sobre modelos de automação e arquiteturas e torná-los mais complexos novamente. A Indústria 4.0 tem em comum a utilização de novas tecnologias para melhorar o desempenho dos negócios, em formas inovadoras (HININGS, 2018).

Essas tecnologias criam uma visão completamente nova dos modelos e gestão dos negócios, com um potencial enorme de aumento de produtividade e eficiência, flexibilidade, transparência de informação e qualidade, reduzindo custos e aumentando o tempo de resposta ao mercado, fatores essenciais para o crescimento e sobrevivência de qualquer empresa. De acordo com Seidel (2018) a Transformação Digital também promete às organizações mais integração, eficiência e agilidade para se adaptar ao mercado globalizado e à competição acirrada. Portanto, o objetivo dessa nova revolução é maximizar a transparência de processos, aumentar a flexibilidade e produtividade, por meio de redução de custos e recursos, sendo alcançados pelo uso de ferramentas digitais (ANTOSZ, 2018).

Entretanto, esse novo mundo de oportunidades e iniciativas altamente potenciais traz consigo uma série de questionamentos sobre qual caminho seguir e quais projetos devem ser priorizados, levando empresas de todos os setores a uma completa indecisão sobre onde e como começar o processo de transformação digital, quais investimentos fazer e quais benefícios elas realmente podem esperar a partir da aplicação das tecnologias e conceitos de uma Indústria 4.0 (ZHONG, 2017).

A partir dos estudos de Friedman (2012), tem-se que a digitalização é provavelmente a megatendência mais importante no que diz respeito aos sistemas de automação em geral e aos seus modelos em particular, isso significa transformar os modelos existentes em uma representação digital que pode ser acessada por meio de um método uniforme com serviços uniformes.

A transformação digital ou digitalização, característica fundamental no que tange a indústria 4.0 traz mudanças na função de orquestrar digitalmente as tecnologias que atuam no processo de inovação e abre novos pares entre problemas e soluções (CIRIELLO, 2018). A digitalização da produção, devido aos sistemas de gestão, controle e planejamento que serão autônomos e auxiliados pelo uso da tecnologia da informação. No entanto, este é apenas o primeiro passo, deve ser

seguido pela atribuição de metadados e informações semânticas interpretáveis por máquina. Essa transformação é um pré-requisito para usar os modelos específicos para processos de integração ao longo das diferentes dimensões vertical, horizontal e temporal (ROBLEK *et al.*, 2016).

Com isso, segundo Schwab (2016), os principais objetivos da Indústria 4.0 são proporcionar as empresas:

- Alterações nas expectativas dos clientes;
- Produtos mais inteligentes e mais produtivos;
- Novas formas de colaboração e parcerias;
- A transformação do modelo operacional e conversão em modelo digital.

A Indústria 4.0 promete maior eficácia operacional, ganhos de produtividade, crescimento, e melhoria da competitividade, bem como o desenvolvimento de novos modelos de negócios, serviços e produtos (KAGERMANN, 2014). Com isso, percebe-se que a Indústria 4.0 através de seus desenvolvimentos tecnológicos onde busca-se por produtos com maior qualidade, complexidade e custos reduzidos, um novo modelo de indústria surgiu para melhorar processos, serviços e produtos com sistemas mais flexíveis e colaborativos (HERMANN *et al.*, 2016).

De acordo com Macdougall (2014) enquanto na Alemanha essa estratégia é impulsionada pelo Governo e está sendo referenciada como Indústria 4.0, nos Estados Unidos (EUA) ou em outros países também podem ser encontradas sob as mais diversas denominações, por exemplo Quarta Revolução Industrial, *Cyber Physical System* (CPS), *Smart Factory* ou Fábrica Inteligente, *Smart Production*, *Machine to Machine* (M2M), *Advanced Manufacturing*, *Internet of Things* (IoT), *Internet of Everything* (IoE) ou *Industrial Internet* (BAHRIN *et al.*, 2016).

2.1.1 Histórico da Indústria 4.0

Ao contextualizar a Quarta Revolução Industrial, precisa-se entender a evolução histórica da indústria ao longo do tempo. Segundo Moldavan (2018) a Primeira Revolução Industrial começou na Europa, por volta de 1760, marcada pela invenção da máquina a vapor e sua utilização em sistemas de produção mecânica. A principal indústria da Primeira Revolução Industrial foi a têxtil, com ela vieram profundas mudanças nos meios de produção, o que fez deste momento tornar-se um divisor de águas entre o sistema feudal, e o sistema capitalista. A produção em larga

escala e maior velocidade de produção fizeram aumentar a demanda de matéria-prima e de mão de obra, gerando a necessidade de melhorias nos meios de transportes tanto para a circulação de pessoas e mercadorias. Esta revolução apresenta a evolução da economia agrária para manufaturas mecanizadas (XU, XU, LI, 2018). Neste período a manutenção era essencialmente corretiva, realizando limpezas e lubrificações após as falhas, uma vez que a produtividade era prioritária e que os equipamentos eram simples e sobre dimensionados.

Na Segunda Revolução Industrial que aconteceu entre a segunda metade do século XIX e metade do século XX, apresentando o avanço do processo de industrialização para países, principalmente a Alemanha, França, Itália e países como Estados Unidos e Japão. Trazendo o aperfeiçoamento das tecnologias existentes e a introdução de novas fontes de energia, como a eletricidade e os motores à combustão, com o uso do petróleo como combustível. Além de introduzir as linhas de montagem (FONSECA, 2018). Neste período apresenta-se algumas mudanças em relação a manutenção, devido à falta de recursos da época, pois foi durante um período pós-guerra, e com um aumento da procura, seria necessário um aumento da produtividade com máximo aproveitamento das máquinas e suas funcionalidades. Nesta revolução, teve-se uma grande evolução a nível de manutenção, onde iniciaram o registo de manutenções em computadores e agendamento e controle da manutenção. Pode-se dizer que nesta era nasceu a manutenção preventiva (SUSTO, 2015).

Na Terceira Revolução Industrial, todos os avanços que aconteceram nesse período não se limitaram aos processos industriais. Foi caracterizada por avanços na área da robótica, da informática e das telecomunicações, além do surgimento de novas áreas como a nanotecnologia. Foi caracterizada pela utilização da tecnologia microeletrônica, tecnologias da informação, computadores e internet possibilitando a automação da produção (XU, XU, LI, 2018). As indústrias que passaram a adotar essas novas tecnologias tinham um diferencial em relação àquelas que permaneciam estagnadas nos sistemas de produção das revoluções industriais precedentes. Com a maior automatização dos processos, as pessoas, que não precisavam realizar tanto trabalho repetitivo, passaram a ter mais tempo para analisar e tomar decisões (PORTES, 2020). Nesta revolução foi introduzido o sistema *Just In Time*, diante da necessidade de reduzir ao máximo o tempo de paradas, horas de trabalho e improdutividade, assim nasceu o termo de manutenção preditiva.

Segundo Kagermann *et al.* (2011) a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 foi onde a industrialização atingiu uma quarta etapa, que assim como suas antecessoras, mudará fundamentalmente a forma como as pessoas vivem, trabalham e se relacionam. É, portanto, uma mudança de paradigma, não apenas mais uma etapa do desenvolvimento tecnológico. O termo Indústria 4.0 foi apresentado em 2011 na Feira de Hannover na Alemanha, sendo utilizado também pelo governo alemão em 2012 no plano de ação “High-Tech Strategy 2020” (KAGERMANN *et al.*, 2013). É praticamente uma expansão aprofundada da Terceira Revolução Industrial sustentada pela informação e conectividade, pela possibilidade de coletar e analisar dados em tempo real (PORTES, 2020). Numa abordagem mais simplista Schwab (2016) descreve que basicamente, a Indústria 4.0 resulta da fusão do digital, tecnologias físicas e biológicas.

O grande diferencial desta Quarta Revolução Industrial é justamente a convergência destas tecnologias abrindo um portfólio enorme de possibilidades de desenvolvimentos e integração de sistemas e tecnologias. Carvalho e Duarte Filho (2018), complementam que a indústria 4.0 não é simplesmente um novo conceito, mas sim um conjunto de definições e tecnologias que em sinergia, podem proporcionar diversos benefícios na área industrial. O termo Indústria 4.0, pode ser interpretado como uma evolução tecnológica, mas possui como contexto a transformação na estrutura organizacional e na cultura das indústrias (SCHUH *et al.*, 2017). A Figura 2 a seguir apresenta o contexto histórico das revoluções industriais, juntamente com a sua principal característica.

Figura 2 - Histórico das Revoluções Industriais

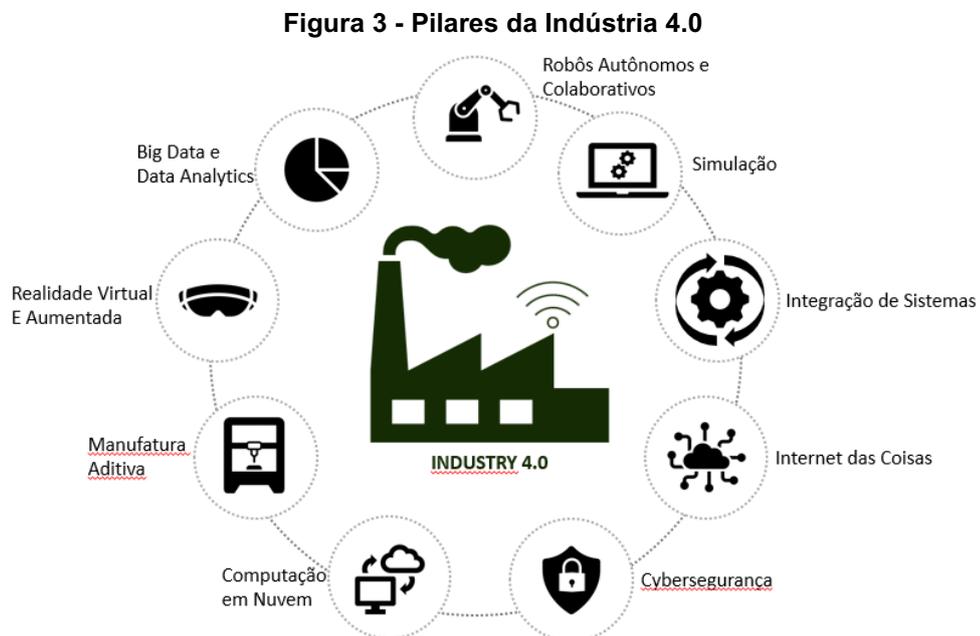


Fonte: Adaptado de Roblek *et al.* (2017).

Com isso, percebeu-se algumas características importantes para cada Revolução Industrial segundo a visão dos autores, especialmente a Quarta, foco deste trabalho. Para detalhar ainda mais sobre este tema, serão apresentadas na próxima seção, as tecnologias ou pilares da Indústria 4.0.

2.1.2 Pilares da Indústria 4.0

De acordo com Stock e Seliger (2016) a Quarta Revolução Industrial tem em sua essência a proliferação de dispositivos inteligentes e conectados através de diferentes tecnologias. Portanto, a Indústria 4.0 facilita a interconexão e a informatização da indústria tradicional (LU, 2017). A indústria 4.0 apresenta um conjunto de tecnologias que possibilitará ganhos significativos em produtividade, qualidade, sustentabilidade, além da redução do custo de operação e manutenção das empresas. Esse grupo de tecnologias envolvidas no processo de digitalização das empresas é chamado de tecnologias habilitadoras ou impulsionadoras para a Indústria 4.0 (MOTYL *et al.*, 2017), como apresentados na Figura 3.



Fonte: Adaptado de Motyl *et al.* (2017).

A Indústria 4.0 tem em comum a utilização de novas tecnologias para melhorar o desempenho dos negócios, em formas inovadoras (HININGS, 2018). Para fazer isso, várias tecnologias podem ser empregadas de acordo com vários princípios de transformação (HERMANN *et al.*, 2015). Conforme pode ser observado na Figura 3.

Big Data e Data Analytics: Segundo Sahal *et al.* (2020) possui a capacidade de coletar, organizar, tratar e analisar enormes quantidades de dados de diferentes fontes ou sistemas, sendo uma das tecnologias de maior relevância da Indústria 4.0 onde as demais tecnologias são dependentes de uma estruturação de dados. A aplicação de *Big Data* e *Data Analytics* pode otimizar o aumento de produção e qualidade, economizar energia e melhorar o desempenho dos equipamentos (QINGLIN QI e FEI TAO, 2018). O *Big Data Analytics* (BDA) se baseia na extração de informações úteis deste grande volume de dados facilitando as tomadas de decisões. Essas tecnologias são a essência de tempo e valor para análises em tempo real, análises de *streaming*, e processamento de eventos complexos. Eles permitem que as organizações construam em tempo real soluções que usam IIoT e extraem informações de diferentes fontes para obter insights de milhões de eventos em um tempo mínimo. Consequentemente, análise de *Big Data* e processamento analítico são tecnologias vistas como requisitos fundamentais para a manutenção preditiva (IVANOV, DOLGUI e SOKOLOV, 2018). Por se considerar uma tecnologia de grande importância para o desenvolvimento deste trabalho, o *Big Data* e *Analytics* será detalhado na seção 2.5.

Robôs Autônomos e Colaborativos: Os robôs já são utilizados há muito tempo na indústria, sendo que o primeiro robô industrial surgiu na década de 50, mas o grande diferencial do robô da Indústria 4.0 está na capacidade de trabalhar sem a supervisão humana, atuando de forma inteligente, cooperativa e autônoma. A utilização de robôs autônomos irá fazer uma redução de custos com mão-de-obra e com isso o aumento da produção, fazendo com que as indústrias se tornem mais competitivas. De acordo com Bahrin *et al.*, (2016) os robôs autônomos irão interagir não somente entre eles, mas também terão interação com os humanos e irão aprender com eles de forma colaborativa. Robôs autônomos têm grande capacidade de reduzir erros em tarefas simples que muitas vezes passam despercebidas pelos humanos (SAUCEDO-MARTINEZ *et al.*, 2018).

Simulação: Atualmente simular virtualmente produtos e diferentes materiais é uma realidade. E na Indústria 4.0, o ambiente virtual pode constituir-se de máquinas, procedimentos, equipamentos, produtos, processos e pessoas e faz uso de dados do mundo físico para um ambiente virtual. Assim todo ciclo de produção pode ser simulado. No mundo industrial, a simulação é uma forma de representação do comportamento de um processo através de um modelo computacional utilizando

parâmetros de processo, procedimentos e variáveis em estudo (BADRI, BOUDREAU-TRUDEL e SOUISSI, 2018). A simulação tem como objetivo reduzir custos com protótipos de produtos ou células, testar e evitar erros e otimizar espaços, identificar possíveis distúrbios ou anomalias no processo e mitigar erros ou fatores de riscos (ZHONG, 2017).

Integração de Sistemas (horizontais e verticais): É o conceito utilizado para descrever como os dados, processos de produção e produtos se comunicam dentro da Indústria 4.0. (PORTES, 2020). Existem dois tipos de integração de sistemas: o vertical e o horizontal. O primeiro refere-se à comunicação entre os sistemas dentro da empresa, desde o desenvolvimento de produtos até o planejamento estratégico. Já o horizontal refere-se à comunicação entre a empresa e outros agentes externos à empresa, como fornecedores e clientes. Enquanto a integração vertical fornece um panorama do funcionamento da empresa, a integração horizontal fornece um panorama sobre o ciclo de vida do produto (LI e XU, 2017).

Internet das coisas: A Internet das coisas ou *Internet of Things* – IoT é uma referência tecnológica com a capacidade de conectar qualquer coisa a qualquer hora e em qualquer lugar, dando origem a uma infinidade de novas aplicações e serviços (LU, PAPAGIANNIDIS e ALAMANOS, 2018). O sensoriamento cresce no mundo de forma exponencial e a grande quantidade de sensores atualmente já é maior do que a população mundial. Os sensores já fazem parte do nosso dia a dia e estão por toda parte, conectando diferentes dispositivos principalmente nos celulares, carros, eletrodomésticos e TVs entre outros. Neste cenário da Indústria 4.0, todas as coisas são inteligentes e estão conectadas à internet. Os sensores conectados à internet geram dados e estes dados podem ser analisados aumentando a capacidade de tomada de decisão em tempo real (SANTOS *et al.*, 2018)

Cibersegurança (CyberSecurity): A cibersegurança é uma consequência do uso de outras tecnologias da Indústria 4.0, em um mundo cada vez mais conectado e integrado, é essencial proteger os dados e sistemas das ameaças cibernéticas, que podem afetar de maneira trágica empresas, pessoas e instituições. Portanto, para proteger o sistema de produção industrial contra estes ataques, foram criadas política e procedimentos de segurança cibernética confiáveis (MOKTADIR *et al.*, 2018). Com o uso da Computação em Nuvem e a maior conectividade os dados tornam-se de certa forma mais suscetíveis a ataques externos. Esta área de segurança digital também inclui a capacidade de recuperação dos dados caso eles sejam perdidos por

fatalidades como incêndios e/ou perda de energia. É necessário que tenhamos mecanismos para identificar se um dado ou informação foram manipulados. Diferentes sistemas podem rastrear etapas dos processos e identificar os usuários responsáveis em cada função, assim como data e horários determinados. Uma outra forma de assegurar que apenas pessoas autorizadas tenham os devidos acesso a uma determinada informação é por meio da lei de proteção de acessos. Esta lei LGPD foi criada em 2018 e dispõe sobre o tratamento de dados pessoais, inclusive nos meios digitais, por pessoa natural ou por pessoa jurídica de direito público ou privado, com o objetivo de proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural (ALMEIDA, 2020).

Computação em Nuvem (*Cloud Computing*): A computação em nuvem é amplamente utilizada em muitas organizações, já na Indústria 4.0, as performances das tecnologias em nuvem são otimizadas por ser escalável, o aumento da capacidade e velocidade de processamento. Sistemas cada vez mais rápidos e de fácil acesso e baixo custo atraem empresas que confiam seus dados e sistemas à nuvem. Pois possuem diversos benefícios como a maior quantidade de dados passíveis de integração e uma economia substancial de hardware para as organizações. O termo nuvem ou *cloud* caracteriza o fato de que o serviço utilizado não está presente localmente, ficando em um local remoto, onde o sistema é controlado por diferentes empresas especializadas nesta área (LIU e XU, 2017).

Manufatura Aditiva (Impressão 3D): O conceito consiste em adicionar o material, camada por camada, até obter o objeto desejado. A facilidade em produzir geometrias mais complexas fornece ainda maior flexibilidade e capacidade de customização a custos mais baixos sem a necessidade de estoques e melhorando a logística (CHEN e LIN, 2017). Geralmente estes modelos são realizados com o auxílio de modelos tridimensionais que possuem softwares aliados à tecnologia de impressão 3D. A impressão 3D é muito utilizada para produzir protótipos físicos e peças únicas (SANTOS *et al.* 2018). Na Indústria 4.0, o uso da manufatura aditiva é utilizado em larga escala para produzir lotes de peças customizadas, onde o modelo de processo tradicional envolve altos custos de personalização, grandes prazos de entrega e fabricação, além do transporte. Sendo possível direcionar as impressoras 3D nos locais de consumo diminuindo assim as dificuldades com logísticas e impactos ambientais devido a transportes de materiais (KIETZMANN, PITT e BERTHON, 2015).

Realidade Virtual e Aumentada: Esta tecnologia está relacionada com a utilização de dispositivos inteligentes em que a realidade física ou real é combinada com elementos virtuais (SAUCEDO-MARTINEZ *et al.*, 2018). A Indústria 4.0 identifica um enorme potencial no uso de realidade aumentada para a geração e prestação de serviços, onde é possível interagir entre o mundo real e o virtual, esta tecnologia também é de grande utilidade para aplicações na educação e em treinamentos profissionais e colaborativos, e com ênfase na medicina. Colocar um elemento virtual em um espaço físico ou mesmo recriar um espaço digital como se fosse um espaço físico falso. Segundo Bahrin *et al.* (2016) essa tecnologia pode recriar um ambiente que não é real, de forma digital, através de uso de computação e elementos gráficos. É capaz de reproduzir ambientes interativos em três dimensões e apresenta a ilusão de serem, de fato, reais e, sendo possível navegar, vivenciar e até tocar. Já a realidade aumentada é realizada por meio de tecnologias que superpõem um objeto virtual na visão do usuário, realçando o ambiente, o termo Realidade Aumentada faz com que um objeto do mundo digital se conecte ao mundo real. Sendo possível assim a interação com o ambiente à nossa volta e manipulá-lo de forma digital.

É importante mencionar que na Quarta Revolução Industrial a Fábrica Inteligente ou Indústria 4.0, além de utilizar recursos como a plataforma em nuvem e coleta de dados através do *Big Data* e *Big Data Analysis*, poderá utilizar estes recursos também para a inovação dentro de um processo, como por exemplo manutenção preditiva ativa ou prescritiva, otimização de linha de produção e otimização do consumo de energia isto será possível através do histórico de dados armazenados no *Big Data* (WAN *et al.*, 2017).

2.2 Manutenção

O intuito desta seção será apresentar a contextualização da Manutenção rumo a Manutenção 4.0 (este tema será apresentado na seção 2.3). Para isso, serão apresentados o conceito e importância da manutenção, bem como sua tipologia. Posteriormente, será apresentada a evolução da Manutenção até chegar ao contexto da Indústria 4.0.

Primeiramente será necessário apresentar conceitos sobre a manutenção, que pode ser definida como uma função logística e operacional para buscar a disponibilidade de recursos e garantir a qualidade da produção (SUSTO, 2015). Sua

eficiência de desempenho e eficácia são difíceis de medir em termos absolutos, então isso tem que ser definido e medido em termos relativos econômicos, técnicos ou índices organizacionais (MUCHIRI *et al.*, 2011). Em um cenário onde ocorrem cada vez mais rápido as mudanças significativas nas empresas, a manutenção de seus ativos é de suma importância, pois a produção passou a desempenhar papel estratégico, a manutenção antes vista como um mal necessário passou a ser considerada indispensável à produção. De acordo com as necessidades do cliente, é essencial a criação de estratégias de manutenção e confiabilidade dos equipamentos, evitando indisponibilidades e custos gerados através de paradas por quebras, falhas ou refugos comprometem os resultados esperados pela produção (FAGUNDES *et al.*, 2011).

De acordo com Gregol e Andrade (2014) os objetivos da manutenção são diversos, mas entre eles destacam-se a redução de custos da empresa, evitar paradas nos equipamentos com perdas produtivas, encurtar ao máximo tempos de indisponibilidade de equipamento, melhorar qualidade produtiva, aumentar a segurança e incrementar o *output* produtivo. Segundo Pinto (2016) a manutenção tem papel de destaque no funcionamento de uma empresa, pois não adianta o gestor de operações procurar ganhos de produtividade enquanto os equipamentos não dispõem de uma manutenção adequada. O possível impacto de novas técnicas de manutenção na otimização dos processos de manutenção e na situação financeira, incluindo o impacto nos lucros auferidos pelas empresas de produção, bem como o impacto que exercem na sobrevivência das empresas de produção de um mercado exigente e competitivo (TRAH ANH, 2018).

Já a melhoria nas atividades da manutenção viabiliza a redução de custos, o aumento da produtividade, além de melhorar a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos, contribuindo de forma significativa para aumentar a competitividade das organizações (MENDES e RIBEIRO, 2011). De acordo com Shin e Jun (2015) alguns dos principais objetivos da manutenção são:

- ✓ Aumentar a disponibilidade dos equipamentos;
- ✓ Aumento da confiabilidade;
- ✓ Reduzir falhas;
- ✓ Reduzir custos;
- ✓ Disponibilizar mais segurança;
- ✓ Melhoria contínua do desempenho e da produtividade.

2.2.1 Tipos de Manutenção

Segundo a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT a Norma Brasileira de Referência - NBR 5462-1994 (1994) classificam os tipos de manutenção em:

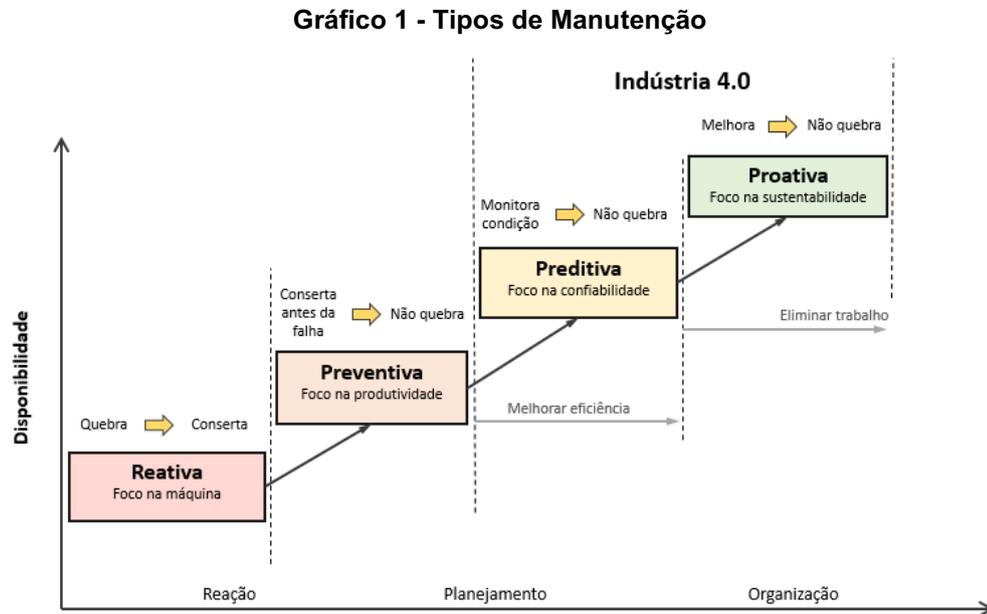
Corretiva: É quando a manutenção é realizada após a ocorrência de uma falha destinada a recolocar um item ou equipamento em condições de funcionamento conforme requerida (ABNT, 1994). A Manutenção Corretiva é realizada em máquinas para correção de anomalias, classificadas como falhas, panes ou quebras, ou seja, quando o equipamento não desempenha a função para a qual foi projetado (SUSTO, *et al.*, 2015).

Preventiva: Esta manutenção é realizada em certos intervalos de tempo predeterminados, ou de acordo com critérios estipulados, designada a recuperação de falha ou a degradação do funcionamento de um item (ABNT, 1994). A Manutenção Preventiva (PM), também conhecida como manutenção baseada no tempo, foi introduzida na 1950, e uma definição comum na literatura é: 'O cuidado e manutenção do pessoal para o objetivo de manter o equipamento em condição operacional satisfatória, fornecendo sistematicamente inspeção, detecção e correção de falhas incipientes antes que ocorram ou antes que elas evoluírem para grandes defeitos (SHIN e JUN, 2015).

Preditiva: Estas manutenções permitem assegurar uma qualidade de serviço estipulada, com uma aplicação sistemática da análise, fazendo uso de meios de supervisão centralizados ou de amostras procurando reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e corretiva (TRAN ANH *et al.*, 2018).

Pró-Ativa: Esta manutenção apresenta conceitos de manutenção sob condição, em busca da alta performance e da excelência operacional. A manutenção pró-ativa é uma solução inovadora buscando melhorias na gestão da manutenção em processos industriais complexos e com grande criticidade. De acordo com Shin e Jun (2015) as máquinas e equipamentos geram muitos dados que podem ser coletados e analisados de acordo com o seu uso e com o histórico ao longo do tempo, com essas informações pode-se identificar a necessidade de manutenção, atuando de forma antecipativa a problemas mais graves que podem causar grandes perdas econômicas ou paradas na produção. Neste período destaca-se também uma evolução no conceito de Engenharia da Manutenção, que analisa aplicações dos conceitos

direcionados à otimização dos equipamentos, de processos e orçamentos, com o objetivo de alcançar uma melhor manutenibilidade, confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, monitorando a saúde dos ativos de manutenção (SATURNO *et al.*, 2018). No Gráfico 1 pode-se visualizar os tipos de manutenção identificados.



Fonte: Adaptado de Tran Anh *et al.* (2018).

2.2.2 Evolução da Manutenção

Assim como a indústria, ou mesmo as Revoluções Industriais, a manutenção apresenta diferentes estágios de acordo com sua evolução ao longo do tempo. O setor de Manutenção evoluiu em conjunto com a indústria e para que as atividades da manutenção se integrem de forma eficaz ao processo produtivo e direcione a empresa no caminho da excelência operacional. Porém, de modo geral, as perspectivas convergem. De acordo com Henke and Kuhn (2015) apresenta quatro gerações na evolução da manutenção.

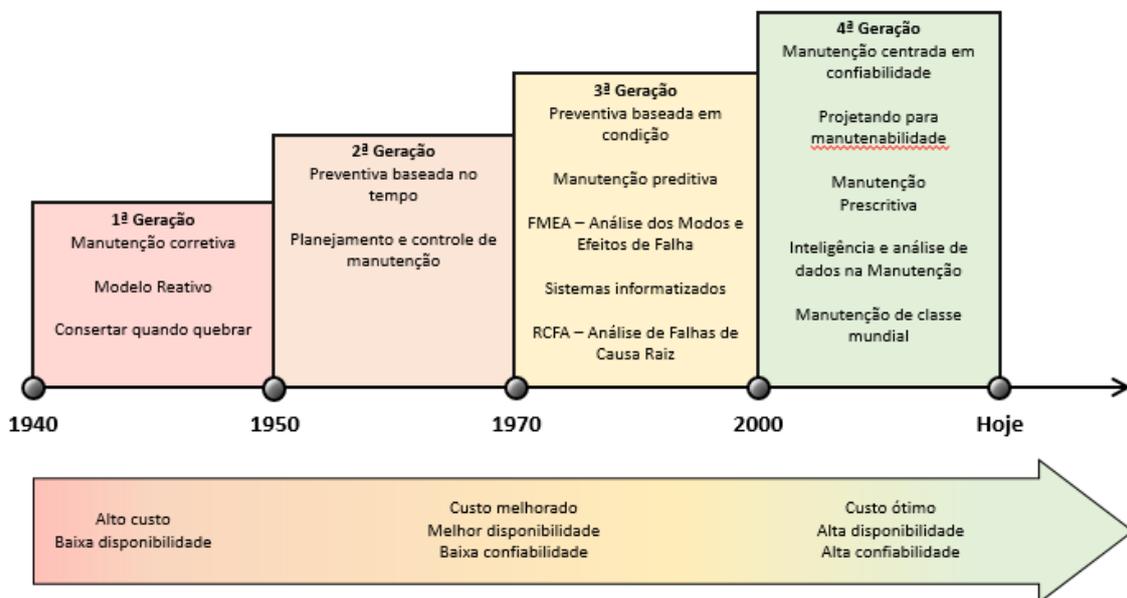
1ª Geração: Mecânica – centrada basicamente na energia mecânica e nos motores a vapor. Teve início no final do século XVIII constituindo a mecanização da indústria têxtil uma das principais aplicações.

2ª Geração: Elétrica – caracterizada pela eletricidade nas fábricas, e também pela utilização de diferentes métodos científicos para produção e da produção em massa, onde uma das principais aplicações foi a linha de montagem de Henry Ford em 1913. Surgiu no início da década de 1950.

3ª Geração: Automação – com a introdução da tecnologia de automação e da tecnologia da informação, iniciou-se a terceira revolução industrial em que a informática com seus computadores mainframe, os computadores pessoais e a internet foram introduzidas nas fábricas para automatizar tarefas mecânicas e repetitivas. Isso começa a ocorrer a partir dos anos 70.

4ª Geração: Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 – Com a convergência das diversas tecnologias da Indústria 4.0 surgiu um novo conceito de manutenção, baseado em análises de dados e tomada de decisão de forma mais dinâmica e efetiva analisando desde a tendências de desvios dos equipamentos sendo possível detectar anomalias muito antes de sua ocorrência até o completo diagnóstico da saúde dos equipamentos através de sensoriamento IOT, Inteligência Artificial, *Analytics* e *Big Data*, Machine Learning e outras (DUTRA, 2017). Na Figura 4 pode-se observar estas evoluções da manutenção.

Figura 4 - Evolução da Manutenção



Fonte: Adaptado de Dutra (2017).

Conforme definido anteriormente, a manutenção corretiva é uma atividade puramente curativa, consiste em atividades repetitivas de quebra e conserta. Enquanto a manutenção preventiva realizada as atividades conforme as recomendações dos fornecedores, parâmetros e análises estatísticas e conhecimentos práticos da produção em determinados intervalos de tempo (TRAN ANH *et al.* 2018). A preditiva, é efetuada através de rotina sistemática de inspeções com instrumentos dedicados para sua análise, tendo por objetivo analisar e

acompanhar o estado dos equipamentos, detectando de forma precoce anomalias em máquinas ou equipamentos em seus estágios iniciais, antes de serem percebidas pela experiência de técnicos e manutentores, sendo uma manutenção pró-ativa e estratégica (WAN *et al.*, 2017).

A manutenção Preditiva possibilita a correção de processos de falhas antes de tornarem-se críticos, demorados e com altos custos, através de uma importante ferramenta: o diagnóstico. De acordo com Saturno *et al.* (2018) a mudança da manutenção tradicional para novas tendências, como a manutenção preditiva, é crucial para o desenvolvimento da empresa. Este revela tanto a detecção de um problema quanto a não existência de anormalidades, evitando por exemplo a execução desnecessária de uma revisão, conserto ou reparo. Diante destas vantagens, o monitoramento preditivo ganha cada vez mais espaço e se destaca como uma das ferramentas mais utilizadas pelos gestores de manutenção atualmente, pois gera ações que apresentam vantagens para a saúde de qualquer área da empresa (SAHAL, 2020).

Diante deste cenário, as gestões da manutenção têm investido na adesão às diversas tecnologias disponíveis no mercado que podem auxiliá-los no gerenciamento das suas atividades e em busca de alternativas que elevem a disponibilidade e confiabilidade de seus ativos industriais, utilizando as tecnologias da indústria 4.0 (SARMIENTO *et al.* 2020). Dentre estas ferramentas utilizadas, destaca-se então os conceitos da Manutenção Produtiva Total - MPT e o Monitoramento Preditivo - MP.

A Manutenção Preditiva Total é considerada uma evolução do conceito de manutenção e tem como objetivo a máxima utilização de seus ativos, e pode ser vista como a responsável por uma gestão inteligente dos métodos de manutenção e tecnologias disponíveis nestas áreas (SILVESTRI *et al.*, 2020). A Manutenção Preditiva Total tem por objetivo a promoção da maior disponibilidade operacional dos equipamentos, obtendo-se assim uma maior confiabilidade ao processo e aumento da segurança industrial, tendo como resultado uma melhor produtividade e performance operacional, associados a redução dos custos, de modo a estimar e prever a degradação gradual das máquinas, permitindo que os operadores tomem decisões informadas sobre as operações de manutenção (NIYONAMBAZA, 2020).

Outro aspecto relevante, é que pudesse avaliar com segurança o real estado dos componentes, evitando que na inspeção ou reparo dos equipamentos sejam executados serviços ou trocadas as peças sem necessidade, isso devido à falta de

informações de diagnósticos o que acontece com frequência na indústria seguindo apenas as rotinas estabelecidas pela manutenção (BECHERER et al, 2020). Com isso, é muito importante identificar o momento correto para intervir no equipamento conforme sua real necessidade de manutenção, desta forma consegue-se uma redução na taxa de falha e uma alta mantenedibilidade que proporciona uma excelente redução nos custos e melhoria nos resultados.

De acordo com Klos *et al.* (2019) o principal objetivo da PM é seguir as diretrizes planejadas para evitar avarias ou mau funcionamento, e sua estratégia se baseia em probabilidades estimadas de que o equipamento vai quebrar. Isso é conhecido como 'Tempo médio entre falhas' (MTBF) e é medida de quão confiável é um componente de hardware. O trabalho característico da PM engloba a inspeção de desgaste, limpeza, lubrificação, substituição de peças e reajuste, realizado rotineiramente para evitar avarias. PM consiste em manutenção planejada ou programada conduzida após períodos específicos de tempo e uso da máquina. PM foi adotado por alguns aeroportos como uma primeira contramedida para reduzir a probabilidade de avarias (BECHERER et al, 2020).

E a manutenção preditiva (PdM) tem por objetivo a manutenção baseada na condição (CBM) e é projetada para determinar a condição do equipamento enquanto ele está funcionando. De acordo com a definição de Sahal *et al.* (2020), CBM é uma estratégia de tomada de decisão onde a decisão de realizar a manutenção é alcançada observando a condição do sistema e seus componentes. Conseqüentemente, análise de *big data* e *analytics* são tecnologias fundamentais para a manutenção preditiva.

Observando o equipamento de trabalho, informações precisas e oportunas podem ser adquiridas sobre sua condição e desempenho, permitindo igualmente conhecimento preciso e decisões para prever quando a manutenção deve ser programada (MOBLEY, 2011). A Manutenção Preditiva, portanto, traz economia de custos sobre PM porque seus requisitos são baseados na realidade, ao invés do que as estimativas de condição e desempenho e, conseqüentemente, PdM requer menos peças sobressalentes em estoque e os gestores podem tomar ações mais adequadas com a manutenção, substituição ou mesmo uma parada planejada.

Estas aplicações facilitam economia na manutenção da máquina e aumento da produtividade, garantindo o tempo máximo de atividade das máquinas (SAHAL *et al.*, 2020). Em PdM, as técnicas de diagnóstico usadas para medir a condição são

monitoramento de temperatura, ruído, vibração e lubrificação. Quando os indicadores alcançam um determinado nível de deterioração, a manutenção é realizada para trazer o equipamento de volta à condição desejada, o que significa que o equipamento só é retirado de serviço quando existe evidência de que a deterioração ocorreu ou está prestes a ocorrer. PdM é baseado nos mesmos princípios do PM, mas envolve um padrão diferente para determinação de requisitos para serviços de manutenção específicos. Uma das vantagens da PdM é o fato de que a manutenção é programada somente quando necessário (HASHEMIAN e BEAN, 2011).

A melhor maneira de evitar quebras é uma estratégia de manutenção que monitora a condição de uma máquina ou dispositivo em uso, a fim de que sua vida útil restante possa ser estimada. Consequentemente, análise de *big data* e *analytics* são requisitos fundamentais para soluções na manutenção preditiva. (SAHAL *et al.*, 2020). Isso é chamado de condição de monitoramento ou gerenciamento de engenharia de diagnóstico. Nota-se evidências consideráveis que o PdM oferece vantagens econômicas na maioria das indústrias e é a melhor estratégia disponível para evitar tempo de inatividade inesperado do sistema (RANDALL, 2010).

2.3 Manutenção 4.0

A Manutenção 4.0 consiste em sistemas habilitados para se auto-aprender, prever falhas, fazer seus diagnósticos e acionar fluxos de manutenção usando dados históricos, conhecimento de domínio e dados em tempo real coletados por meio de dispositivos IIoT (JI, 2017). A manutenção 4.0 tem vários atributos em vários domínios onde cada domínio tem requisitos diferentes. Este estudo tem como objetivo apresentar as dimensões da manutenção 4.0, análise e requisitos técnicos associados de uma análise de *big data* e as perspectivas das técnicas que são adequadas para a tomada de decisão.

Segundo Mourtzis (2018) a manutenção tem um papel de extrema importância para a fábrica inteligente, tendo em vista que quando ocorre um problema, afeta o equipamento e a eficiência da produção. Este novo modelo de manutenção chamado também de manutenção preventiva ativa, apoia-se através da coleta de dados em tempo real, integração entre alarmes nos dispositivos, registros e status para avaliar em tempo real o estado do equipamento. Em resumo, previne quaisquer eventualidades, sendo proativo, prevenindo os problemas com antecedência (WAN

et. al., 2017). A manutenção 4.0 utiliza o máximo da vida útil dos componentes, atua com medições mais sofisticadas e detalhadas, identifica com maior antecedência e aponta o tipo de falha, definindo o que deve ser feito, através da Inteligência Artificial e outras tecnologias da indústria 4.0 (SILVESTRI *et al.*, 2020).

A manutenção inteligente é, segundo Sahal *et al.* (2020) o caso de uso mais proeminente para máquinas e fábricas inteligentes, uma abordagem sistemática que pode rastrear continuamente a degradação do equipamento e extrapolar o comportamento temporal de indicadores para prever riscos de comportamento inaceitável ao longo do tempo, bem como identificar exatamente quais componentes de uma máquina provavelmente falharão.

Essa percepção contínua de monitoramento presente e futuro das máquinas e seus componentes, bem como a infraestrutura do fluxo de informações, permite a migração para a manutenção baseada em diagnósticos inteligentes, estas ações de manutenção são então sincronizadas com a operação do sistema e com os recursos de manutenção necessários e as peças de reposição (HASHEMIAN e BEAN, 2011). Essa sincronização de ações de manutenção e infraestrutura de fluxo de informações deve permitir o acionamento autônomo de serviços e o pedido de peças sobressalentes, gerando operação do sistema com tempo de inatividade próximo de zero por meio de manutenção proativa e econômica, menos intrusiva à função normal do sistema (SILVESTRI *et al.*, 2020).

A manutenção 4.0 refere-se a uma nova abordagem de projetos nos processos da manutenção pró-ativa para a Indústria 4.0. A importância e posição da manutenção em uma moderna fábrica gerenciada é destacada pelo fato de que a manutenção é uma das áreas fundamentais de uma empresa e que afetam bruscamente a produção (SAHAL *et al.*, 2020). A possibilidade de realizar manutenção pró-ativa contribui para melhorar o tempo de máquina parada ou indisponibilidade, os custos, horas de serviço, controle e a qualidade da produção (ZONTA *et al.*, 2020).

A digitalização é o elemento chave para o sucesso futuro das fábricas. Os softwares são elementos essenciais utilizados na produção como fator de decisão, esses conjuntos de máquinas em rede devem ser controlados e seus dados armazenados, tratados e analisados de forma representativa buscando gerar valor através das informações disponíveis (CACHADA, 2018). Portanto, as empresas de hoje sendo de manufatura ou não, precisam estar inseridas também como empresas de software. Para Zonta *et al.* (2020) a ciência da computação, incluindo a inteligência

artificial e os campos da computação distribuída, está cada vez mais presente em uma área onde a engenharia era a especialidade dominante, destacando-se a importância de uma abordagem multidisciplinar para abordar a Indústria 4.0 de forma eficaz.

Com a inteligência artificial, a manutenção preditiva (PdM) baseada em métodos orientados a dados se tornou a solução mais eficaz para lidar com a fabricação inteligente e big data industrial, especialmente para realizar a percepção da saúde dos ativos por exemplo, o diagnóstico de falhas e avaliação de vida útil dos equipamentos (ZHANG W, YANG D, WANG H, 2019). A quantidade de dados extraídos dos processos de produção aumentou muito devido ao crescimento exponencial de tecnologias de sensoriamento.

Segundo Qinglin e Fei (2018) quando estes dados são processados e analisados de forma correta, eles podem trazer informações que geram conhecimento e inteligência que são valiosos em todo processo de fabricação, sistema de produção e equipamentos. Em todo segmento industrial, a manutenção dos equipamentos é de suma importância e pode afetar o tempo útil de operação dos equipamentos e a sua eficiência. Assim, as falhas dos equipamentos devem ser identificadas o quanto antes para serem solucionadas, e desta forma evitar as paradas nos processos produtivos. A possibilidade de realizar manutenção preditiva contribui para melhorar o tempo de máquina parada, custos, controle e qualidade da produção (ZONTA, 2020).

De acordo com Silvestri *et al.* (2018) no cenário industrial, a função da manutenção cada vez mais destaca-se pela sua grande importância, à medida que as empresas entendem que a manutenção, quando bem executada, pode ser um fator estratégico para o alcance dos objetivos corporativos. Segundo Becherer *et al.* (2020) as últimas tendências de manutenção tendem para a abordagem preditiva, exemplificada pelas técnicas de Prognóstico e Gestão da Saúde (PHM) e da Manutenção Baseada em Condições (CBM). A implementação de tais abordagens exige uma arquitetura bem estruturada e pode ser impulsionada pelo uso de tecnologias impulsionadoras da Indústria 4.0, principalmente com a Internet das Coisas (IIoT), realidade aumentada, realidade virtual ou mista, computação em nuvem e análise avançada de dados (NIYONAMBAZA *et al.*, 2020).

Os ganhos esperados para área de manutenção na Indústria 4.0 são listados por Ferreira *et al.* (2016) são: Otimização do processo de produção; o monitoramento e avaliação da integridade do equipamento para definir e executar ações de manutenção antes que alguma falha ocorra; a otimização de parâmetros operacionais

podem vir a reduzir o consumo de energia; aumentar a qualidade e identificar eventos inesperados conectando-se não apenas com outras máquinas e recursos de produção, mas também com a equipe envolvida na produção, aproveitando a quantidade de informações e dados disponíveis. Saturno *et al.* (2018) no seu estudo no setor fabricação de máquinas ferramentas cita como maior desafio para a manutenção o sensoriamento e monitoramento das máquinas e ferramentas, a criação de modelos preditivos baseados nos dados adquiridos, uso de soluções baseadas em nuvem para gerenciar as informações das máquinas e seus diversos consumidores.

Marhaug e Schjøberg (2016) consideram a *Smart Maintenance* como um subconjunto da Indústria 4.0. Onde através do uso das tecnologias habilitadoras é possível construir aplicações onde sejam feitas as análises e monitoramentos dos equipamentos de forma inteligente. Atuando na falha antes que ela aconteça, fazendo previsões e identificando padrões nos comportamentos e funcionamento dos ativos, permitindo um diagnóstico preciso da saúde dos equipamentos e buscando sua melhor performance.

Os equipamentos que são objeto de estudo deste trabalho são máquinas colheitadeiras florestais. Para ter acesso aos dados e informações disponíveis nestas máquinas será feito uma conexão com a rede CAN destas, onde estão concentradas informações das variáveis de medição e performance destes equipamentos.

2.4 Rede Can

A rede de área do controlador CAN (*Controller Area Network*) é um protocolo de barramento amplamente utilizado em sistemas automotivos embarcados distribuídos, é uma rede inteligente vinculada com todos os módulos dos veículos utilizando somente dois fios para obter todas as informações dos sensores e enviar para os módulos, é extremamente robusta e reduz a interferência de ruídos eletromagnéticos. Sua largura de banda de comunicação limitada (até 1 Mbps) e tamanho da carga útil (até 8 bytes) limitam sua aplicabilidade no setor automotivo elétrico e eletrônico cada vez mais complexo de hoje sistemas. CAN com taxa de dados flexível (CAN-FD) é um protocolo de comunicação baseado em CAN aprimorado, com maior largura de banda de comunicação (até 8 Mbps para a carga

útil) e tamanho de carga útil aumentado (até 64 bytes). O CAN é um protocolo de comunicação serial síncrono (BOSH, 2011).

O sincronismo entre os módulos conectados à rede é feito em relação ao início de cada mensagem lançada ao barramento, este é um evento que ocorre em intervalos de tempo conhecidos e regulares. Baseia-se no conceito multi-mestre, onde todos os módulos podem se tornar mestre em determinado momento e escravo em outro, suas mensagens são enviadas em regime *multicast*, identificado pelo envio de toda e qualquer mensagem para todos os módulos existentes na rede. Para implementar um sistema capaz de ter todas essas informações, o CAN é fundamental para permitir o funcionamento síncrono de todos os dispositivos automotivos. Destaca-se como principais características da rede CAN a facilidade no diagnóstico e a quantidade reduzida de cabos (PINTO, RUFINO, ALMEIDA, 2011).

Os conceitos da rede CAN são especificados por duas normas: a ISO11898 e a ISO11519-2. A ISO11898, estabelece que as características de uma rede com alta velocidade de transmissão de dados (de 125Kbps a 1Mbps). A ISO11519-2, determina as características de uma rede trabalhando com baixa velocidade (de 10Kbps a 125Kbps). Existem vários padrões fundamentados no CAN, dentre os quais podem-se destacar:

- NMEA 2000: fundamentado no CAN 2.0B e utilizado em aplicações navais e aéreas;
- SAE J1939: fundamentado no CAN 2.0B e utilizado em aplicações automotivas, especialmente ônibus e caminhões;
- DIN 9684 – LBS: fundamentado no CAN 2.0A e utilizado em aplicações agrícolas;
- ISO11783: fundamentado no CAN 2.0B e também utilizado em aplicações agrícolas.

Considerando-se uma aplicação em Rede CAN, a primeira atividade que deve ser realizada durante o projeto de sua rede de comunicação de dados é a determinação da sua arquitetura.

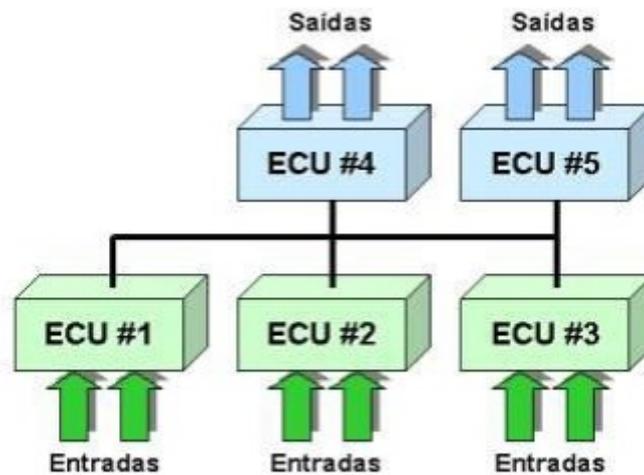
2.4.1 Determinação da Estrutura

Para construir uma estrutura de rede de comunicação é necessário definir a arquitetura eletrônica do sistema. Segundo Andrade (2015) o conjunto de diversos

módulos eletrônicos conectados em uma rede embarcada e denominado de arquitetura eletrônica. Esses módulos têm como principal função controlar os dispositivos eletrônicos dos veículos que estão ligados através desta arquitetura.

Existem dois tipos de arquitetura, a arquitetura distribuída e a centralizada, sendo: a arquitetura distribuída onde um grupo específico de sensores estão ligados a uma ECU (*Electronic Control Unit*), e um outro grupo de sensores estaria conectado a outra central eletrônica fazendo o processamento de forma distribuída. Estas ECUs estariam conectadas entre si através em um barramento para a troca mútua de informações (NUNES, 2016). Conforme mostrado na Figura 5.

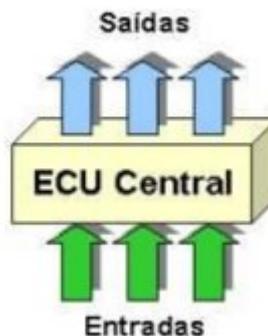
Figura 5 - Arquitetura Distribuída



Fonte: Nunes (2016).

Já a arquitetura centralizada irá receber todos os sinais dos sensores e atuadores numa única ECU. Essa arquitetura possui várias vantagens, como: hardware simples, diagnóstico único para o sistema e custo reduzido (NUNES, 2016), conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Arquitetura Centralizada



Fonte: Nunes (2016).

As ECUs são os elementos de processamento centrais do veículo e fazem a leitura das informações originadas nos sensores ou atuadores que estão alocados em pontos estratégicos dos veículos, onde são processadas e utilizadas como base para controle dos diversos atuadores (NUNES, 2016). Estes sensores monitoram diversas informações dos veículos como: temperatura do óleo, temperatura do motor, rotação, pressão, nível de óleo, corrente, fluxo de ar, nível de combustível, velocidade, tensão da bateria, consumo etc., fazendo a conversão destas variáveis em sinais eletrônicos que serão transmitidos para a ECU. Onde estes módulos funcionam como um microprocessador, contemplando hardware e software para gravar os dados em endereços específicos de memória.

Neste momento pode-se enfrentar duas situações: ter que estabelecer uma rede de comunicação entre ECUs prontas e que não trabalhem em rede ou, ter que projetar totalmente as ECUs, considerando a leitura das entradas, seus devidos processamentos e atuações nas saídas, além da troca de dados através da rede propriamente dita.

Tomando-se como ponto de partida uma aplicação onde as ECUs estejam prontas, as informações de cada ECU deverão ser disponibilizadas no formato determinado pelo Protocolo CAN, (NUNES, 2016). Além de estabelecer as conexões necessárias à comunicação de dados entre as próprias ECUs. Estas ECUs, da forma como foram originalmente projetadas são capazes de fornecer as informações sob sua responsabilidade para que o devido empacotamento no formato CAN seja realizado.

2.5 *Big Data*

Conforme verificado na seção 2.1.2, *Big Data* é uma tecnologia impulsionadora da Indústria 4.0, considerado também como um pilar da Indústria 4.0. Este pilar será explanado de forma mais detalhada por se considerar que será fundamental para a consolidação dos objetivos dessa pesquisa.

De forma geral, *Big Data* são dados fundamentais e estruturantes para qualquer tecnologia da Indústria 4.0, a *Big Data* está se tornando cada vez mais importante (QINGLIN e FEI, 2018). Porém ainda não há opiniões unificadas sobre a definição de *Big Data*. Em geral, *Big Data* é utilizado para descrever uma grande quantidade de dados estruturados, semiestruturados e não estruturados, dados

gerados por diferentes fontes que precisariam de muito tempo e dinheiro para serem armazenados e analisados com objetivo de gerar valor (MANYKA, 2018).

Para Gartner (2019) previu que mais de 20 bilhões de dispositivos (a maioria da indústria de manufatura) seriam conectados à IIoT em 2020. Como resultado, um grande volume de dados é gerado, o que seria ter mais de 40 zetabytes até 2020. Portanto, para os próprios dados, *Big Data* se refere aos dados massivos que puderam ser coletados, armazenados, gerenciados, compartilhados, analisados e computados por ferramentas de dados regulares dentro de um tempo tolerável para os usuários de dados, é mais importante o valor e relevância dos dados ao invés da enorme quantidade (GANDOMI, 2015). Assim, *Big Data* também é interpretado como a capacidade para adquirir rapidamente o valor oculto e as informações de uma grande quantidade de dados. Vai além da geral capacidades de processamento dos usuários.

Além disso, *Big Data* também pode ser definida através das seguintes características, que são Volume, Variedade, Velocidade e Valor, ou seja, 4Vs (CHEN, 2014). Com relação ao Volume, refere-se a escala de dados quando é muito grande, variando de vários PB, 1000 TB a ZB, um bilhão de TB (GANTZ, 2011). Quanto à variedade, significa que o tamanho, o conteúdo, o formato e as aplicações dos dados são diversificados. Por exemplo, os dados incluem os estruturados como dígitos, símbolos e tabelas e dados semiestruturados árvores, gráficos e documentos XML e ainda dados não estruturados registros, áudios, vídeos, documentos e imagens (GANDOMI, 2015).

Velocidade significa que a geração de dados é rápida e o processamento de dados requer alta oportunidade. Diante de dados massivos, a velocidade é o que dá vazão aos sistemas e aplicações. Para o valor, a importância do *Big Data* não é o grande volume, mas sim o enorme valor. Como extrair o valor de dados massivos por meio de algoritmos poderosos, esta é a chave para melhorar a competitividade. Além disso, as características de *Big Data* atualmente são estendidas para 10 Vs, ou seja, volume, variedade, velocidade, valor, veracidade, visão, volatilidade, verificação, validação e variabilidade (BABICEANU, 2016).

Os dados podem ter uma infinidade de aplicações de acordo com as demandas e necessidades dos diferentes segmentos de negócios, devido a poderosa capacidade preditiva (QINGLIN e FEI, 2018). Grande parte destes dados mudaram o modo de manutenção tradicional e passivo. Através da coleta e análise de dados massivos de dispositivos ou instrumentos inteligentes, ele toma a iniciativa de

transportar os dados destes dispositivos ou produtos capacitando o monitoramento da saúde, falha, diagnóstico e otimização do processo de operação para uma manutenção preditiva (HUO, 2016; e WAN, 2017).

2.5.1 *Big Data e Analytics*

Com o crescimento exponencial das tecnologias IoT, os dados estão se tornando cada vez mais acessíveis e onipresentes em muitas indústrias. *Big Data* normalmente provém de vários canais, incluindo sensores, imagens, dispositivos, vídeo / áudio, redes, arquivos de log, aplicativos transacionais, a web, e feeds de mídia social (RICH, 2017). Os sistemas de análise de *Big Data* foram aprimorados para lidar com o desafio do grande volume de dados, que cresce exponencialmente. Esses sistemas de análise normalmente abordam o desafio de volume permitindo escalar adicionando novos nós ao ambiente distribuído para fornecer unidades de processamento e armazenamento (SAHAL *et al.*, 2020). Neste ambiente, os conjuntos de dados são muito maiores e podem ser muito complexos para software analítico de dados convencional. De acordo com Qinglin e Fei (2018) para organizações e fábricas com uma abundância de dados de chão de fábrica, técnicas de análise avançada são essenciais para descobrir padrões ocultos, correlações desconhecidas, tendências de mercado, preferências do cliente e outras informações comerciais úteis. Através da coleta e análise destes dados massivos de dispositivos ou produtos inteligentes são feitas as correlações, simulações e modelamentos para realização de uma solução otimizada (MANYKA, 2018).

Além disso, uma análise mais profunda de vários dados de máquinas e processos podem perceber a produtividade e competitividade das empresas (LEE, 2014). Por exemplo, no fluxo de produção de uma empresa, centenas de variáveis devem ser monitoradas para garantir a precisão, qualidade e produção. Ao processar um *Big Data*, um fabricante pode descobrir parâmetros que têm o maior impacto na qualidade ou variação de rendimento (BROWN, 2011). Um número crescente de empresas de manufaturas está empenhado em otimizar a produção ou processos de manutenção em um ambiente de *Big Data*.

A tecnologia da Informação e Comunicação – TIC refere-se a uma TI estendida que destaca as comunicações unificadas e a integração das telecomunicações, entre outras tecnologias que são capazes de armazenar, transmitir

e manipular dados ou informação (HASHIM, 2017). TIC cobre uma ampla gama de ciência da computação e técnicas de processamento de sinal, como sistemas sem fio, empresas *middleware* e sistemas audiovisuais. Concentra-se na informação transferência por meio de vários meios eletrônicos, como com ou sem fio e diferentes padrões de comunicação, é crucial na fabricação inteligente, onde as operações de produção e tomada de decisão dependem dos dados.

Segundo Bloom (2014) as TIC têm um impacto distinto sobre organização da empresa, de modo que melhores TIC para gerentes de fábrica e trabalhadores está associado a mais autonomia e um amplo espectro de controle. Por exemplo, as TIC são consideradas um dos fatores de sucesso na competência de fabricação, uma vez que ajuda as empresas a melhorar a agilidade, flexibilidade e produtividade de seus negócios.

O uso de TIC facilita o manuseio de recursos de informação e resultados na redução de custos e no aumento da conformidade do cliente (COLIN, 2017). Dentro da era da manufatura moderna, bilhões de dispositivos digitais têm acesso para redes baseadas na Internet. As aplicações de TIC foram amplamente divulgadas em muitas áreas como educação, turismo, manufatura, ciências sociais, telecomunicações, saúde, telemedicina e aplicações clínicas.

As aplicações atuais de TIC focam principalmente na integração com outras tecnologias, como computação em nuvem e IoT, para que os sistemas de informação existentes na indústria que podem ser combinados com tecnologias de ponta. De acordo com Babiceanu (2016) usando TIC resultou em melhorias significativas em muitas aplicações. Assim, as empresas da indústria estão buscando vários produtos baseados em TIC soluções para resolver seus problemas atuais de conectividade. Na Indústria 4.0, pode ser previsto que as TIC serão mais utilizadas para integrar tecnologias emergentes a fim de enfrentar os desafios futuros em vários setores.

2.5.2 Análise Preditiva e Correlações

Segundo Qinglin e Fei (2018) a análise preditiva é uma ferramenta que permite determinar o provável resultado futuro de um evento ou a probabilidade de uma situação ocorrer, tendo um grande potencial para identificação de relacionamentos e padrões utilizando poderosos e sofisticados algoritmos para que possam identificar padrões de comportamento e tendências.

Existe uma correlação entre o mundo *Big Data* de acordo com a possibilidade de se obter indicadores de forma fácil, rápida e clara. O fundamento da correlação está na quantificação da estatística entre dois pontos, em que se algum deles sofre uma alteração o outro provavelmente também será alterado (SAHAL *et al.*, 2020). A correlação para uma análise de previsão ou análise preditiva tem a finalidade de antecipar ou prever eventos.

De acordo com Becherer *et al.* (2020) esta tecnologia é amplamente utilizada na previsão de falhas estruturais e mecânicas através do sensoriamento instalados nas máquinas, motores, bombas e uma infraestrutura de rede para que dados como temperatura, vibração, pressão e outras variáveis possam ser analisadas e identificadas como uma possível falha, construindo um modelo antecipativo.

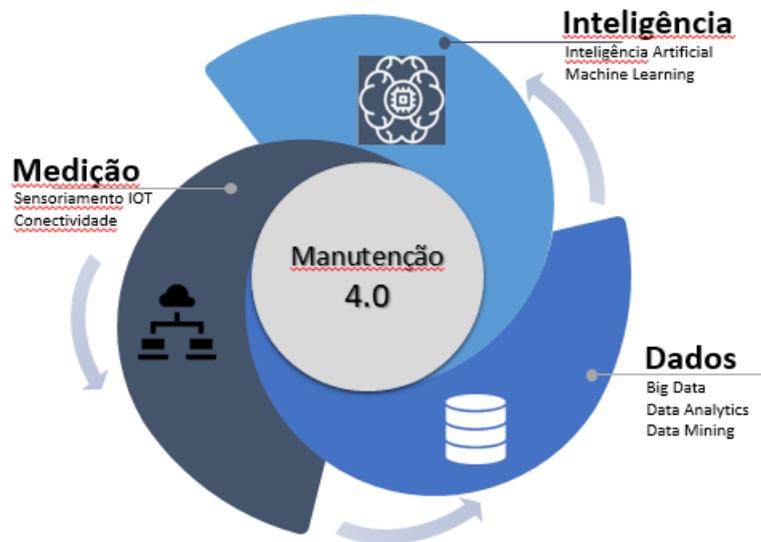
O *Big Data e Analysis* analisam os dados para tomada de decisões de acordo com suas diferentes fontes como: inteligência artificial, aprendizado de máquina, modelamento matemático, correlações. Estas previsões com base em correlações estão na essência do *Big Data*, esta análise permite identificar o que está acontecendo no equipamento e qual a tendência de seu modo de operação para mostrar o real funcionamento e aproveitamento do equipamento. Mostrando por exemplo a falta ou excesso de lubrificação em uma bomba e direcionando o trabalho do manutentor para que atue de forma antecipada, evitando a parada ou danos nos equipamentos (CHIANG, LU e CASTILLO, 2017).

Devido a quantidade de dados disponíveis nas máquinas e com sensores mais eficientes as correlações são de extrema importância para análises e surgem com maior rapidez e com menor custo. Porém é preciso ter cuidado com estas correlações, pois conforme a quantidade de dados aumenta a possibilidade de encontrar correlações não verdadeiras também aumenta. (MAYER, 2013).

Para que seja possível implementar uma Manutenção Inteligente os artigos selecionados no referencial teórico apontam que as principais tecnologias impulsionadoras para a Manutenção 4.0 são: sensoriamento IOT pois primeiramente é necessário medir e monitorar as diversas variáveis dos equipamentos e a conectividade para transmissão destes dados. *Big data* e conseqüentemente *data Analytics* e *Data Mining*; que são utilizadas para o tratamento dos dados, pois para Manutenção Inteligente é uma premissa o acesso a uma estrutura de dados. E inteligência artificial e conseqüentemente *machine learning* onde será feito o aprendizado de máquina através da coleta de dados com sensores IOT e o tratamento

destes dados via algoritmos analíticos, a análise e detecção de falha é realizada de forma prematura identificando padrões e tendências do comportamento ideal e dos desvios ou falhas dos equipamentos. Conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Tecnologias Habilitadoras para Manutenção Preditiva



Fonte: Adaptado de SARMIENTO *et al.* (2020)

Marhaug e Schjøberg (2016) consideram a Manutenção Inteligente como um subconjunto da Indústria 4.0, onde através do uso das tecnologias habilitadoras é possível construir aplicações onde sejam feitas as análises e monitoramentos dos equipamentos de forma inteligente. Atuando na falha antes que ela aconteça, fazendo previsões e identificando padrões nos comportamentos e funcionamento dos ativos, permitindo um diagnóstico preciso da saúde dos equipamentos e buscando sua melhor performance. O objetivo deste trabalho é implementar estas tecnologias da Indústria 4.0 no segmento do Agronegócio devido à grande relevância do setor no Brasil e no mundo.

2.6 Agronegócio

O agronegócio é o maior negócio do Brasil, o setor alcançou uma participação de 27,4% no PIB brasileiro segundo o IBGE (2021), a maior taxa desde 2004. No ano de 2021 teve um crescimento de 8,36%v (CEPEA, 2022). Ele contempla toda a cadeia de produção, estocagem, industrialização e comercialização de insumos, produtos agrícolas e pecuários (HEREDIA, 2010). É o setor que possui a maior capacidade de geração de empregos e um dos seus maiores desafios se encontram

na busca por aumento nos índices de produtividade e ao atendimento à sustentabilidade dos sistemas de produção, envolvendo aspectos ambientais e sociais, assim como o desenvolvimento de mecanismos para agregar valor em toda sua cadeia.

A agricultura do século XXI está voltada para a o uso e a ampliação de novos métodos e forte aderência as novas tecnologias da Indústria 4.0 e às práticas multidisciplinares para a busca de soluções nas diferentes áreas do conhecimento. Segundo a análise de referências e oportunidades para o Brasil aumentar a oferta de emprego no setor e dinamizar as atividades produtivas diante da atribulada conjuntura econômica, destacou que será o agronegócio o setor que mais rapidamente pode responder de forma positiva a este desafio. Com isso haverá mais investimentos em tecnologia, o que converge positivamente nos valores de produção alcançados. Assim, o agronegócio vem sendo impulsionado a produzir de maneira mais eficiente e consciente fazendo uso destas tecnologias, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 - Evolução da Agricultura na perspectiva da evolução da Indústria



Fonte: Adaptado de Yang et al. (2021).

A partir da Figura 8 percebe-se que assim como as Revoluções Industriais, a agricultura também acompanhou o uso de ferramentas e tecnologias até chegar a Era da Digitalização. De acordo com YANG *et al.* (2021) a Agricultura 1.0: a era agrícola tradicional dominado por humanos e recursos animais, a principal questão da agricultura era a baixa eficiência de operação. A Agricultura 2.0 era caracterizada pela agricultura mecanizada, o principal problema foi o uso ineficiente de recursos. A Agricultura 3.0 a era do desenvolvimento em alta velocidade de máquinas e

equipamentos automáticos, o principal desafio era o baixo nível de inteligência. E por fim a Agricultura 4.0 ou agricultura inteligente que é caracterizada principalmente pelo uso das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 com informação para servir a agricultura e desenvolvê-la de forma inteligente.

O agronegócio está presente na economia mundial de forma fundamental, pois este é o setor responsável por prover a alimentação da população e a produção de bens de consumo essenciais. Dentro da agricultura mundial destaca-se os Estados Unidos como um dos maiores exportadores agrícolas do mundo. Somente em 2018, a produção exportada somou U\$ 139,5 bilhões (FAO, 2020). A China também se destaca no cenário agrícola mundial e não só como uma das principais produtoras, mas também como uma das maiores consumidoras, onde é hoje a maior importadora de alimentos, sendo justificado pela sua grande extensão territorial e população grande taxa populacional.

No ano de 2017, a produção agrícola da China superou 5,8 trilhões de yuans (cerca de U\$ 865 bilhões). De acordo com os dados da (FAO, 2020), em relação aos valores de exportação, a China está em 4º lugar, com 4,2% do mercado. As demais posições ficam para a União Europeia, os Estados Unidos e Brasil, sendo 41,1%, 11% e 5,7% respectivamente.

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores de alimento do mundo ocupando a 3ª posição, sendo o maior exportador de alimentos, com grande potencial para ser o maior produtor mundial. O Brasil possui vários recursos favoráveis ao seu alto desempenho, principalmente os climáticos, que beneficiam a enorme produção no agronegócio. Além do clima, o Brasil conta com uma quantidade de água considerável e potencial tendo mais áreas agricultáveis, porém ainda sendo utilizado apenas 7,3% dessas áreas (IBGE, 2020).

O agronegócio vem se destacando como um vetor fundamental para o crescimento econômico brasileiro. Fazendo com que o PIB do agronegócio no Brasil tivesse uma alta de 1,87% em 2019, segundo o Cepea (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada). Atualmente somente o agronegócio representa 27,4% do PIB brasileiro (IBGE, 2021).

Segundo os dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/USP) em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2020), o agronegócio representa a metade das exportações do país, o que demonstra um grande poder positivo na balança comercial brasileira. Em relação ao

comércio internacional, 43% do total das exportações brasileiras em 2019, foram de produtos do agronegócio.

O agronegócio está cada vez mais consolidado e sua importância na economia nacional e geração de emprego e renda crescem linearmente. Diante disso o setor florestal brasileiro tem dado sua contribuição para este incremento, sendo o maior exportador e segundo maior produtor de celulose no mundo e destaca-se pela grande diversidade de produtos, formando um conjunto de atividades e segmentos de negócios que vão desde a produção até a transformação da madeira in natura em celulose, papel, roupas, medicamentos, pisos laminados, painéis de madeira, móveis, madeira serrada, carvão vegetal, além dos produtos não madeireiros.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2020). Estimativas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) apontam que, em 2030, o consumo mundial de madeira em toras terá um aumento de aproximadamente 60% em relação ao consumo atual, o que aumentará cerca de 2,4 bilhões de m³ impulsionada pelo crescimento populacional e o aumento das demandas de exportação e principalmente pelo uso da tecnologia.

De acordo com Heredia (2010) os setores estratégicos da economia do País, como a química, siderurgia, indústrias de papéis, embalagens, madeiras, móveis e a construção civil, estão estreitamente ligados ao setor agroflorestal. A matéria-prima agroflorestal possui grande relevância no mercado, no cenário atual e para mercados futuros em diversos setores produtivos, tendo maior destaque para os fármacos, cosméticos, alimentos, resinas e óleos.

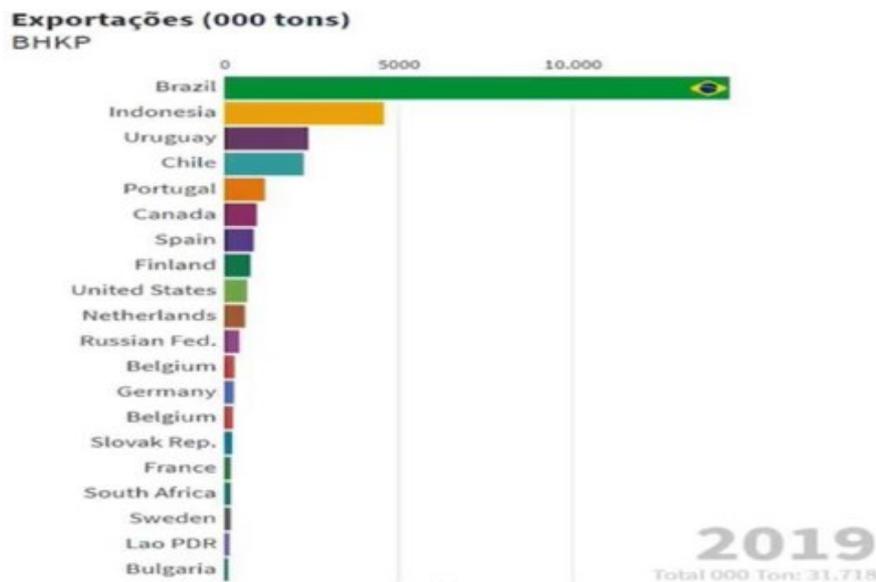
O Brasil dispõe de uma grande vantagem competitiva no desenvolvimento do agronegócio comparado a outros países, tendo uma disponibilidade de terras e água doce de forma abundante, condições climáticas e solo, luminosidade, mão de obra, gestão e capacidade de geração de tecnologia de produção no País, além de conhecimento da agricultura tropical e do desenvolvimento sustentável desempenhando um importante papel nos mercados internacionais. “As terras do Brasil são exploradas ao longo da história e ainda assim continuam a oferecer novas oportunidades para a expansão econômica (LINK, 2011). Com isso poderá se favorecer desses recursos naturais, o qual é escasso na grande maioria dos países, bem como pelo crescimento mundial da demanda por alimentos, fibras e energia.

Segundo a Embrapa (2019) o Eucalipto tem uma grande importância comercial dentro da economia brasileira. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores,

são 5,5 milhões de hectares plantados com esta espécie, apresentando uma produtividade média de 39 m³/ha/ano. A produtividade depende de uma série de fatores, como a definição do local de plantio, a cultura regional e os insumos disponibilizados. De uma forma geral, as espécies de eucalipto têm sido mais utilizadas devido ao seu rápido crescimento, a sua grande capacidade de adaptação e as diversas regiões ecológicas.

Também pelo potencial econômico, possibilitando a utilização de forma diversificada de sua madeira. O incremento da produtividade de madeira, com menores custos e com maiores taxas de retorno do investimento confirmam a grande atratividade ao cultivo do eucalipto, garantindo alta competitividade de seus produtos no mercado interno e externo (EMPRAPA, 2019). Um outro ponto positivo é a velocidade do ciclo de vida dessas plantas. Enquanto o do eucalipto é de 7 a 10 anos, outras árvores usadas na Europa, por exemplo, para a fabricação de papel e celulose, têm um ciclo 10 vezes maior tornando este um grande diferencial competitivo neste segmento de negócio. De acordo com a ABTCP (2021), o Brasil tem mantido a liderança na exportação de celulose desde 1997. Conforme apresentado pelo Gráfico 2.

Gráfico 2 - Exportação de Celulose Mundial



Fonte: Adaptado pela autora de ABTCP (2021).

Através destes dados comprova-se a importância do agronegócio no Brasil e as grandes oportunidades de desenvolvimento aplicando as tecnologias da Indústria 4.0 em todo o setor e com ênfase no setor florestal, objeto deste trabalho.

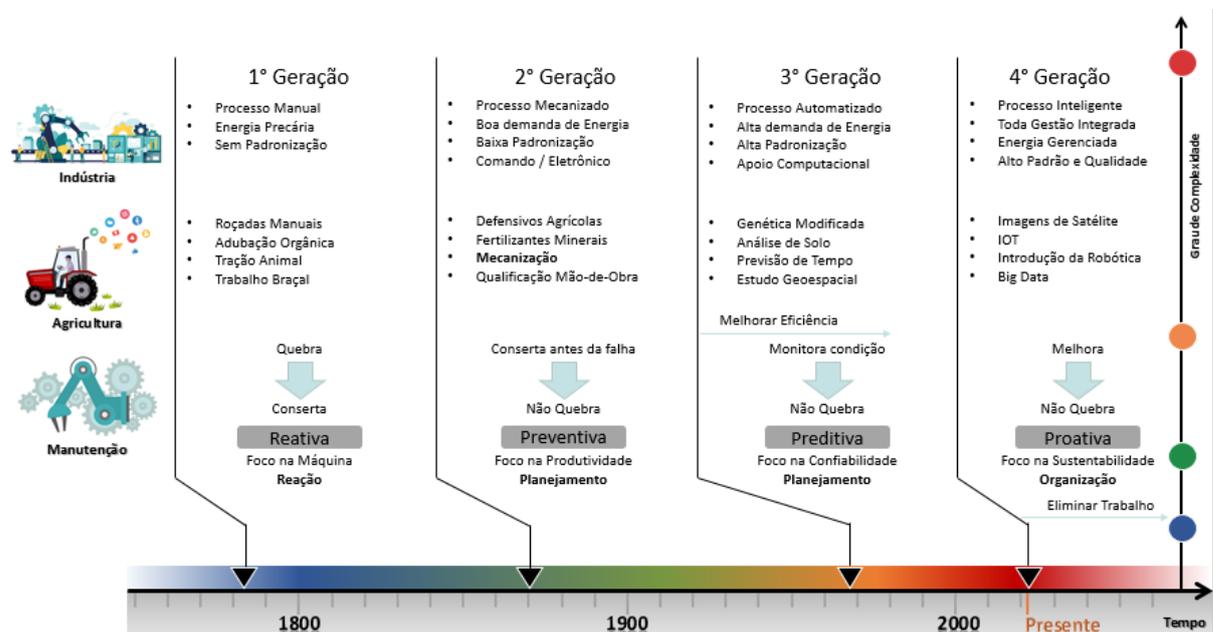
2.7 Considerações Sobre o Capítulo

De acordo com o que foi exposto neste capítulo, foi possível identificar no portfólio apresentado os conhecimentos já sistematizados sobre o assunto investigado, com a base teórica sobre histórico, conceitos, características, evolução, tecnologias, tipologias da Indústria 4.0 e da Manutenção 4.0, que irão auxiliar a responder à pergunta de partida do trabalho, e a cumprir o objetivo geral.

Inicialmente, foi realizado a revisão sistemática da literatura para o entendimento do que é a Indústria 4.0, seu histórico e evoluções, como descrito na seção 2.1. Após foram apresentados os conceitos relacionados a Manutenção 4.0 conforme apresentado na seção 2.2. E a seção 2.4 e 2.4.1 apresentam os conceitos relacionados a Protocolos de Comunicação e Arquitetura. Por fim, a seção 2.5 a 2.5.2 apresentaram os conceitos sobre *Big Data* e *Analytics*, Modelos de Análise Preditiva e Correlações de dados. E no capítulo 2.6 a contextualização e importância do agronegócio no Brasil, destacando a aplicação no setor que é o foco do trabalho.

De acordo com o capítulo apresentado, pode-se compreender o contexto da Indústria 4.0 e a sua evolução fazendo um paralelo com a evolução do agronegócio, assim como da manutenção em sua linha do tempo. Com destaque para a inovação e as tecnologias utilizadas para antecipação de falhas através de tecnologias da Indústria 4.0, a relação da evolução entre a indústria, agronegócio e manutenção foi ilustrada na Figura 9.

Figura 9 - Evolução da Indústria, Agronegócio e Manutenção



Fonte: Autora (2022).

Neste sentido, a Figura 9 resume os tópicos abordados no Capítulo 2, ilustrando a evolução da indústria a partir das 4 gerações ou Eras, bem como da agricultura e da manutenção ao longo do tempo. Através deste referencial teórico foram cumpridos os objetivos específicos 1 e 2 que foram consolidados neste capítulo e ilustrados na Figura 9. Conforme pode-se constatar:

Objetivo1 - Identificar a evolução e tipologia da manutenção no contexto da indústria 4.0;

Objetivo 2 - Estabelecer as principais tecnologias 4.0 voltadas ao sistema de manutenção preditiva para o setor do agronegócio;

No capítulo 3 será detalhada a metodologia para o desenvolvimento de um sistema de manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais, objetivo geral deste trabalho, utilizando os conceitos e as tecnologias da Indústria 4.0 consolidadas neste referencial teórico.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta como o estudo foi desenvolvido em relação a caracterização da pesquisa, obtenção do portfólio bibliográfico e análise dos artigos.

3.1 Caracterização Da Pesquisa

Segundo Gil (2008) entende-se que a pesquisa é um mecanismo racional e sistemático com o objetivo de buscar respostas aos problemas encontrados. Classifica-se a pesquisa em relação ao método, abordagem, natureza, objetivos e procedimentos. De acordo com Turrioni e Mello (2012), a pesquisa exploratória apresenta mais aderência ao problema de pesquisa com objetivo de torná-lo explícito ou definir hipóteses de acordo com o levantamento bibliográfico, entrevistas com os envolvidos ou análise de situações dentro deste contexto.

Método: Através da observação de um determinado número de artigos científicos é possível a generalização tendo como base a relação verificada por meio da pesquisa (GIL, 2008). O método utilizado para o desenvolvimento deste trabalho é o aplicado.

Abordagem: Tem como base a observação e a coleta de dados, com objetivo de entender e interpretar os dados que foram obtidos após a aplicação da metodologia (GÜNTHER, 2006). Este trabalho utiliza uma abordagem quantitativa.

Natureza: Estabelece o uso de aplicações reais para sua utilização. Segundo Ganga (2012) caracteriza-se de natureza aplicada, quando utilizados os conhecimentos sistematizados para resolver problemas identificados. A natureza deste trabalho é exploratória.

Objetivos: Tem o objetivo de descrever fenômenos e estabelecer relações entre fatos de forma sistêmica (PRODANOV & FREITAS, 2009). De acordo com Ganga (2012) um estudo desenvolvido com a intenção de explorar conhecimento, com objetivo de compreender uma realidade pouco explorada.

Procedimentos: São desenvolvidos de acordo com o material já elaborado, formado principalmente por artigos científicos e livros, tendo como objetivo aproximar o pesquisador com o material já desenvolvido de acordo com sua pesquisa (PRODANOV & FREITAS, 2009). O Quadro 1 apresenta o resumo da caracterização da pesquisa.

Quadro 1 - Resumo da Caracterização da Pesquisa

Caracterização da Pesquisa	
Natureza	Exploratória
Abordagem	Quantitativa
Método	Aplicada
Procedimentos	Configuração do Sistema

Fonte: Autora (2022).

Para melhor compreensão da construção deste Sistema, o presente estudo será baseado no método científico Design Science Research (DRESCH *et al.*, 2005).

A DSR é uma abordagem que tem como principal objetivo desenvolver um artefato para a resolução de um problema prático num contexto específico, gerando assim novos conhecimentos técnicos e científicos. A Design Science é uma metodologia pertinente ao desenvolvimento de pesquisas em informação, tecnologia, engenharia e gestão com relevância e rigor científico (HEVNER *et al.*, 2004). Segundo Aken (2004), o objetivo da Design Science é trabalhar com o desenvolvimento de novos conhecimentos para a construção de artefatos, solução de problemas ou melhorias.

A Design Science Research (DSR) é o método de pesquisa dentro da Design Science que indica o caminho para a condução da investigação. De acordo com Bax (2014), permite a construção, validação e avaliação dos artefatos gerados pela pesquisa. Para Dresch *et al.* (2015), as principais atividades da DSR são definir um problema, sugerir formas de resolução ou melhoria, desenvolver uma solução e avaliá-la, concluindo a pesquisa. É utilizada nas pesquisas como forma de diminuir o distanciamento entre teoria e prática (DRESCH *et al.*, 2015). Segundo Hevner *et al.* (2004) definem artefato como representação simbólica ou uma instanciação física. De acordo com Simon (1996), um artefato é um ponto de encontro entre o ambiente interno, ou seja, a própria organização, e o ambiente externo, que seriam as condições em que o artefato vai funcionar. Artefatos podem ser modelos, construtos, métodos, instanciações e sistemas de informações (MARCH e SMITH, 1995).

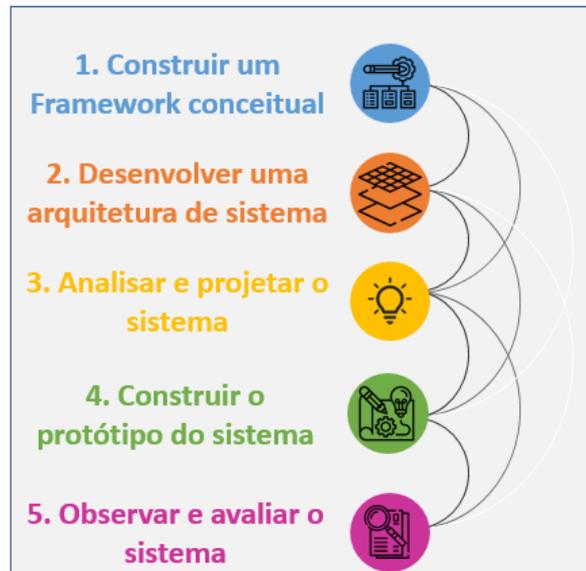
De acordo com March e Storey (2008), apontam elementos necessários para uma contribuição teórica e prática do Design Science Research. Primeiramente deve-se identificar a relevância do problema. O segundo é verificar se ainda não existem soluções suficientes para resolver o problema ou podem existir soluções melhores, justificando, assim a relevância da pesquisa. O terceiro é o desenvolvimento e

apresentação de um novo artefato que possa ser utilizado para solucionar o problema. O quarto é a avaliação dos artefatos desenvolvidos em relação a sua utilidade e viabilidade.

A abordagem Design Science foi escolhida para o presente trabalho porque ajuda a desenvolver e testar o sistema proposto e em especial, oferece diretrizes para o desenvolvimento de uma estrutura conceitual, a definição da relevância do problema e a contribuição da pesquisa, verificação do rigor da pesquisa, realizando várias iterações e comunicando os resultados (HEVNER *et al.*, 2004).

Design Science classifica seus artefatos em 4 categorias: construções, modelo, método e instanciação. As construções formam o vocabulário de um domínio e são usadas para descrever problemas e suas soluções. Um modelo é um conjunto de proposições ou declarações que mostram relacionamento entre construtos. Um método é um conjunto de passos (um algoritmo ou diretriz) usado para realizar uma tarefa. A instanciação diz respeito à operacionalização de construtos, modelos e métodos (March & Smith, 1995). Nesta pesquisa, os artefatos são classificados como modelo, devido à sua adaptação do framework a I4.0, e também são classificados como método, porque há uma instrução passo a passo para implantar a estratégia I4.0. As fases deste projeto de pesquisa são: 1) Construir um Framework Conceitual; (2) Desenvolver uma arquitetura de Sistema; (3) Analisar e Projetar o Sistema; (4) Construir o Protótipo do Sistema; (5) Observar e Avaliar o Sistema. A seguir na Figura 10 será apresentado as etapas propostas para o desenvolvimento de sistemas utilizando o Design Science Research.

Figura 10 – Processo de pesquisa para o desenvolvimento de sistemas



Fonte: Adaptado de Dresch *et al.*(2005).

Na fase 1 e etapa 1, o primeiro passo é a identificação do problema de pesquisa “Propor um Sistema de Manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais. A descrição e a caracterização estão descritas no Capítulo 1. Já o segundo passo da F1, revisão sistemática de literatura, será detalhada na seção a seguir.

3.2 Revisão Sistemática De Literatura (F1-E1)

Após a definição da pergunta de pesquisa “Propor Sistema de Manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais”, conforme descrito no Capítulo 1, será apresentada a Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Para realizar a RSL, foi utilizado uma base de dados para fundamento do estudo que consiste basicamente em classificar os artigos de maior relevância para o trabalho. Para isso, a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* – Descrição dos Itens Preferenciais para Revisões sistemáticas e Meta-Análises) foi utilizada como base, uma vez que possibilita investigação intensa, consumindo as diversas possibilidades de investigação em diferentes bases de dados.

Para tratar o sub aproveitamento dos relatos de meta-análise, um grupo internacional desenvolveu um guia chamado recomendação QUORUM (Qualidade dos Relatos de Meta-análises) no ano de 1996, focando nos relatos de meta-análises de ensaios clínicos randomizados, sendo identificado a necessidade de revisar essas

diretrizes e foi renomeado para PRISMA e que foi atualizado para atender a diversos avanços conceituais e também práticos na ciência das revisões sistemática (STRECH, 2008).

A nomenclatura usada para descrever uma revisão sistemática ou meta-análise foi mudando de acordo com o tempo, e uma das razões para mudar o nome de QUORUM para PRISMA foi tentar englobar tanto as revisões sistemáticas como as meta-análises (COCHRANE, 2009). Uma revisão sistemática é a investigação de um questionamento bem formulado, que faz uso de métodos sistemáticos e explícitos com o objetivo de identificar, selecionar e avaliar criticamente as pesquisas mais relevantes, e assim coletar, tratar e analisar dados desses estudos que serão incluídos na revisão. Quanto aos métodos estatísticos ou meta-análise, podem ser utilizados para análise e resumo dos resultados dos estudos. De acordo com Chan (2004) a meta-análise caracteriza-se pelo uso de técnicas estatísticas dentro de uma revisão sistemática integrando os resultados dos estudos.

O PRISMA possibilita a inclusão de Revisões Sistemáticas, fazendo a combinação de palavras-chave que identificam o estudo e são pesquisadas em diferentes bases de dados. O principal objetivo do PRISMA é auxiliar os autores a aprimorar o resultado dos relatos de revisões sistemáticas e meta-análises, pode ser usado também como base de relatos de revisões sistemáticas de diferentes tipos de pesquisa, principalmente avaliações de intervenções. O PRISMA pode ser muito útil na avaliação crítica de revisões sistemáticas publicadas (COCHRANE, 2009).

De acordo Liberati (2009) após o início da pesquisa, utiliza-se vários filtros orientados pela metodologia com objetivo de aproximar o conjunto de material final para a leitura de acordo com os objetivos definidos. Segundo Tranfield, Denyer e Smart (2003) uma revisão sistemática mapeia as principais contribuições em uma determinada área, não se limitando em estudos isolados.

Para a desenvolver a pesquisa, foram selecionadas as bases Web of Science, Scopus e Science Direct. Estas bases de dados destacam-se por sua grande relevância e credibilidade no meio acadêmico. A pesquisa destaca-se em duas Bases de Dados, a Scopus e a Web of Science com maior relevância. A Scopus é o maior banco de dados de resumo e citação da literatura revisado por pares do mundo e considera desde revistas científicas, processos de congressos e publicações do setor, livros (ELSEVIER, 2019). Esta base é atualizada diariamente e considera conteúdo das áreas de tecnologia, ciência, ciências sociais, medicina, artes e humanidades. Já

utilizados para as buscas nas 3 bases de consulta, todos os artigos resultantes das palavras-chaves foram selecionados e exportados para o Software Mendeley, resultando num total de 425 artigos. Foram aplicados os seguintes filtros para a análise:

- Termos de Busca: Título, Resumo, Palavras-Chave;
- Somente Artigos de Pesquisa;
- Somente Artigos de Revisão;
- Sem corte temporal;
- Importação de Bases para o Software Mendeley;
- Eliminar artigos em duplicidade;
- Leitura de títulos;
- Leitura de Resumos.

3.2.1 Obtenção do Portfólio Bibliográfico

Foi identificado e organizado o portfólio inicial com auxílio do software Mendeley® e utilizadas as etapas da metodologia PRISMA, seguindo um checklist de 27 passos organizado em um fluxo dividido em 4 fases, sendo elas:

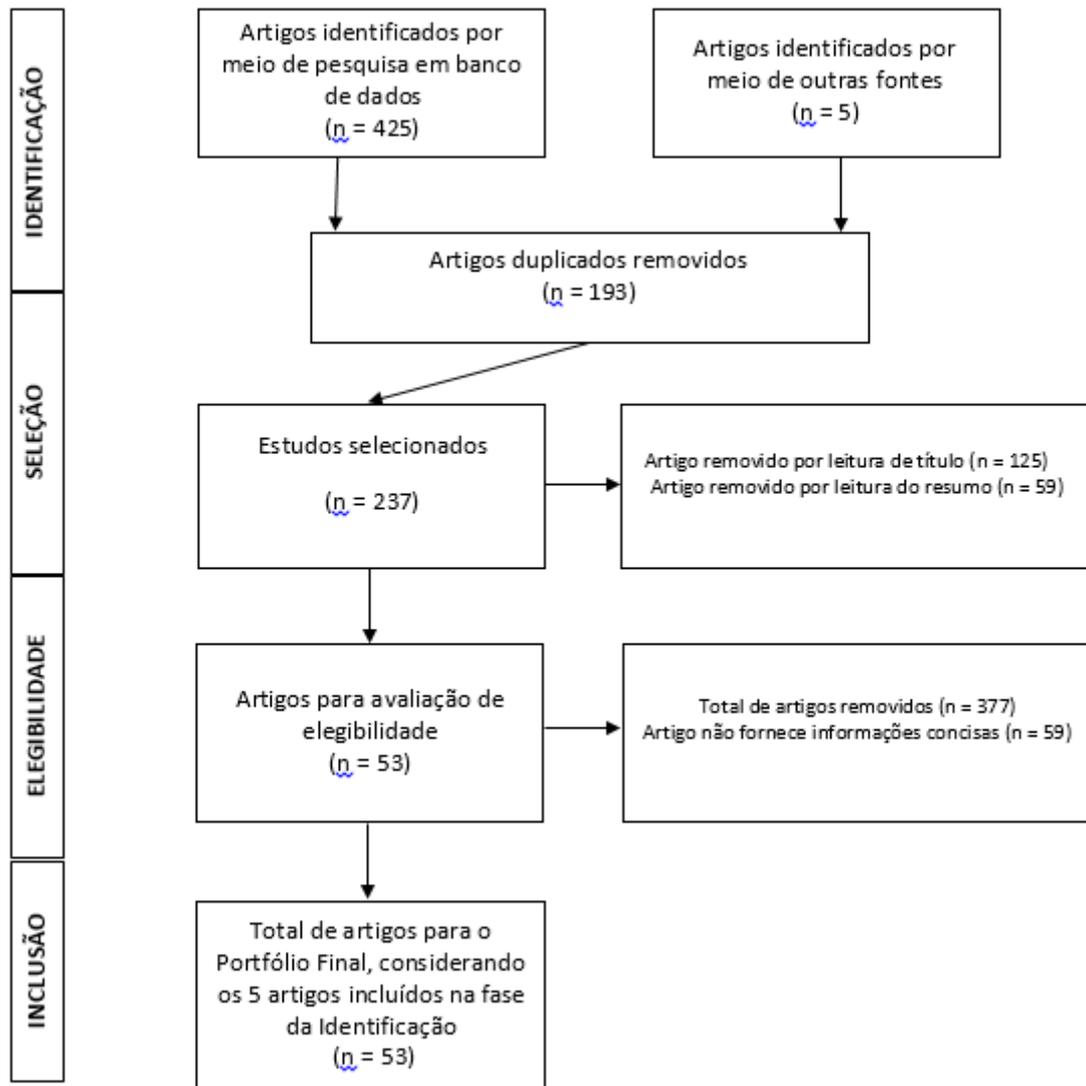
- Identificação: etapa de busca nas bases de dados selecionada e em fontes alternativas, identificados em referências dos artigos selecionados;
- Seleção: processo de aplicação dos filtros recomendados pela metodologia, sendo eles, por leitura de título, leitura de resumo, e artigos com falta de informações;
- Elegibilidade: após a leitura preliminar de título e resumo, esta etapa refere-se a eleger os artigos que possuam discussão sobre o tema a ser pesquisado por meio de uma leitura completa.
- Inclusão: fase de inclusão dos estudos com análise qualitativa que foram eleitos a compor o portfólio final da pesquisa.

Na sequência foram aplicados os filtros, desde exclusão das duplicatas, exclusão de livros e capítulos de livros, exclusão pela leitura dos títulos, exclusão pela leitura do resumo e a exclusão de artigos que não eram relevantes ao tema da pesquisa. Para DA SILVA, HAYASHI, HAYASHI (2011), define-se a análise bibliométrica como um estudo que possibilita a construção de indicadores para assim avaliar a produção científica, áreas do conhecimento e países. A bibliometria é

indispensável na construção da produção científica, através de técnicas para medir a influência de pesquisadores ou periódicos, sendo assim possível identificar o perfil dos mesmos e suas tendências, bem como evidenciar áreas temáticas (OLIVEIRA, *et al.*, 2013).

Conforme verifica-se na Figura 12, após as etapas de identificação de estudos e todas as filtrações, conseguiu-se um portfólio bibliográfico de 53 artigos.

Figura 12 - Aplicação da Metodologia PRISMA



Fonte: Adaptado de Liberati *et al.* (2009)

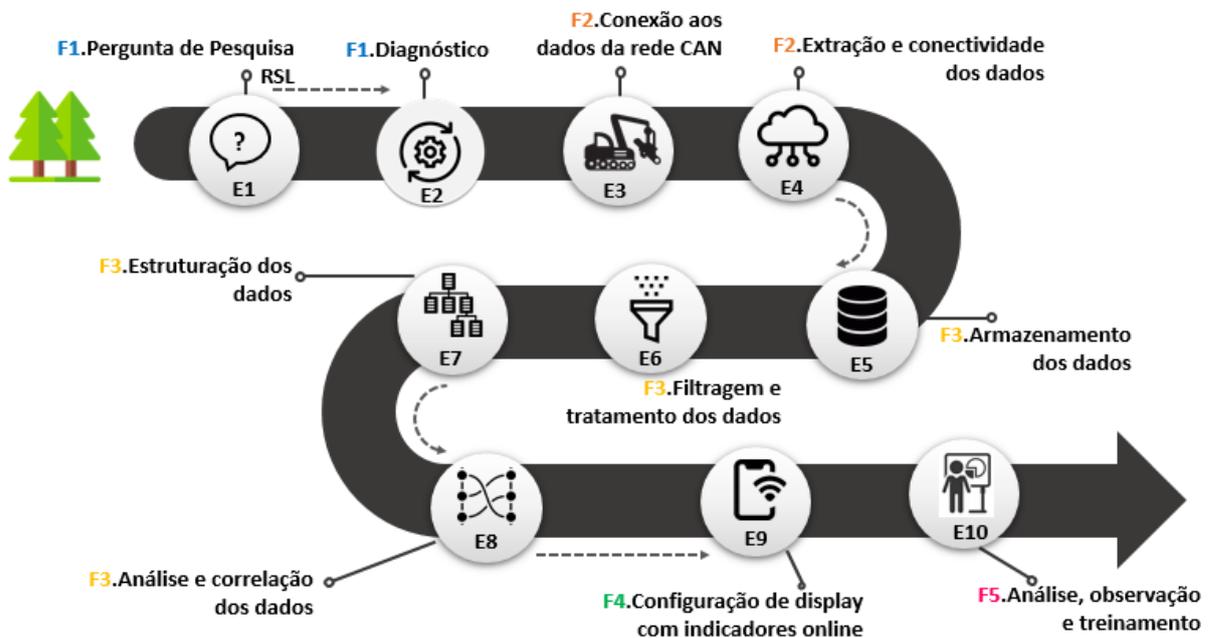
Para ilustrar de forma resumida, tem-se a Tabela 2 para demonstrar os filtros realizados, alcançando os 53 artigos finais para o portfólio bibliográfico:

Com base neste portfólio foram selecionados ao total 53 artigos para a definição do referencial teórico descrito no Capítulo 2. Sendo selecionados a partir da metodologia Snowball 5 artigos e 48 artigos das bases Scopus e Web of Science.

3.2.2 Detalhamento das Etapas

Para detalhar melhor as Etapas 1 a 10, será apresentada a Figura 13 com as etapas para o desenvolvimento do Sistema de Manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais, onde serão detalhados a consolidação dos objetivos específicos 3, 4 e 5.

Figura 13 - Sistema de Manutenção 4.0 Agroflorestal



Fonte: Autora (2022).

Fase 1 - Construir um Framework Conceitual (E1 e E2) nesta fase estão inseridas as seguintes etapas: E0, ou seja, a etapa de planejamento, onde foi determinada a pergunta de pesquisa, conforme verificado no capítulo 1, além da RSL. Além disso, para a construção do framework conceitual, será necessário criar o diagnóstico para o sistema (E1). Para isso, será definida a equipe que será formada para compor as informações necessárias para a proposição do Sistema de Manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais. Os perfis desejados para a composição da equipe são profissionais que possuam competências e funções técnicas e de gestão da manutenção florestal, onde cada componente da equipe atuará nas próximas etapas e fases da proposição do sistema. Desta forma a equipe será estruturada por um grupo multidisciplinar, formada por engenheiros, especialistas e assistentes técnicos da área de manutenção florestal, bem como técnicos de automação, técnicos da área de TI e uma consultoria de empresa

especializada, onde serão realizadas reuniões para definição de metas, com o objetivo de definir quais serão os equipamentos a serem estudados neste trabalho, quais serão as variáveis disponíveis nestes equipamentos, quais serão os fornecedores dos equipamentos, qual será a localização dos equipamentos, que tipo de informações são úteis para monitoramento e ações da manutenção, quais são os sistemas que podem ter correlação de dados com os dados dos equipamentos, quais serão os indicadores para acompanhamento online, etc.

Fase 2 - Desenvolver uma Arquitetura de Sistema (E3 e E4) - A partir da formação da equipe, será definido o perfil técnico dos profissionais que irão avaliar tecnicamente e definir qual o conector e protocolo de comunicação serão utilizados para interface com a rede CAN das máquinas florestais. Essa etapa é muito importante porque através deste conector é que será feito a extração de dados das diversas variáveis das máquinas. O primeiro passo para essa etapa será a equipe elaborar uma especificação técnica do conector para enviar aos fornecedores ou proponentes e solicitar uma proposta técnica e comercial do equipamento. Após, o segundo passo o grupo técnico de trabalho fará um comparativo técnico dos conectores avaliando as especificações técnicas e funcionalidades de cada fornecedor para assim definir qual é o conector com melhor custo/benefício para esta aplicação e qual o protocolo de comunicação que serão utilizados para interface com a rede CAN das máquinas florestais. Em seguida, o terceiro passo será enviar a equalização técnica com a definição do fornecedor ao setor de compras para avaliação comercial da proposta e consequentemente a compra do equipamento.

Após o recebimento do equipamento, será necessário definir a tecnologia para transmissão dos dados, pois o ambiente florestal possui seus ativos localizados em talhões (unidade mínima de cultivo de uma propriedade que é construído com base em relevo e cultivo) em diferentes áreas com limitações principalmente quanto a distância e relevo. O objetivo desta etapa será fazer a transferência via rede fixa ou sem fio e utilizar os dados provindos de múltiplas máquinas remotas, distribuídas em uma área geográfica de forma pré-determinada. O sistema consistirá na coleta e envio de dados de um ponto móvel (a máquina agrícola) para uma base fixa (um computador servidor) fazendo a integração de dois meios de transmissão e a validação dos dados. Para esta definição, a equipe fará a análise técnica das alternativas para selecionar o meio de transmissão. Esta transmissão pode ser feita através de diferentes redes de comunicação como: satélite, rádio, wi-fi, bluetooth, 5G, etc.

Fase 3 - Analisar e Projetar o Sistema (E5, E6, E7 e E8) – Após transmitir informações dos sensores através da interface de aplicação coletando estes dados, nesta etapa será armazenado estes dados em um computador central, um servidor ou em um centro de controle. Esta etapa consiste no dimensionamento de um servidor para armazenar os valores medidos das variáveis e o tempo de cada evento registrado dos dados de acordo com a frequência de amostragem disponibilizada pelo sistema, estabelecendo a frequência de envio dos dados para o servidor. Como a área florestal não possui um servidor/concentrador de dados, será necessário definir um servidor ideal localizado na fábrica, como forma de otimizar o recurso e diminuir o custo do projeto. Este servidor será responsável pelo armazenamento dos dados. Para melhor entendimento e organização do trabalho, os dados precisam ser estruturados e contextualizados de acordo com sua origem e máquina respectivamente. Portanto precisará ser criado uma hierarquia do processo, área, máquina, equipamento e variável seguindo uma ordem e nível subdivididos de acordo com a hierarquia. Após o armazenamento dos dados serão avaliados quais dados poderão ser utilizados para análise do sistema, pois para se obter informações precisas e confiáveis os dados precisam ser filtrados eliminando erros, falhas, pontos espúrios e tratados fazendo as devidas conversões de acordo com a grandeza de cada variável.

Feito o tratamento dos dados será necessário fazer as correlações entre as variáveis através da análise de histórico, análise de falhas, eventos e correlações com as devidas ordens de manutenção para estabelecer um modelo e a tendência de falhas. Será identificado o período de tempo de dados coletados e armazenados oriundos dos sensores das máquinas e correlacionado com o histórico de falhas dos equipamentos que são alimentados em planilha de forma manual pelos operadores onde será feito a importação destes dados. Além disso, serão executadas algumas transações utilizando o sistema SAP-PM, pois este sistema é o responsável pelo gerenciamento das notas e ordens de manutenção elencadas neste mesmo período e analisadas de acordo com sua categoria: corretiva, preventiva ou preditiva, além dos relatos de ocorrência, equipamento, defeitos e causa analisados neste sistema.

Fase 4 - Construir o Sistema (E9) – nesta etapa, será necessário configurar um *display* com interface gráfica para visualização dos indicadores das máquinas com informações em tempo real, sendo construída e customizada para atender as necessidades das equipes de manutenção e engenharia florestal. Esta etapa é de extrema importância pois é o resultado do trabalho e das etapas anteriores para se ter

a visualização e o acompanhamento online para tomada de decisão dos gestores da manutenção florestal. Para isso acontecer, a equipe realizará diversas reuniões afim de definir: a) o padrão do *layout* para este *display (dashboard)*, tais como: cores, fontes, figuras, fundo, distribuição dos elementos, indicação das variáveis, tabelas e tendências; b) os *dashboards* ou o que serão disponibilizados na tela de modo que as informações sejam mostradas de forma clara e objetiva e com gráficos e tendências das variáveis, além dos valores de medição num conjunto que fique harmonioso e de fácil entendimento. Neste *display* serão obtidas as informações de dados das máquinas como: área de localização, fabricante e modelo da máquina, ordens e notas de manutenção importadas do SAP-PM, dados da planilha de eficiência operacional contendo causa, descrição, data e códigos de produção e confirmação e os valores de medição online dos sensores das máquinas que serão monitorados os dados apresentados no display para avaliação da equipe técnica.

Fase 5 - Observar e Avaliar o Sistema (E10): Após a entrega do Sistema será necessário fazer um treinamento com os operadores e manutentores para uso e esclarecimentos sobre a utilização do display. Além do acompanhamento e avaliação das funcionalidades do display, validação e proposta de revisão ou melhorias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo detalha como foi desenvolvido a metodologia do trabalho no intuito de consolidar o objetivo geral deste trabalho, ou seja, propor um sistema de manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais. É pertinente observar que para isso, foi necessário primeiramente identificar a evolução e tipologia da manutenção até a manutenção inteligente no contexto da indústria 4.0 (conforme explanado no capítulo 2). Estabelecer as principais tecnologias 4.0 voltadas ao sistema de manutenção preditiva para o setor do agronegócio (explanado no capítulo 2) utilizando o referencial teórico apresentado para definição e desenvolvimento do sistema. Neste sentido será apresentado a seguir o desenvolvimento de um sistema para coletas, armazenamento e tratamento de dados para propor um Sistema de Análise de Dados *online* para correlacionar dados de diferentes fontes e identificando padrões e assim, consolidar o objetivo deste trabalho a partir da obtenção de indicadores para as máquinas e equipamentos florestais em tempo real.

De acordo com as etapas mencionadas no capítulo 3, pois através de soluções digitais e tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, o segmento florestal vem investindo em diversas inovações, principalmente em relação a conectividade e análise de dados de equipamentos. Além do objetivo geral pode-se observar a seguir a consolidação dos objetivos específicos baseados na DSR e subdivida em cinco etapas de acordo com as atividades realizadas. Conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Resultados e Discussões

Fases Design Science	Descrição	Etapas	Resultados Obtidos
(F2) Desenvolver uma arquitetura do Sistema	- Identificar as tecnologias adequadas para construção de uma arquitetura do sistema;	- Conexão aos dados da rede CAN (E3) - Extração e conectividade dos dados (E4)	- Desenvolvimento de uma arquitetura para comunicação dos dados; - Definir as funcionalidades dos componentes do sistema (consolidação do objetivo 3 – Cap4)
(F3) Analisar e Projetar o Sistema	Projetar os processos que irão executar as	- Armazenamento dos Dados (E5); - Filtragem e Tratamento dos dados (E6);	- Armazenamento dos dados em banco de dados temporal; - Eliminação de valores inconsistentes;

	funções do Sistema;	- Estruturação dos Dados (E7); - Análise e Correlação dos Dados (E8)	- Contextualização de hierarquia de variáveis e equipamentos - Correlação de dados entre variáveis dos equipamentos, eficiência operacional e SAP (consolidação do objetivo 4 – Cap4)
(F4) Construir o Protótipo do Sistema	- Configuração da Interface gráfica para visualização do sistema (display/dashboard)	- Configuração de display com indicadores online (E9)	- Configuração do Sistema; - Construção da Interface gráfica; - Definição das informações para acompanhamento e visualização; (consolidação do objetivo 5 – Cap4)
(F5) Observar e Avaliar o Sistema	- Avaliar e testar a utilidade e facilidade de uso do Sistema	-Análise, observação e treinamento (E10)	- Treinamento dos usuários para acesso ao sistema; - Acompanhamento do uso do sistema; - Identificação de falhas e/ou melhorias do sistema; - Aplicar o sistema (consolidação do objetivo 6 Cap4)

Fonte: Autora (2022).

A seguir os resultados deste capítulo serão divididos em resultados bibliográficos e posteriormente serão apresentados os resultados do Sistema de Manutenção 4.0 Agroflorestal, conforme explicado no Capítulo 3, Figura 13.

4.1 Resultados Da Análise Bibliométrica A Partir Da Rsl (F1 - E0)

Através do gráfico abaixo percebe-se a relevância deste tema em artigos nos últimos anos, conforme mostra a Gráfico 3:

Gráfico 3 - Quantitativo por Ano

Fonte: Autora (2022).

Pode-se observar também o crescimento linear e exponencial do aumento de artigos publicados nos últimos 5 anos, conforme apresentando no Gráfico 4. Com destaque para o ano de 2022 que está apenas iniciando e já conta com 13 artigos publicados com este tema.

Gráfico 4 - Atualização de Artigos

Fonte: Autora (2022).

Observa-se também que os países com maior número de artigos relacionados ao tema dentro desta pesquisa foram: Alemanha, Itália e China, conforme exposto no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Quantitativo por País

Fonte: Autora (2022).

Dentre os 53 artigos relacionados para o portfólio desta pesquisa, destacam-se os artigos mais citados, com os respectivos autores, ano de publicação e journal, conforme apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Artigos mais citados no portfólio de artigos

Artigo	Autores	Ano	Journal	Citado por
Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison	Qi, Q., Tao, F.	2018	IEEE Access	411
A Manufacturing Big Data Solution for Active Preventive Maintenance	Wan, J., Tang, S., Li, D., (...), Abbas, H., Vasilakos, A.V.	2017	IEEE Transactions on Industrial Informatics	214
Industrial Big Data in an Industry 4.0 Environment: Challenges, Schemes, and Applications for Predictive Maintenance	Yan, J., Meng, Y., Lu, L., Li, L.	2017	IEEE Access	148
Industrial process monitoring in the big data/industry 4.0 era: From detection, to diagnosis, to prognosis	Reis, M.S., Gins, G.	2017	Processes	115
Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case	Sahal, R., Breslin, J.G., Ali, M.I.	2020	Journal of Manufacturing Systems	80

Fonte: Autora (2022).

Observa-se a partir do Quadro 4 que, as palavras-chave mais utilizadas nos trabalhos selecionados foram Industry 4.0 com uma frequência de 27 vezes, em seguida aparece as palavras Predictive Maintenance com 24 vezes, Maintenance 18 vezes, Big Data 9 vezes, Artificial Intelligence, Conditions Monitoring, Data Analytics,

Embedded Systems e Machine Learning 6 vezes. E por fim Condition Based Maintenance, Cyber Physical System, Data Mining, Decision Making e Internet of Things com uma frequência de 5 vezes.

Quadro 4 - Frequência de palavras-chave encontradas nos artigos

Palavras-chave	Frequência
Industry 4.0	27
Predictive Maintenance	24
Maintenance	18
Big Data	9
Artificial Intelligence	6
Condition Monitoring	6
Data Analytics	6
Embedded Systems	6
Machine Learning	6
Condition Based Maintenance	5
Cyber Physical System	5
Data Mining	5
Decision Making	5
Internet Of Things	5

Fonte: Autora (2022).

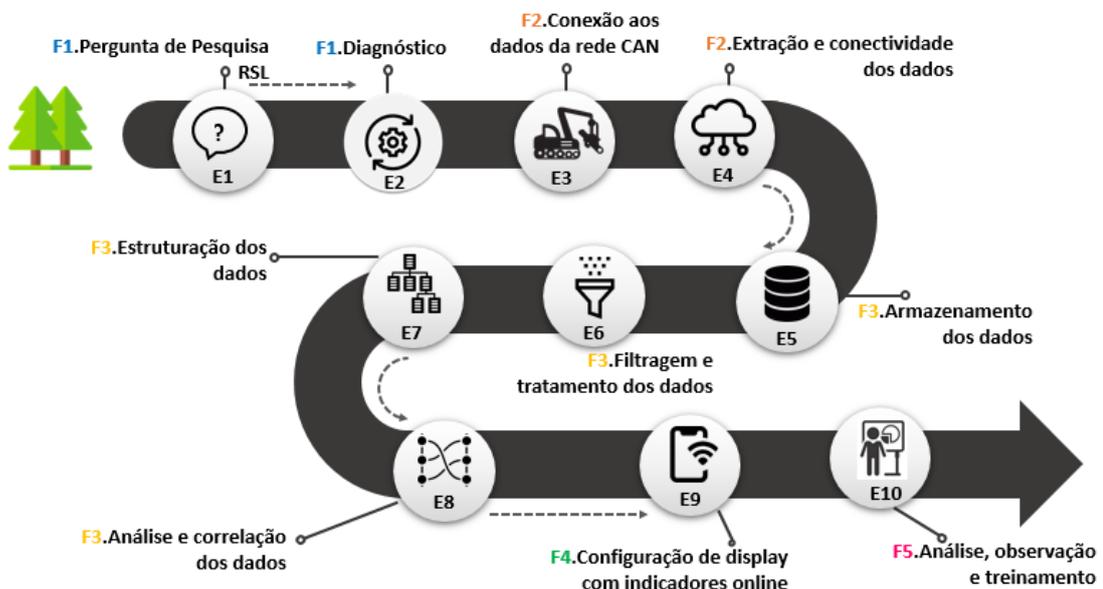
De forma geral, os artigos selecionados para a pesquisa apresentam assuntos relacionados a Indústria 4.0 e Manutenção 4.0 ou Manutenção Inteligente onde é dado ênfase a manutenção preditiva e prescritiva e nas tecnologias que serão utilizadas para o trabalho. Considerando os 53 artigos selecionados foi utilizado o Software QSR NVIVO® versão 10, identificando os termos que se destacaram em cada artigo do portfólio e verificando a aderência ao estudo da pesquisa, conforme apresentado na Figura 14 onde estão destacados os termos Indústria 4.0, Manutenção, Manutenção Preditiva e as tecnologias impulsionadoras como *Big Data*, *Machine Learning*, *Internet of Things*, *Data Analytics*, *Artificial Intelligence* e *Condition Based Maintenance*.

de 23.000 colaboradores. Com uma produção de 2MM de toneladas de papel/ano e 1,5 MM de celulose ano. Esta empresa está dividida em 4 unidades de negócios:

- **Unidade de Negócio Florestal:** É responsável pelo manejo das florestas plantadas, o que inclui o planejamento, o plantio e a colheita (foco deste trabalho) para fornecimento de matéria-prima às nossas fábricas de papel.
- **Unidade de Negócio Celulose:** É responsável pela solução em fibras curta, longa e fluff, possibilitando aos clientes negociar todas as suas necessidades de fibra (curta, longa e fluff) com um único fornecedor local.
- **Unidade de Negócio Papel:** Produz, com tecnologia de ponta, papel cartão para líquidos e para os segmentos de alimentos, higiene e limpeza, eletroeletrônicos, entre outros, e ainda papel kraft.
- **Unidade de Negócio Embalagens:** Produz papel reciclado e converte papel *kraftliner* em embalagens de papelão ondulado para setores como alimentos, bebidas, hortifrutigranjeiros, eletrônicos, saúde e higiene. Converte papel sack kraft em sacos industriais que atendem o mercado interno e são exportados para países da América Latina, da África, da Europa e para os Estados Unidos.

Após mencionado as características da empresa, serão apresentados os resultados das fases e etapas que foram obtidos a partir da aplicação do sistema na unidade Florestal, beneficiando e impactando a empresa como um todo. Os resultados serão demonstrados conforme Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma para Desenvolvimento do Sistema de Manutenção 4.0 Agroflorestal



Fonte: Autora (2022).

4.2.2 Fase 1: Construir Um Framework Conceitual

Etapa 1 – Pergunta de pesquisa e RSL descritos no Cap 1 e Cap 3.

Etapa 2 – Diagnóstico: Para iniciar o trabalho foi fundamental uma etapa de diagnóstico fazendo um levantamento de todo o contexto e identificando as necessidades da área florestal e definindo o grupo de trabalho e formação da equipe para compor as informações necessárias para a proposição do Sistema de Manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais. Desta forma a equipe foi estruturada como um grupo multidisciplinar, formada por engenheiros das áreas mecânica, florestal e computação, especialistas e assistentes técnicos da área de manutenção florestal, bem como técnicos de automação, técnicos da área de TI e uma consultoria de empresa especializada, onde foram realizadas diversas reuniões para definição de metas. Ao todo, fizeram parte desta equipe 8 profissionais, conforme Quadro 5.

Quadro 5 - Formação da Equipe

Etapa 1: Formação da Equipe		
Setores	Quantidade	Função
Florestal Manutenção	1	Coordenador de Manutenção Florestal
Florestal Manutenção	1	Especialista
Florestal Engenharia	1	Assistente Técnico
Tecnologia da Automação	1	Consultor
Tecnologia da Informação	2	Consultor / Técnico
Consultoria Especializada	2	Analistas

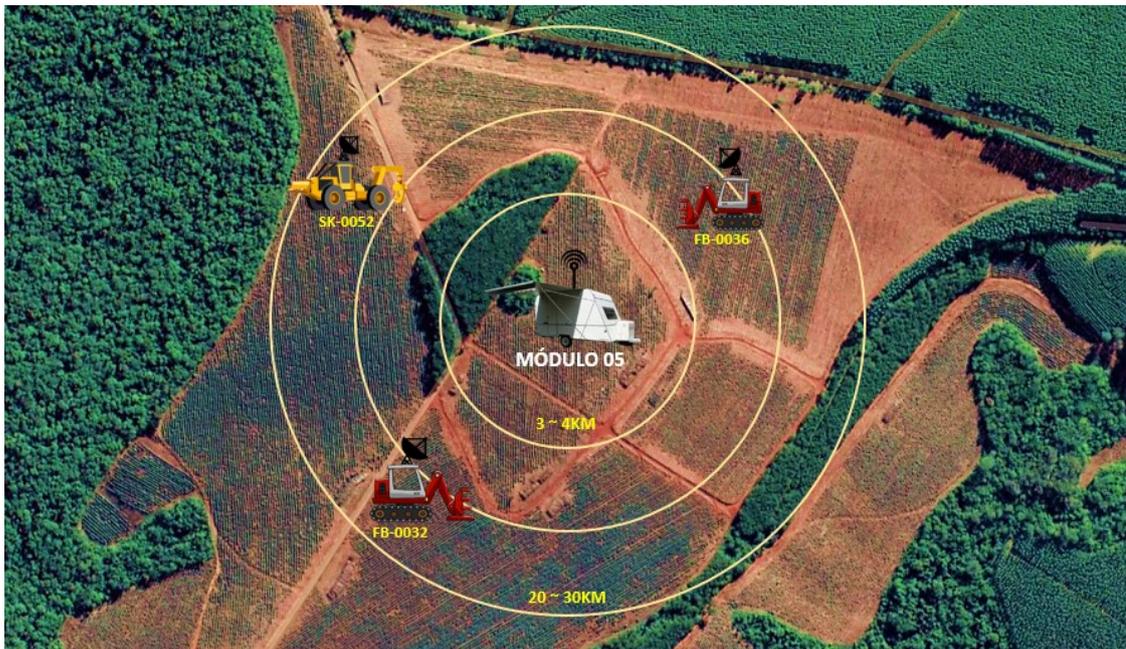
Fonte: Autora (2022).

Este trabalho é focado na visualização, monitoramento e análise de dados em tempo real dos equipamentos florestais com indicadores *online* que possibilitem uma tomada de decisão com maior agilidade e assertividade pelos gestores da área de manutenção florestal, desenvolvendo um sistema de manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais aplicado em uma indústria do segmento de papel e celulose.

4.2.3 Fase 2 – Desenvolver Uma Arquitetura Do Sistema

Etapa 3 - Identificação dos Dados da Rede CAN: A equipe de trabalho definiu em qual o módulo florestal seria aplicado o projeto e identificou quais equipamento fariam parte deste escopo. Após o alinhamento com toda equipe, foi definido que para este trabalho seriam utilizadas 3 máquinas para analisar os dados provenientes de 3 equipamentos da área florestal no Módulo 5, como um estudo inicial da aplicação, podendo ser expandido para outras máquinas e equipamentos conforme demanda, sendo: 02 Feller Buncher que é um trator florestal cortador-acumulador consiste de um trator de pneus ou esteira com cabeçote que realiza o corte (derrubada) e o acúmulo de árvores sendo identificados como: FB0032 e FB0036 e 01 Skidder que é um trator articulado que realiza o arraste das árvores da área de corte até a margem da estrada ou pátio intermediário, este identificado pelo código SK0052, conforme Figura 16.

Figura 16 – Máquinas Florestais Módulo de Colheita



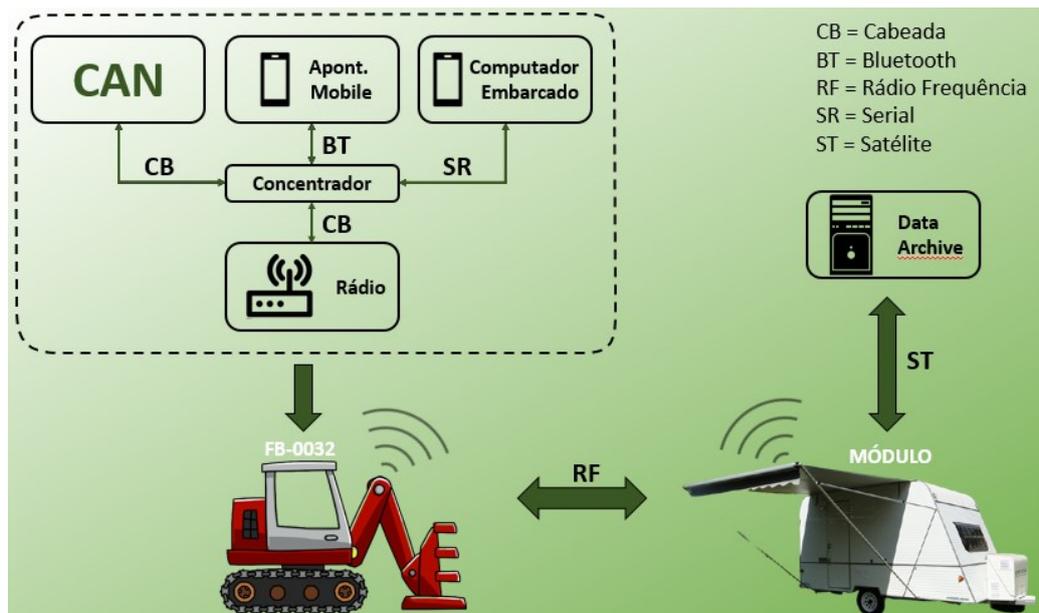
Fonte: Autora (2022).

Após a identificação e seleção das máquinas foram analisados quais dados foram disponibilizados pelos seus respectivos fabricantes que podem ser acessados através da rede CAN das máquinas.

ETAPA 4 - Extração e Conectividade dos Dados: Após diversas reuniões e discussões sobre o tema, a equipe definiu que a transmissão de dados da rede CAN

para o servidor local será via satélite, apesar de ter um custo mais alto, é a solução que oferece uma melhor performance e confiabilidade na qualidade de transmissão, garantindo a transmissão dos dados com tolerância a falhas e de forma redundante em locais remotos e em diferentes relevos. No módulo florestal, o sistema de rádio é interligado à internet do módulo, provendo o acesso à rede de rádio. Nas máquinas, o sistema de rádio é interligado a um dispositivo eletrônico denominado concentrador (SpeedDATA), que realiza o gerenciamento da comunicação na máquina. O concentrador, além de possuir uma interface para a comunicação rádio, permite também a comunicação por satélite, wifi, bluetooth e rede CAN. Neste trabalho os dados foram extraídos da rede CAN do equipamento através de uma arquitetura centralizada. Na Figura 17 pode-se observar a arquitetura da solução para transmissão dos dados conforme objetivo específico 3.

Figura 17 – Arquitetura da Solução



Fonte: Autora (2022).

A configuração do concentrador para o envio dos dados foi configurada a cada 60 segundos que é o menor tempo permitido pelo sistema. O objetivo é transmitir os dados que estão hospedados na fonte de dados (MYSQL) do computador do módulo local para o servidor do PI *Data Archive* e integrar os dados com ordens de manutenção (SAP) para prover uma solução de *analytics* mais robusta e inteligente para Manutenção 4.0.

O servidor Data Archive que será utilizado para armazenamento e tratamento dos dados, será o servidor do PI System (*Plant Informations Management System*), conforme será visto na próxima etapa.

4.2.5 Fase 3 – Analisar e Projetar o Sistema

ETAPA 5 – Armazenamento dos dados: analisando as necessidades do sistema, foi identificado que os dados deverão estar concentrados em um Sistema de Informação ou banco de dados temporal. O Sistema de Informação utilizado para armazenar, estruturar e tratar os dados neste trabalho foi o PI System (*Plant Information Management System*), pois é o sistema de Informação utilizado pela empresa para historiar dados de processos/equipamentos.

O PI System é um sistema desenvolvido com o objetivo de coletar, armazenar e tratar os dados *online* oriundos dos equipamentos de chão de fábrica. Com este sistema é possível realizar a transformação digital através de dados de operações confiáveis e de alta qualidade, potencializando o uso de dados e transformando informações em conhecimento e inteligência para tomada de decisão. É possível explicar o funcionamento do PI System em 5 etapas, sendo:

Coleta: Realiza a coleta de dados em tempo real de centenas de ativos, conectando de diferentes fontes, de diversos locais e formato.

Armazenamento: Através do PI System é possível acessar décadas de dados históricos ou em tempo real, além de possibilitar diversos sistemas mantendo as operações críticas e as análises de negócio.

Contextualização: Ao adicionar rótulos e metadados intuitivos é possível tornar os dados mais significativos, isso possibilita a organização dos dados que reflitam os ambientes operacionais e de relatórios de uma maneira mais ampla.

Visualização: É possível criar seus próprios relatórios, displays e *templates* através de visualizações personalizadas, detalhando rapidamente os diferentes níveis de dados ou eventos ocorridos.

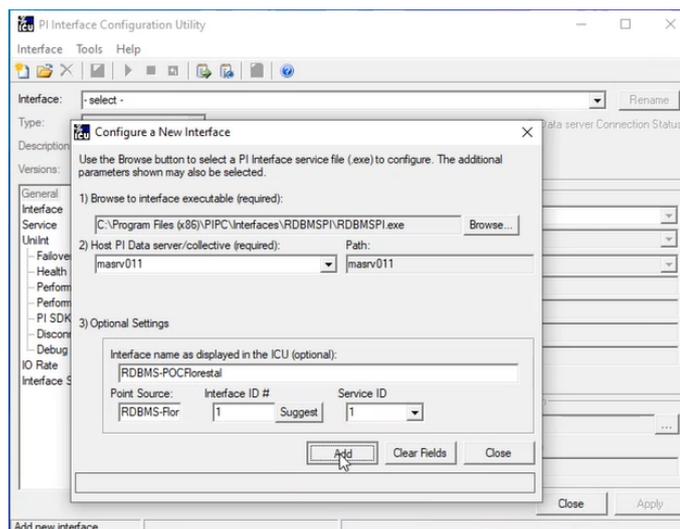
Integração: Possibilita o compartilhamento de dados de operações confiáveis e prontos para análise para diversas ferramentas de análise e algoritmos de aprendizado de máquina para obter novas percepções.

As interfaces do PI System têm como objetivo coletar dados de fontes externas utilizando protocolos específico, possibilitando uma coleta em tempo real.

Existem diversos tipos de Interfaces, sendo eles geralmente dedicados a sistemas específicos, mas a maioria das interfaces compartilham de características semelhantes. Para os dados de telemetria da área florestal, os valores obtidos foram captados pelos equipamentos e transmitidos para um servidor remoto instalado no módulo e sendo armazenados no banco de dados “db_FLORESTAL_gob_app” dentro do MYSQL. Foi realizado a instalação da PI Interface RDBMS nesta máquina localizada no Módulo.

Após a definição e configuração da base de dados, foi realizado a configuração da interface RDBMS que é uma interface do PI para bancos de dados relacionais que permite a transferência de dados entre o PI System e qualquer sistema de gerenciamento de banco de dados relacional. Como apresentado na Figura 18, onde foi definido o servidor no qual a interface se conecta, nome da interface e o *Point Source*.

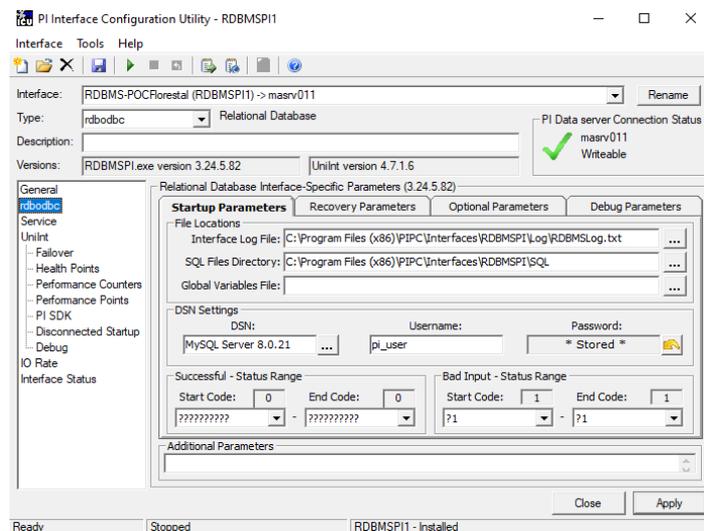
Figura 18 - Configuração Interface RDBMS



Fonte: Autora (2022).

Em seguida foi configurado o local onde os logs da interface serão armazenados e o diretório onde as *queries* com as solicitações no banco do SQL ficam armazenadas, como apresentado pela Figura 19.

Figura 19 - Diretório de Logs e Querys



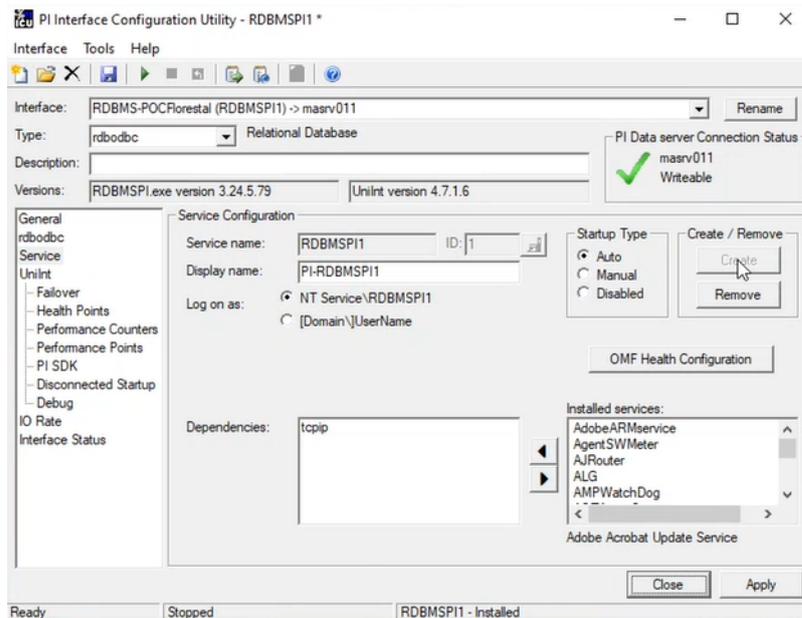
Fonte: Autora (2022).

Na interface RDBMS foram configurados duas *querys*, sendo uma para log onde serão monitorados cronologicamente todos os eventos que afetaram o sistema e todas as ações que resultaram desses eventos. E outra *query* para chamada da função para consulta no banco de dados SQL, que é uma biblioteca utilizada para desenvolvimento de front-end.

ETAPA 6 – Filtragem dos dados: será necessário também filtrar e tratar os dados, portanto foram configurados os *Scan Class*, ou seja, a lista de Classes de Varredura define o período de tempo entre varreduras de interface em termos de horas, minutos e segundos. As verificações podem ser programadas para ocorrer em momentos distintos no tempo com um deslocamento de tempo opcional especificado que determinam o período no qual a interface realizará a verificação dos dados, sendo este configurado para o mesmo tempo calibrado para a captação das medições realizadas pela telemetria, conforme Figura 19.

Foram criados as Tags responsáveis pelo monitoramento da performance da interface com as seguintes descrições: *Heartbeat*, *Device Status*, *I/O* para identificação de erros ou problemas na interface. E criado um responsável pelo serviço da interface, conforme apresentado pela Figura 20.

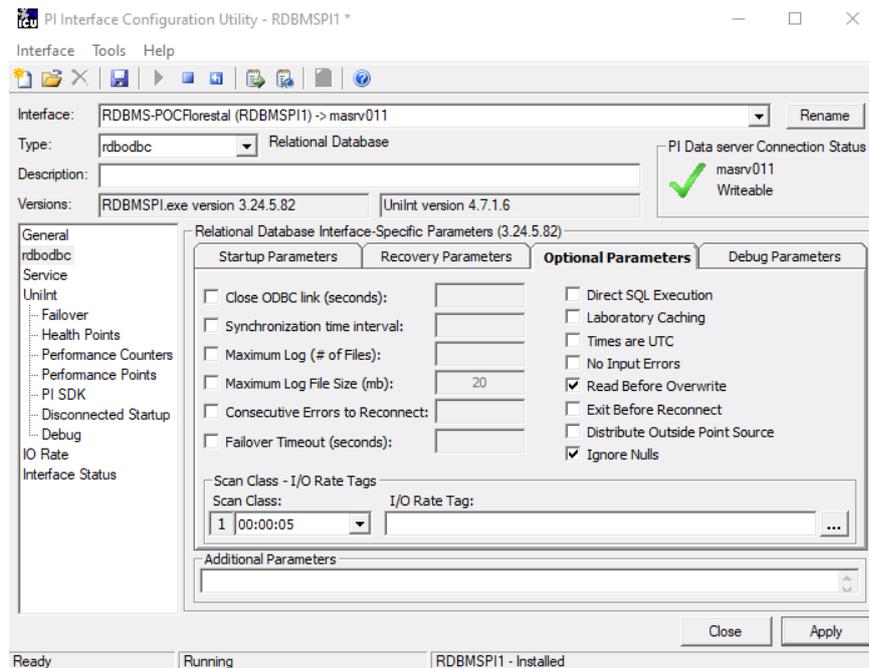
Figura 20 - Definição Responsável pelo Serviço



Fonte: Autora (2022).

E por fim foi configurado na interface para que ignore valores nulos durante as buscas no SQL, evitando erros na análise dos dados, conforme Figura 21.

Figura 21 - Ignorar Dados Nulos



Fonte: Autora (2022).

Desta forma é possível armazenar somente os dados com valores medidos, sem considerar por exemplo eventos com as máquinas paradas.

ETAPA 7 – Estruturação dos dados: após tratar os dados, estes deverão ser estruturados. Primeiramente foram identificadas as variáveis medidas nas máquinas e criados 96 Tags referente aos dados monitorados pela telemetria. Essas informações foram cadastradas na base do PI *Data Archive*, os quais são responsáveis por historiar dados vindos da Área Florestal.

Dos 32 atributos que estão sendo monitorados em cada um dos equipamentos, 12 delas estão recebendo valores frequentemente de acordo com o funcionamento das máquinas, sendo:

- Deslocamento;
- Latitude;
- Longitude;
- Nível de Combustível;
- Volume Total de Combustível;
- Pressão do Óleo;
- Horímetro;
- Odômetro;
- RPM;
- Status Luzes;
- Peso no Eixo 2;
- Peso no Eixo 3.

Os demais atributos não estão recebendo valores ou os dados não são atualizados frequentemente devido a liberação do fabricante da máquina.

- Pressão do Óleo média;
- Pressão do Óleo Máxima;
- Status Limpador de Para-brisa;
- RPM média;
- RPM máxima;
- Status Freio de mão;
- Status da Porta do Trator;
- Velocidade média;
- Velocidade máxima;
- Temperatura do Óleo;
- Temperatura do Motor;

- Temperatura Cabine;
- Temperatura do Óleo média;
- Temperatura do Óleo máxima;
- Percentual de tempo acionado do Limpador de Para-brisa;
- Percentual de acionamento do pedal de freio;
- Percentual de acionamento médio do pedal do acelerador;
- Percentual de acionamento máximo do pedal do acelerador;
- Marcha Atual.

Durante o cadastramento, foram adicionadas as unidades de medidas e descrição além das demais configurações seguindo as boas práticas sugeridas pelo fabricante, conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Valores Correntes e Unidades

Tag Name	Server	Collective	Timestamp	Value	Engineering Units	Descriptor
000R0032_DESELLOC_HCR52	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	0	km	Defletores Perceitos pelo trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_LAT	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	-21.622		Latitude do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_LONG	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	50.026		Longitude do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_PT_01	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	0.1	%	Nível de combustível do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_PT_01	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	1.0844E+06	L	Volume total de combustível do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_PT_01	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	3.92	bar	Pressão do Óleo do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_PT_01	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	0	km/h	Medidor de Velocidade do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_PT_02	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	1.873	RPM	Rotação do Motor do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_PT_02	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	7.06E-9	h	Horas de Motor do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_PT_02	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	0	°C	Temperatura do Óleo do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_PT_02	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	07	°C	Temperatura do Motor do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_PT_02	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	0	°C	Temperatura da Cabine do trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_PT_04	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	0	°C	Temperatura Ambiente no trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_W0_01	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	0	kg/10 hectograma - hgl	Peso no Eixo 2 do Trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0032_W0_02	naev011		09-Sep-20 17:18:53.000000	0	kg/10 hectograma - hgl	Peso no Eixo 3 do Trator de arroteio Feller Buncher FB0032
000R0036_DESELLOC_HCR10	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	0	km	Defletores Perceitos pelo trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_LAT	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	-21.622		Latitude do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_LONG	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	50.027		Longitude do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_PT_01	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	0	%	Nível de combustível do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_PT_01	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	4.8976E+06	L	Volume total de combustível do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_PT_01	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	2.52	bar	Pressão do Óleo do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_PT_01	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	0	km/h	Medidor de Velocidade do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_PT_02	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	393	RPM	Rotação do Motor do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_PT_02	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	14.269	h	Horas de Motor do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_PT_02	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	0	°C	Temperatura do Óleo do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_PT_02	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	07	°C	Temperatura do Motor do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_PT_02	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	0	°C	Temperatura da Cabine do trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_PT_04	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	0	°C	Temperatura Ambiente no trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_W0_01	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	0	kg/10 hectograma - hgl	Peso no Eixo 2 do Trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0036_W0_02	naev011		09-Sep-20 16:54:42.000000	0	kg/10 hectograma - hgl	Peso no Eixo 3 do Trator de arroteio Feller Buncher FB0036
000R0052_DESELLOC_HCR2	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	0	km	Defletores Perceitos pelo trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_LAT	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	-21.742		Latitude do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_LONG	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	50.521		Longitude do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_PT_01	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	0	%	Nível de combustível do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_PT_01	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	0.1191E+06	L	Volume total de combustível do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_PT_01	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	4.8	bar	Pressão do Óleo do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_PT_01	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	0	km/h	Medidor de Velocidade do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_PT_02	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	2.314	RPM	Rotação do Motor do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_PT_02	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	13.222	h	Horas de Motor do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_PT_02	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	0	°C	Temperatura do Óleo do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_PT_02	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	88	°C	Temperatura do Motor do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_PT_02	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	0	°C	Temperatura da Cabine do trator de arroteio Skidder SK0052
000R0052_PT_04	naev011		09-Sep-20 14:14:18.000000	0	°C	Temperatura Ambiente no trator de arroteio Skidder SK0052

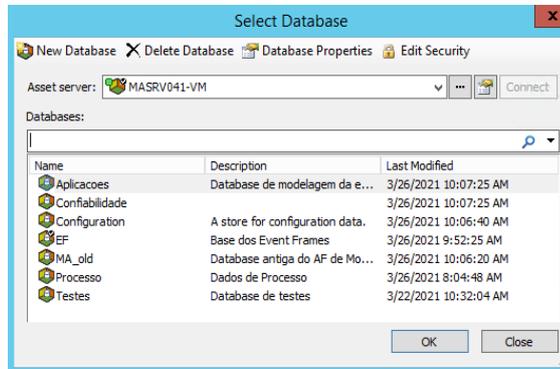
Fonte: Autora (2022).

Na Figura 22 pode-se observar as colunas da esquerda para direita com as informações das tags (identificação da variável do equipamento), servidor, data e hora, unidade de engenharia e descrição. Para contextualizar as variáveis foi utilizado o PI AF.

O PI AF (*Asset Framework*) é um componente que facilita para os usuários organizar e compartilhar seus dados do PI System. Este repositório permite que os usuários criem modelos hierárquicos de objetos centrados em ativos e equipamentos agrupados por relacionamentos específicos (pai-filho, conectividade). Ele integra, contextualiza, refina, referência e analisa ainda mais dados de várias fontes, incluindo um ou mais *Data Archives* e outras fontes, como bancos de dados relacionais

externos. Os dados podem ser convertidos automaticamente entre unidades de medida. Pode-se acessar a *database* da Florestal selecionando o servidor do PI System dentro da pasta aplicações de acordo com a Figura 23.

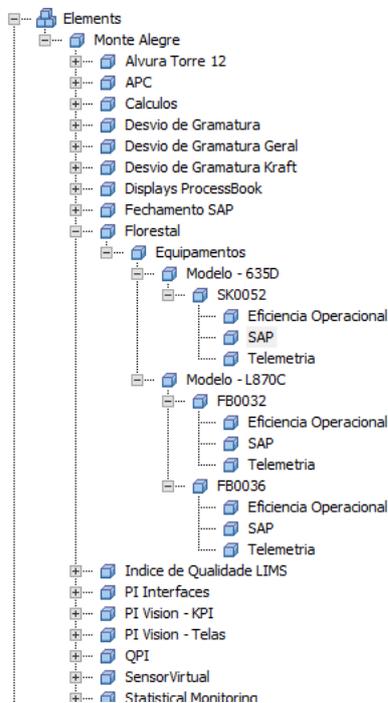
Figura 23 - Selecionando DataBase



Fonte: Autora (2022).

Conforme verifica-se na Figura 24, a árvore de elementos da área Florestal, foi dividida de acordo com os modelos das 3 máquinas monitoradas, sendo 1 modelo 635D e 2 modelos L870C. Dentro de cada máquina foi criado uma nova estrutura para diferenciar as fontes de dados, configurando 3 novos elementos: Eficiência Operacional, SAP e Telemetria.

Figura 24 - Árvore de Elementos

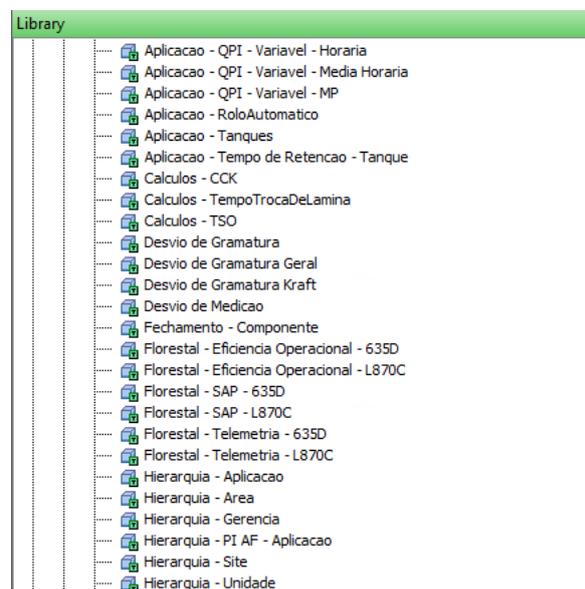


Fonte: Autora (2022).

Para melhor organização dos dados, foi criado na database do AF uma hierarquia específica para o segmento Florestal. Desta forma foi separado cada máquina monitorada de acordo com os modelos dos equipamentos e suas respectivas fontes de dados.

Na sequência teremos a análise, correlação e modelamento dos dados através de uma hierarquia organizada em uma estrutura de árvore. A árvore de *templates* está localizada em PI System Explorer -> Library. Os *templates* específicos da área Florestal foram adicionados a essa árvore no servidor do AF. Conforme Figura 25.

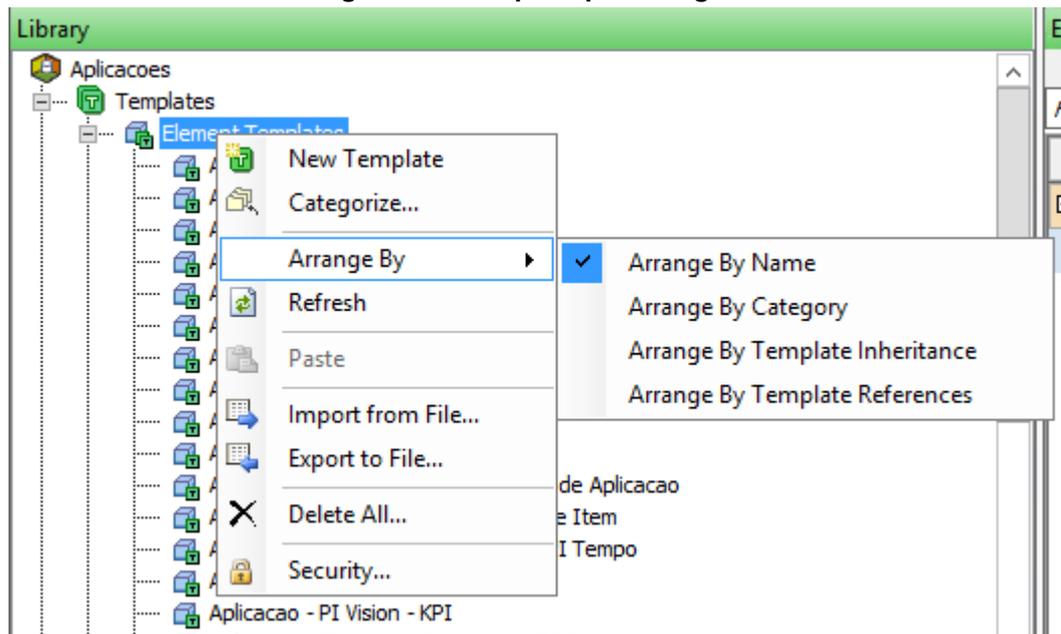
Figura 25 - Árvore de Template



Fonte: Autora (2022).

É possível agrupar todos os *templates* da Florestal, ao clicar com o botão direito sobre o “Element Template” e em seguida organizar por categoria, como mostrado na Figura 26.

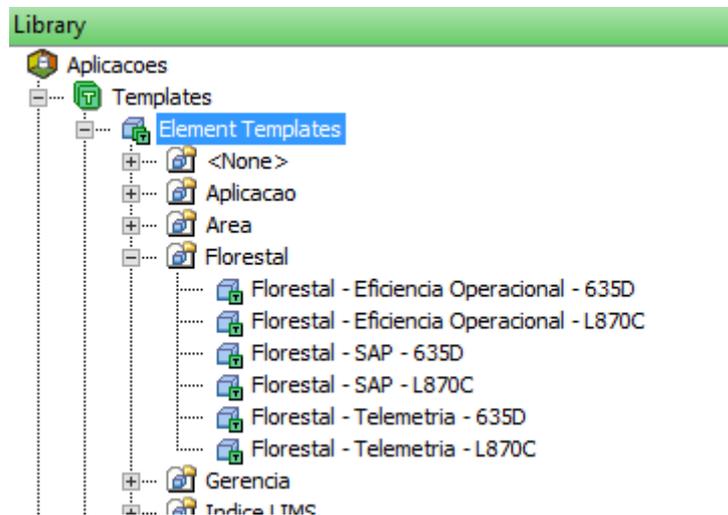
Figura 26 - Template por Categoria



Fonte: Autora (2022).

Após organizado como categoria é possível visualizar todos os *templates* específicos do projeto Florestal ao clicar sobre a pasta “Florestal”, Figura 27.

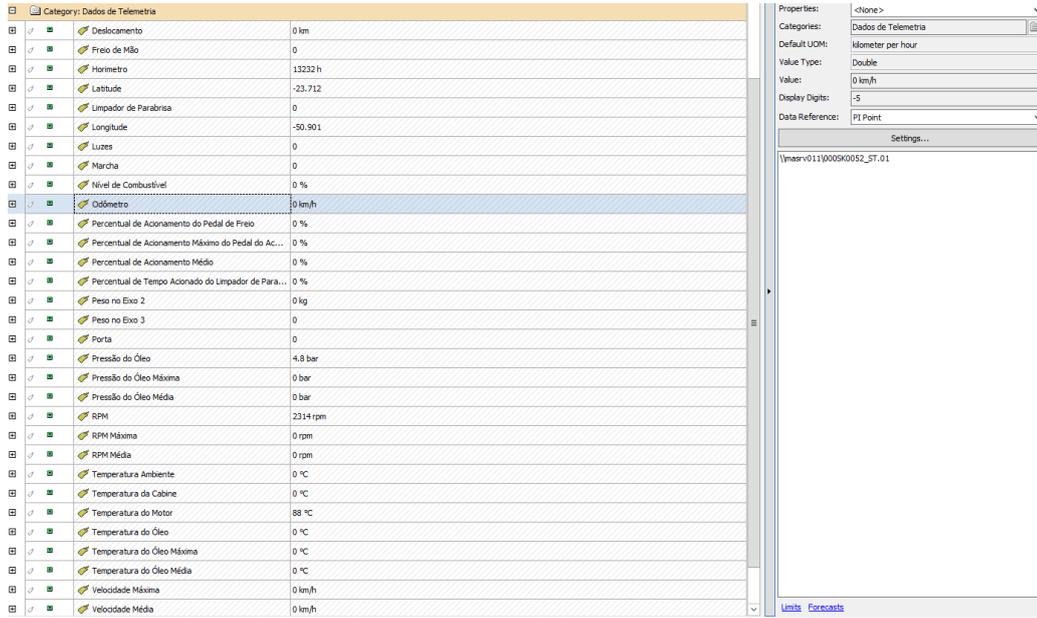
Figura 27 - Template Florestal Organizado por Categoria



Fonte: Autora (2022).

ETAPA 8 – Análise e Correlação dos dados: Os dados para o sistema são oriundos de diferentes fontes, sendo os principais de telemetria que são provenientes do banco de dados localizado no MYSQL, cuja fonte de dados são as variáveis coletadas da rede CAN das máquinas, onde pode-se observar na Figura 28 o nome da variável e o respectivo valor.

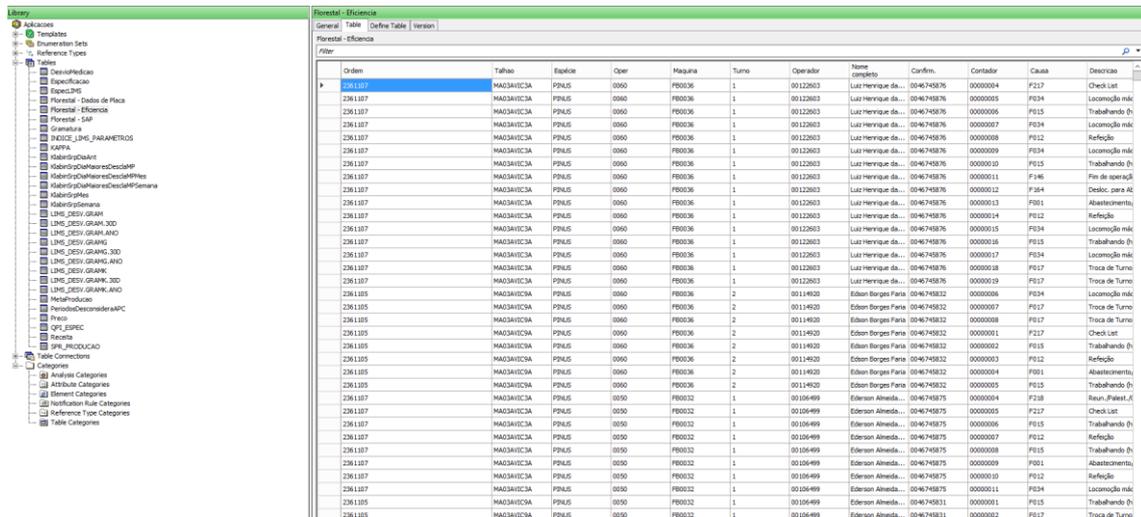
Figura 28 - Dados de Telemetria



Fonte: Autora (2022).

Os dados de Eficiência Operacional e do SAP (Ordens de Serviço PM), são extraídos dos sistemas em formato de planilhas do Excel e são inseridos manualmente no PI System em formato de planilha, conforme apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Dados Eficiência Operacional



Fonte: Autora (2022).

Para conseguir subir uma massa de dados no PI System, é preciso primeiro adequar as tabelas, cujos dados extraídos não estão na formatação compatível com a da plataforma, para isso é necessário realizar a formatação na planilha.

Através dessa adequação é possível importar os dados extraídos para dentro da aplicação PI System de maneira prática.

É preciso inicialmente tratar os dados e organizá-los para que os mesmos fiquem no mesmo modelo aceito pelo PI, sendo crucial esse primeiro trabalho para que ocorra a admissão dos dados, conforme mostra a Tabela do SAP na Figura 30.

Figura 30 - Tabela Extraída do SAP

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	OBJETO DESCR	FUNÇÃO DESCR	Loc. instalação	CentTrab respon.	Equipamento	Data da nota	Ordem	Nota	InícioAvar	Fim avaria	HorainícioAvar.	Hora fim avaria	Out
2	PREVENTIVA	PREVENTIVA	MA02-MODCOLH05	CTMF218	FB0032	06/01/2020	300041980	3000447884	03/01/2020	03/01/2020	07:00:00	09:00:00	
3	CABO	BRACOLANÇA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	SK0052	03/01/2020	3000391867	3000447880	03/01/2020	03/01/2020	16:16:00	20:00:00	
4	CHASSI	ESTRUTURA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0032	06/01/2020	3000991877	3000447852	06/01/2020	06/01/2020	07:30:00	15:00:00	
5	FLANGE	TRANSMISSÃO	MA02-MODCOLH05	CTMF206	SK0052	06/01/2020	3000992254	3000448184	06/01/2020	07/01/2020	17:02:00	08:08:00	
6	MANGUEIRA	SISTEMA HIDRAULICO	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0032	03/01/2020	3000993622	3000449133	03/01/2020	03/01/2020	09:25:00	16:00:00	
7	PREVENTIVA	PREVENTIVA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0032	13/01/2020	3000106290	3000449590	13/01/2020	13/01/2020	09:10:00	15:15:00	
8	VÁLVULA	SISTEMA DE POTÊNCIA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0036	10/01/2020	3000994533	3000449529	10/01/2020	10/01/2020	08:50:00	10:00:00	
9	PARAFUSO	NIVELAMENTO	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0036	13/01/2020	3000994770	3000449637	13/01/2020	13/01/2020	16:00:00	22:20:00	
10	FANOL	CABINE	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0032	15/01/2020	3000995875	3000450187	15/01/2020	15/01/2020	18:10:00	19:15:00	
11	MANGUEIRA	SISTEMA HIDRAULICO	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0036	15/01/2020	3000995870	3000450183	15/01/2020	15/01/2020	21:35:00	22:43:00	
12	ANEL	BRACOLANÇA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0036	16/01/2020	3000996246	3000450399	16/01/2020	16/01/2020	13:50:00	14:55:00	
13	PREVENTIVA	PREVENTIVA	MA02-MODCOLH05	CTMF218	SK0052	17/01/2020	3000106528	3000450422	16/01/2020	16/01/2020	10:36:00	11:59:00	
14	PREVENTIVA	PREVENTIVA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	SK0052	17/01/2020	3000106574	3000450421	16/01/2020	16/01/2020	10:35:00	14:20:00	
15	MANGUEIRA	UNIDADE DE CORTE	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0036	16/01/2020	3000997014	3000450823	16/01/2020	16/01/2020	07:01:00	07:25:00	
16	DISCO	UNIDADE DE CORTE	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0032	20/01/2020	3000997504	3000451032	20/01/2020	20/01/2020	22:15:00	23:05:00	
17	MANGUEIRA	UNIDADE DE CORTE	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0036	20/01/2020	3000997512	3000451039	20/01/2020	20/01/2020	16:45:00	20:35:00	
18	REPARO	TRANSMISSÃO	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0036	21/01/2020	3000997606	3000451094	21/01/2020	21/01/2020	00:40:00	01:10:00	
19	FILTRO	SISTEMA HIDRAULICO	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0032	21/01/2020	3000997911	3000451131	21/01/2020	22/01/2020	22:30:00	00:30:00	
20	PREVENTIVA	PREVENTIVA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0036	22/01/2020	30001049764	3000451401	21/01/2020	21/01/2020	08:40:00	15:20:00	
21	MOTOR	SISTEMA DE POTENCIA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	SK0052	22/01/2020	3000998128	3000451572	22/01/2020	22/01/2020	14:40:00	15:50:00	
22	PREVENTIVA	PREVENTIVA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0036	23/01/2020	3000110025	3000451735	22/01/2020	22/01/2020	13:35:00	14:45:00	
23	PREVENTIVA	PREVENTIVA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	SK0052	23/01/2020	3000108295	3000451734	22/01/2020	22/01/2020	10:22:00	10:55:00	
24	FILTRO	SISTEMA DE POTENCIA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	SK0052	23/01/2020	3000998356	3000451700	22/01/2020	23/01/2020	23:50:00	15:25:00	
25	BUCSE	TRANSMISSÃO	MA02-MODCOLH05	CTMF206	SK0052	23/01/2020	3000998721	3000451913	23/01/2020	23/01/2020	16:15:00	19:10:00	
26	CHAPABARRA	ESTRUTURA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0032	24/01/2020	3000999196	3000452203	24/01/2020	24/01/2020	12:15:00	20:40:00	
27	PREVENTIVA	PREVENTIVA	MA02-MODCOLH05	CTMF218	FB0032	23/01/2020	30001066413	3000453240	28/01/2020	28/01/2020	01:30:00	04:30:00	
28	COMANDO	SISTEMA HIDRAULICO	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0032	28/01/2020	30001001161	3000453569	28/01/2020	28/01/2020	16:13:00	16:50:00	
29	MANGUEIRA	SISTEMA DE GIRO	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0032	29/01/2020	30001001143	3000453560	29/01/2020	29/01/2020	10:25:00	10:45:00	
30	PREVENTIVA	PREVENTIVA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0032	29/01/2020	30001037048	3000453079	29/01/2020	29/01/2020	09:53:33	12:20:00	
31	PREVENTIVA	PREVENTIVA	MA02-MODCOLH05	CTMF206	FB0036	30/01/2020	3000107894	3000453571	29/01/2020	29/01/2020	12:15:00	15:00:00	

Fonte: Autora (2022).

Para extrair o modelo de tabela definida no PI System, o usuário terá que acessar a aba “Define table” (aba responsável por definir os títulos do cabeçalho, tipo de valor e outras informações das tabelas do PI) na ferramenta PI. Endereço da aba define table: No painel de Navegação, selecionar o item Library (Biblioteca). No painel Menu, selecionar o objeto Table (tabela), escolha a tabela, selecionar a aba define table e lá conterá as informações do modelo da tabela, conforme a Figura 31.

Figura 31 - Configuração da Tabela SAP

Name	Value Type	Time Zone	Unit Of Measure	Use Image
CentTrab respon.	String	<None>	<None>	<N/A>
Equipamento	String	<None>	<None>	<N/A>
Data da nota	DateTime	<None>	<None>	<N/A>
Ordem	String	<None>	<None>	<N/A>
Nota	String	<None>	<None>	<N/A>
InicioAvar	DateTime	<None>	<None>	<N/A>
Fim avaria	DateTime	<None>	<None>	<N/A>
Di.criacao	DateTime	<None>	<None>	<N/A>
Cond.dessejada	DateTime	<None>	<None>	<N/A>
Descricao	String	<None>	<None>	<N/A>
Tipo de Ordem	String	<None>	<None>	<N/A>
Modulo Abre	String	<None>	<None>	<N/A>
Status sistema	String	<None>	<None>	<N/A>

Fonte: Autora (2022).

Nas tabelas extraídas dos sistemas, é preciso remover as colunas que não foram delineadas na aba define table, e agrupar os valores referentes a tempo para que fiquem similares formato ao utilizado pelo PI System: dd/mm/aaaa hh:mm:ss

Após ajustar a tabela, é preciso importar os dados, para isso os dados das planilhas as planilhas Excel precisam estar no formato definido na ferramenta PI, após certificar que a planilha está modelada conforme o modelo de tabela PI, copiar as colunas do Excel e colar nas respectivas colunas da tabela PI.

4.2.9 Etapa 4: CONSTRUIR O PROTÓTIPO DO SISTEMA

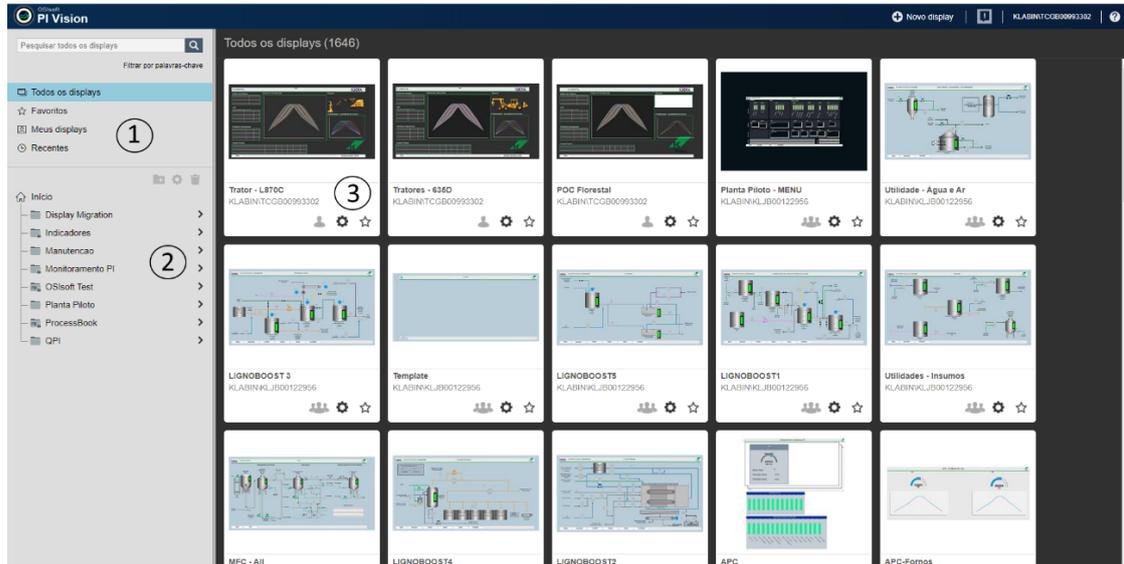
FASE 9 – Configuração do display com indicadores online: nesta etapa será feito a configuração do *display (dashboard)* com indicadores online para monitoramento em tempo real. Este *display* será o primeiro a ser implementado na florestal com dados em tempo real, pois até então os dados e informações da manutenção eram alimentados de forma manual.

O sistema para visualização do dashboard é o PI Vision que é uma ferramenta Web-Client intuitiva que permite acesso rápido aos dados do PI System. Essa ferramenta foi utilizada para a construção desta etapa, última fase do DSR (Design Science Research) proposto para a construção do Sistema e cumprimento do objetivo específico 5.

Para isso acontecer, foram realizadas diversas reuniões afim de definir: a) o padrão do *layout* para este *display (dashboard)*, tais como: cores, fontes, figuras, fundo, distribuição dos elementos, indicação das variáveis, tabelas e tendências; b) os *dashboards* ou o que serão disponibilizados na tela de modo que as informações sejam mostradas de forma clara e objetiva e com gráficos e tendências das variáveis, além dos valores de medição num conjunto que fique harmonioso e de fácil entendimento. Neste *display* estão as informações de dados das máquinas como: área de localização, fabricante e modelo da máquina, ordens e notas de manutenção importadas do SAP-PM, dados da planilha de eficiência operacional contendo causa, descrição, data e códigos de produção e confirmação e os valores de medição online dos sensores das máquinas.

Ao entrar no Website do PI Vision será visualizada uma tela geral contendo diversos displays da empresa, onde o usuário encontrará os displays específicos da Florestal de acordo com o código de cada máquina, conforme Figura 32.

Figura 32 - Tela Geral Vision



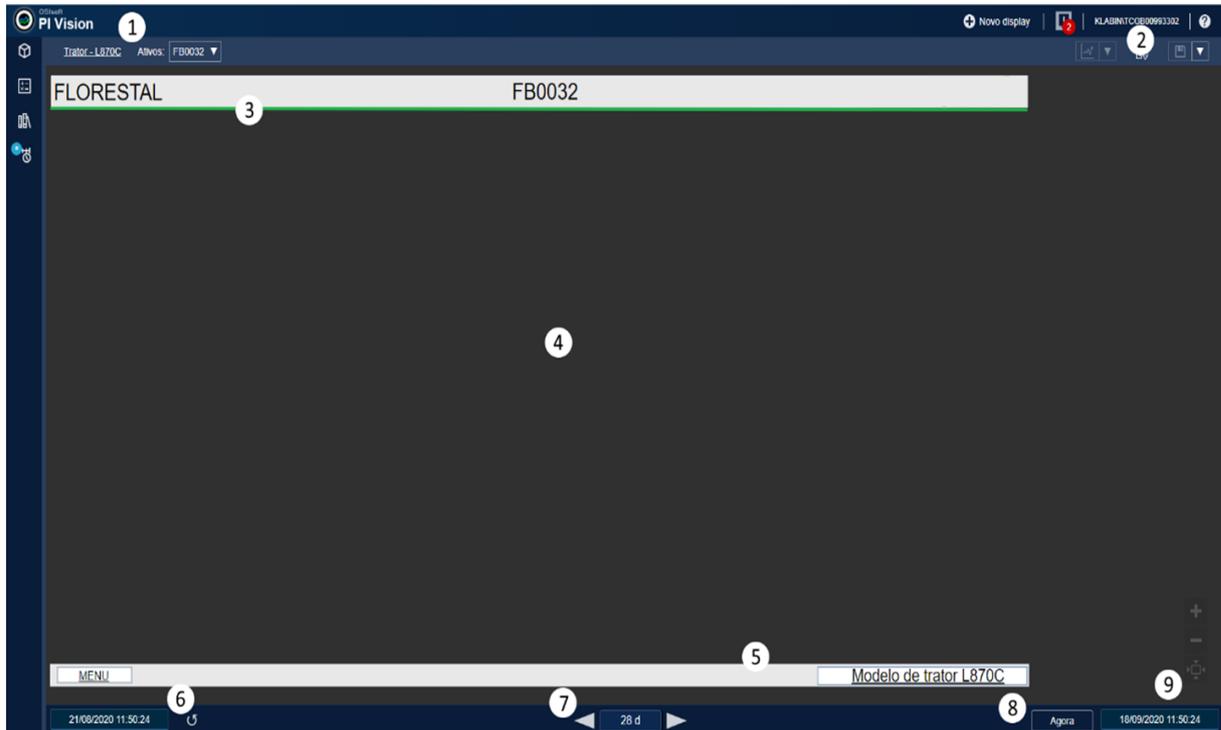
Fonte: Autora (2022).

Percebe-se na Figura 32 a tela geral onde ao lado esquerdo estão todos os displays configurados no PI Vision e ao lado direito estão os displays gráficos específicos de cada área, incluindo a área Florestal com suas respectivas máquinas.

1. Filtros de seleção dos displays, podendo mostrar:
 - Todos os displays;
 - Displays favoritos;
 - Displays desenvolvidos pelo usuário logado;
 - Displays acessados recentemente;
2. Os displays desenvolvidos no PI Vision podem ser dispostos em pastas, agrupando assim telas relacionadas a mesma aplicação;
3. Estão localizadas as miniaturas dos Displays, é possível favoritar um display ao clicar na estrela;

A tela da aplicação, segue o layout padrão adotado pela empresa, Figura 33, estando localizado em:

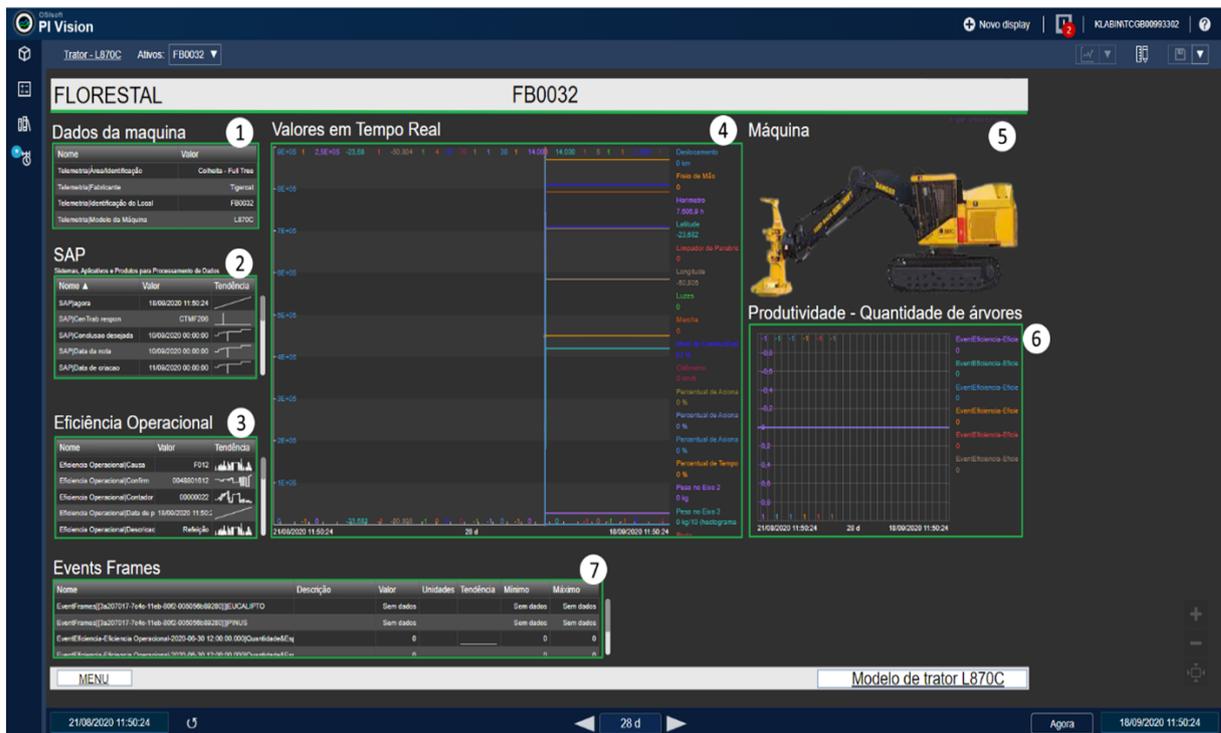
Figura 33 - Layout daTela



Fonte: Autora (2022).

1. Nome da Tela;
2. Usuário Logado;
3. Barra Superior;
4. Área central, onde irá entrar as informações individuais de cada tela;
5. Barra Inferior;
6. Data e hora Inicial da Análise;
7. Botão para ajustar o intervalo de tempo desejado;
8. Ao clicar em “Agora” ou “Now”, define o período de tempo para o momento atual;
9. Data e hora Final da Análise;

Figura 34 - Display ou Dashboard para o Sistema de Manutenção 4.0



Fonte: Autora (2022).

Na tela de equipamentos, Figura 34, é possível visualizar as principais informações das máquinas monitoradas, onde para facilitar a interpretação foram divididas em 7 partes:

1. Dados de Máquina: área, fabricante, identificação, modelo da máquina
2. Dados SAP: data, central de trabalho responsável, data de conclusão desejada, abertura da nota
3. Eficiência Operacional: causa, código de confirmação, contador, data de produção, descrição
4. Telemetria: Deslocamento, freio de mão, horímetro, nível de combustível
5. Imagem do Modelo da Máquina
6. Produtividade – quantidade de árvores
7. Event Frame

O Event Frame é uma funcionalidade do PI System que tem como objetivo ajudar o usuário a identificar, rastrear, comprar ou analisar um evento importante seja de processo ou de negócio para um determinado período. Os eventos são ocorrência determinadas por gatilhos.

Quando um processo é mapeado, é possível estipular um atributo como gatilho, este pode ser um valor mínimo ou máximo, iniciação, desligamento ou algum

outro parâmetro determinado pelo usuário. Quando o gatilho é ativado, ele gera um evento. Cada evento possui nome, tempo inicial, tempo final, um ou mais atributos determinados pelo usuário e um ou mais *Asset Frame*.

4.2.9 Etapa 5: Observar E Avaliar O Sistema

FASE 10 – Análise, observação e Treinamento: a partir deste *dashboard* os operadores e manutentores terão os indicadores das variáveis das máquinas monitorados em tempo real. Para o uso deste display foi realizado um treinamento de 4hs para os usuários apresentando as funcionalidades para visualização e análise das informações, apresentando as diversas possibilidades de analisar as tendências ao longo do tempo e o comportamento dos indicadores conforme a operação das máquinas em diferentes turnos de trabalho. O treinamento foi bastante objetivo e prático onde os usuários se familiarizaram com a ferramenta e puderam tirar dúvidas. Os dados contidos no display estarão disponíveis em tempo real e são armazenados com frequência diária a cada minuto, onde poderão ter um histórico online de consulta de até 5 anos.

Através do registro de medição das variáveis das máquinas estabelece-se os limites ideais de operação de acordo com as características do equipamento, incluindo o valor objetivo de trabalho, limite inferior e limite superior. Quando uma determinada variável sai fora de sua especificação é possível gerar alarmes de acordo com a sua criticidade. Neste caso um alarme será gerado na tela do *display* e irá aparecer de forma intuitiva mudando para a cor vermelha e piscando para realmente chamar a atenção do operador que tem algo errado. Além disso será enviado um email ao responsável da manutenção para que possa agir na tomada de decisão seja programando uma parada, a reposição de peças, serviço de revisão, troca de equipamentos entre outros, trabalhando de forma preditiva e antecipativa.

No entanto, durante a avaliação e observação da utilização do sistema, foram levantados alguns pontos importantes sobre o display apresentado e disponibilizado para área florestal com os dados das três fontes apresentadas, sendo:

Os dados possuem baixa qualidade e um grande número de inconsistências, alguns dados param de se comunicar ou apresentam valores muito fora do esperado. A temperatura da cabine, por exemplo, apresenta valores como 0°C, o que pode indicar o mal funcionamento do sensor ou problema de calibração e captação dos

dados. Para este trabalho, foi definido que somente os dados referentes aos 3 equipamentos seriam monitorados, isso dificultou a variabilidade de problemas captados de forma a permitir encontrar algum padrão dos sensores.

Para conseguir implementar uma solução de *Machine Learning* que possa entregar valor, alguns passos anteriores precisarão ser feitos, na seguinte ordem:

- Trabalho mais detalhado de verificação/diagnóstico de consistência e melhoria da qualidade dos dados. Incluindo foco em instalar mais equipamentos de telemetria no máximo de máquinas possível. Só assim serão encontrados problemas de avarias importantes e realizar uma modelagem com possibilidade de bons resultados.
- O processo de registro de avarias, apesar de registrar com detalhes as avarias, horários de ocorrências, entre outras informações, são registradas manualmente nas planilhas do Excel. A criação de um catálogo de falhas e registro de mais informações, proporcionariam mais insumos para uma manutenção preditiva, assim como um planejamento da manutenção ainda mais preciso.
- Acompanhamento da telemetria e registros para maturação dos dados e com o histórico de tempo para ter informações suficientes para que o modelo possa as transformar em conhecimento. Só assim será possível construir modelos. Se não há danos sérios, o modelo não vai aprender.

Algumas melhorias foram identificadas durante a execução do trabalho.

- A descrição da avaria é inserida manualmente pelo operador, em um cenário ideal, cada avaria deveria ser registrada como um código, possibilitando assim no futuro, um melhor planejamento de tempo e recurso, baseado nas informações coletadas para cada defeito.
- Apesar de estar mapeado 33 atributos pela telemetria, existem alguns atributos que com um maior sensoriamento dos equipamentos podem trazer valores significativos para a área: Angulação dos braços móveis, Torque Garra, Filtro de Ar, Temperatura de Exaustão, Número de Partidas do Motor, Nível de Arrefecimento do Motor, Velocidade do ventilador do Motor, Tensão do Sistema, alta pressão da direção, entre outros.

Porém de acordo com a evolução e o surgimento de novas tecnologias é sugerido uma análise mais profunda sobre a aderência de novas tecnologias para contribuição de uma manutenção inteligente além da manutenção preditiva e com foco em uma manutenção prescritiva. Pois enquanto a manutenção preditiva faz uma previsão e antecipação de falhas através da análise de dados e aprendizados de

máquina com modelos de inteligência artificial, a manutenção prescritiva oferece recomendações para alterar o futuro, analisando problemas que ainda não existem e apontando tendências de potenciais falhas explorando um viés totalmente disruptivo para o futuro da manutenção.

Ressalta-se que a análise de dados é responsável por monitorar os KPIs, análises em tempo real continuamente e a integração com qualidade e segurança. O poder da comparação confronta os dados obtidos com outras fontes de dados para períodos e/ou eventos definidos.

Durante a execução do trabalho na área Florestal, além das dificuldades encontradas mencionadas durante a análises de dados, as informações do SAP (Ordens de Serviço PM) e Sistema de Eficiência possuíam dados extraídos do sistema em formato de tabela, com dados coletados em períodos anteriores.

Por serem inseridas no PI de forma manual, ocorria uma análise atrasada dos dados, perdendo assim uma das principais vantagens da utilização deste sistema, a análise em tempo real. Para um melhor aproveitamento do sistema, seria necessária uma integração tanto do SAP (Ordens de Serviço PM) quanto do sistema de eficiência, para que os dados cadastrados fossem automaticamente historiados no PI.

- No início da implantação do sistema, apenas dados estão sendo gerados, ainda com pouco valor preditivo, é recomendado focar na coleta e cuidados com os dados, além da inclusão das demais máquinas.

- Para que um modelo de *machine learning* seja implementado no futuro, sendo capaz de gerar bons resultados, ele precisa ter históricos representativos, de problemas que já aconteceram nas máquinas. Apenas 3 máquinas é uma pequena amostra de dados que ainda não houve ocorrência de danos severos a fim de se detectar com antecedência indicadores de anomalias através dos dados.

- Foi constatado a necessidade de inserção dos demais equipamentos que estão sendo monitorados, que possibilitará o aumento de dados e uma maior confiabilidade, esta evolução após concluída permitirá no mínimo duas abordagens dos modelos;

- Modelo de manutenção preditiva, será capaz de alertar ao operador da máquina, futuros problemas de funcionamento antes mesmo de se tornarem perceptíveis, além da otimização no planejamento e gestão das atividades.

- Modelo preditivo possui a capacidade de recomendar paradas para manutenção de forma a minimizar as avarias e maximizar a produção.

Com isso, a seguir será apresentada a conclusão do trabalho.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho atingiu o objetivo geral proposto: Propor um sistema de manutenção 4.0 para máquinas e equipamentos agroindustriais florestais. Sendo os objetivos específicos também atingidos e as considerações sobre cada um pode ser vista a seguir.

1. **Identificar a evolução e tipologia da manutenção no contexto da indústria 4.0**, é a figura 4 e figura 5 (Cap. 2) a partir do portfólio bibliográfico;
2. **Estabelecer as principais tecnologias 4.0 voltadas ao sistema de manutenção preditiva para o setor do agronegócio**, é a figura 8 (Cap. 2) obtida a partir do portfólio bibliográfico;
3. **Desenvolver uma arquitetura de referência para coletas e armazenamento de dados**, é a figura 23 (Cap. 4);
4. **Propor um Sistema de Análise de Dados para correlacionar dados de diferentes fontes e identificando padrões**, é a figura 27, 28 e 29 (Cap. 4);
5. **Obter indicadores para as máquinas e equipamentos florestais em tempo real**, é a figura 34 (Cap. 4).
6. **Aplicar o Sistema**: contido no Cap 4.

O trabalho proposto entregou a área florestal um *display* com *dashboards* para acompanhamento online em tempo real visando ter mais conhecimento e assertividade sobre as informações, podendo gerar gráficos, tendências e visualização de processos *online*.

O presente trabalho representa um grande ganho para o setor florestal, entregando para a área de manutenção um *display* com indicadores em tempo real das informações online das máquinas colheitadeiras. Sendo uma inovação para o segmento, ou seja, indicador online da área florestal contrapondo aos dados de acompanhamento comumente visualizados de acordo com entradas manuais dos operadores.

O trabalho mostra também a relação e sinergia entre a Manutenção Inteligente e a Indústria 4.0 e a convergência entre estas tecnologias para construção de um modelo de manutenção Inteligente através do monitoramento em tempo real das máquinas.

Este trabalho consolida a importância da manutenção inteligente na indústria para otimização dos processos e aumento da performance de seus ativos e as

premissas para sua implementação de acordo com a possibilidade geradas com as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 aumentando o tempo de disponibilidade de máquinas e equipamentos, o controle e a qualidade da produção e a redução nos custos.

O trabalho aponta novos rumos na aplicação de tecnologias digitais oriundas da Indústria 4.0 em um sistema de manutenção de máquinas agroflorestais. A partir dos resultados alcançados, pode-se concluir que este trabalho é um primeiro passo rumo a esta jornada da manutenção inteligente. Quando implementado, os gestores podem realizar o monitoramento online e ter mais agilidade na tomada de decisões, um dos principais benefícios da Indústria 4.0.

A partir do estudo, verificou-se a necessidade de inserção de outros equipamentos que não estão sendo monitorados, permitindo aumentar a confiabilidade dos dados coletados. Essa evolução permitirá a abordagem de um modelo de manutenção preditiva, que será capaz de alertar o operador da máquina sobre futuros problemas operacionais antes mesmo que eles se tornem perceptíveis, além de otimizar o planejamento e a gestão das atividades. O Modelo preditivo possui a capacidade de recomendar tempo de inatividade para manutenção para minimizar avarias e maximizar a produção.

O trabalho permitiu evoluir no estado do conhecimento sobre manutenção preditiva em maquinário agroflorestal, que apresenta algumas dificuldades inerentes ao local onde é aplicado, como falta de conectividade, distância e relevo. A Indústria 4.0 pode contribuir nessa questão de monitoramento de máquinas e coleta de dados da conexão de rede, permitindo a tomada de decisões mesmo remotamente.

Com a evolução e maturidade de novas aplicações e tecnologias digitais, mais transformações e perspectivas de análise serão identificadas e estudadas, as quais virão não apenas para complementar este trabalho, mas também gerar novos conhecimentos.

Com isso, o trabalho apresentado destaca-se por sua originalidade, pois traz uma solução que permite a visualização e acompanhamento em tempo real das máquinas e equipamentos florestais, trazendo inovação para este setor que vem crescendo significativamente com a utilização de tecnologias da Indústria 4.0, obtendo melhores resultados a partir da implantação do sistema e com grande impacto positivo para a manutenção.

5.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros

A seguir alguns pontos importantes são destacados para estudos futuros:

- Implementação de um sistema de *machine learning* para predição de falhas;
- Adequação do *dashboard* conforme a norma ISO;
- Instalação dos novos sensores para aumentar a quantidade de dados e correlacionar com outras variáveis do sistema;
- Pesquisa junto aos fabricantes de máquinas a obtenção de acesso a todas as variáveis disponíveis para que a análise de dados seja mais consistente;
- Aumento da amostragem de dados monitorando mais máquinas.

REFERÊNCIAS

- ABUBAKAR, A. M.; ELREHAIL, H.; ALATAILAT, M. A.; ELÇI, A. Knowledge management, decision-making style and organizational performance. **Journal of Innovation & Knowledge**, 2019, v. 4, n. 2, p. 104-114.
- AGRONEGÓCIO. **Agronegócio Brasileiro**. 2020. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/pagina/o-que-e>. Acesso em: 10 nov. 2020
- AHMAD, R.; KAMARUDDIN, S. An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. **Computers & industrial engineering**, v. 63, n. 1, p. 135-149, 2012.
- ALMEIDA, B. S. C. **Smart Contracts: Adequação ao modelo contratual pelas Instituições Financeiras sob as prespectivas de Governança Corporativa. Cybersegurança e LGPD**. 2020.
- ANDRADE R. Sistema de Comunicação CAN-DF: Modelamento por Software e Análise Temporal. **Engenharia de Sistemas Eletrônicos**, 2015. p. 12-17
- ANTOSZ, K. Maintenance - Identification and analysis of the competency gap. **Eksploracja i Niezawodnosc**, 2018, v. 20, p. 484 - 494
- ARKTIS C. **Industry 4.0: Everything you need to know/Entrepreneurial Insights**. Obtido de Arktis: <http://arktis.com.br/a-quartarevolucao-da-industria-2021>, acesso em: 05 fev 2021
- BADRI, A.; BOUDREAU-TRUDEL, B.; SOUISSI, A. S. Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern. **Safety Science**, 2018 v. 109, p. 403-411.
- BAHRIN, M. A. K.; OTHMAN, M. F.; AZLI, N. H.; TALIB, M. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Journal Teknologi**, 2016, v. 78, n. 6-13, p. 137-143.
- BAX, M. P. Design science: filosofia da pesquisa em ciência da informação e tecnologia. **Ciência da informação**, v. 42, n. 2, 2013..
- BECHERER, M.; ZIPPERLE, M.; KARDUCK, A. Intelligent Choice of Machine Learning Methods for Predictive Maintenance of Intelligent Machines. **Computer Systems Science And Engineering**, 2020. p. 81-89
- BLOCK, C.; KREIMEIER, D.; KUHLENKOTTER, B. Holistic approach for teaching IT skills in a production environment. **Procedia Manufacturing**, 2018, p. 57 - 62
- BOSCH, R. **CAN with Flexible Data-Rate**. GmbH, 2011. Disponível em http://www.bosch-semiconductors.de/media/pdf_1. Acesso em: 14 mar 2021
- CACHADA, A., BARBOSA, J., LEITÃO, P. Manutenção 4.0: Arquitetura do Sistema de Manutenção Preditiva e Inteligente. **IEEE sobre Tecnologias Emergentes e Automação de Fábrica**, p.139-146, 2018.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). **Mercado de Trabalho do Agronegócio**. Disponível em <https://www.cepea.esalq.usp.br/mercado-de-trabalho-do-agronegocio>. Acesso em 02 fev 2021.

CHEN, T.; LIN Y.-C. Feasibility evaluation and optimization of a smart manufacturing system based on 3dprinting: a review. **International Journal of Intelligent Systems**, p.394-413, 2017.

CIRIELLO, R. F.; RICHTER, A.; SCHWABE, G. "Digital Innovation". **Bus Inf Syst Eng**, vol. 60, 2018, p. 563- 569

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Panorama do Agro**. Disponível em <https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro>. Acesso em 05 nov 2020.

DRESCH, A.; LACERDA D. P.; ANTUNES Jr., J. A. V. "Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia". **Bookman**, Porto Alegre/RS. 2015.

DUTRA, J. T. **PCM 4.0 Planejamento e Controle de Manutenção na Indústria 4.0** ENGETELES - Engenharia de Manutenção. Disponível em: <https://engeteles.com.br/>. Acesso em: 10 mai 2021.

ELSEVIER. SCOPUS: **Sobre a solução Scopus**. Disponível em: <https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus>. Acesso em: 21 abr 2021

EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA. **Agronegócio e Oportunidades para o Desenvolvimento Sustentável do Brasil**. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/658189/1/DOC442009.pdf>. Acesso em: 05 nov 2020.

FAGUNDES, A. M.; ROCHA, A. L. S.; BARBOSA, S. R.; CARVALHO, A. L. Estudo de caso: Análise quantitativa de confiabilidade e disponibilidade de um torno cnc, baseado na metodologia rcm (reliability centred maintenance), aplicado a área de manutenção industrial. **XXXI Encontro Nacional De Engenharia De Produção - ENEGEP**, Belo Horizonte, 2011

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Forest resource assessment -FRA 2020: terms and definitions**. Rome: FAO, 2020. (Working Paper 180). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/017/ap862e/ap862e00.pdf>. Acesso em: 05 nov 2020

FRIEDMAN, G. **A próxima década**. Novo Conceito Editora, 2012

GANDOMI, A.; HAIDER, M. Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. **International journal of information management**, v. 35, n. 2, p. 137-144, 2015.

GANTZ, John *et al.* Extracting value from chaos. **IDC iview**, v. 1142, n. 2011, p. 1-12, 2011.

GHOBRIL, A. N.; ASSIS, P. B. "Solução Tecnológica para Implementação Preventiva/Preditiva de Peças e Componentes de Máquinas e Implementos Agrícolas em Geral". **XXI SEMEAD Seminários em Administração**, 2018.

GONÇALVES, B. S. O compromisso das empresas com o meio ambiente: agenda ambiental das empresas e a sustentabilidade da economia florestal. São Paulo: **Instituto Ethos**, 2005. p. 48-56

- HASHEMIAN, H. M. State-of-the-art predictive maintenance techniques. **IEEE Transactions on Instrumentation and measurement**, v. 60, n. 1, p. 226-236, 2010.
- HECKLAU, F.; GALEITZKE, M.; FLACHS, S.; KOHL, H. Holistic approach for human resource management in Industry 4.0. **Procedia Cirp**, v. 54, p. 1-6, 2016.
- HENKE, M.; KUHN, A. Smart Factories for Smart Factories - Mit intelligenter Instandhaltung die Industrie 4.0 vorantreiben. **Red Paper – Acatech. POSITION**, 2015
- HEREDIA, B.; PALMEIRA, S.; LEITE, S. P. Sociedade e Economia do “Agronegócio” no Brasil. **RBCS** Vol. 25. 2010, p. 160-196
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review. **Technische Universität Dortmund**, Dortmund, v. 45, 2015.
- HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. **Design research in information systems theory and practice**. 2010.
- HEVNER, A. R. A three cycle view of design science research. **Scandinavian journal of information systems**, v. 19, n. 2, p. 4, 2007.
- HININGS, B.; GEGENHUBER, T.; GREENWOOD, R. Digital innovation and transformation: An institutional perspective. **Information and Organization**, v. 28, n. 1, p. 52-61, 2018.
- HOFSTEE, J. W.; GOENSE, D. Simulation of a controller area network-based tractor—implement data bus according to ISO 11783. **Journal of agricultural engineering research**, v. 73, n. 4, p. 383-394, 1999.
- HUO Z., MUKHERJEE M., SHU L., CHEN Y., and ZHOU Z. Cloud-based data-intensive framework towards fault diagnosis in large-scale petrochemical plants. **In: 2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)**. IEEE, 2016. p. 1080-1085.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBA). **Indústria brasileira de árvores 2020**. Disponível em: http://www.iba.org/shared/iba_2020_pt.pdf. Acesso em: 05 nov 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Agricultura e Pecuária**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>. Acesso em: 05 nov 2020
- ISO 11898 - **Road vehicles-Interchange of digital information-Controller area network (CAN) for high-speed communication**, 1993.
- IVANOV, D.; DOLGUI, A.; SOKOLOV, B. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. **International Journal of Production Research**, 2018, p. 1-18.
- JI, W.; WANG, L. Big data analytics based fault prediction for shop floor scheduling. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 43, p. 187-194, 2017.
- BAUERNHANSL, T.; TEN HOMPEL, M.; VOGEL-HEUSER, B. (Ed.). **Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung· Technologien· Migration**. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.

- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0**: final report of the industrie 4.0. Frankfurt, Alemanha, 2013.
- KIETZMANN, J.; PITT, L.; BERTHON, P. Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. **Business Horizons**, v. 58, n. 2, p. 209-215, 2015.
- KHAN, M. E. Different approaches to black box. **International Journal of Software Engineering & Applications**, v. 2, n. 4, p. 31-40, 2011.
- KLINK, J.; ROLNIK. **Crescimento Econômico e Desenvolvimento Urbano**: Por que nossas cidades continuarm tão precárias?..São Paulo. CEBRAP, nr 89, 2011
- KŁOS, S.; PAPACZ, W.; PIECHOWICZ, Ł. An analysis of the operating parameters of the vacuum furnace with regard to the requirements of predictive maintenance. **Management and Production Engineering Review**, v. 10, 2019.
- LACERDA, D. P. *et al.* Design science research: A research method to production engineering. **Gestão & produção**, v. 20, p. 741-761, 2013.
- LEE J, LAPIRA E, BAGHERI B, KAO H. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. **Manufacturing Letters**, 2013, p.38-41.
- LEE J, WU F, ZHAO W, GHAFARI M, LIAO L, SIEGEL D. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. **Manufacturing letters**, v. 1, n. 1, p. 38-41, 2013.
- LIU, Y.; XU, X. Industry 4.0 and cloud manufacturing: A comparative analysis. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 139, n. 3, 2017.
- LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, p. 1-10, 2017.
- LU, Y.; PAPAGIANNIDIS, S.; ALAMANOS, E. Internet of Things: A systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 285-297, 2018.
- MCKINSEY-Company. **Digital in industry**: From buzzword to value creation. Digital August 2016. Disponível em:<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/a-smarter-way-to-digitize-maintenance-and-reliability/pt-BR>. Acesso em: 25 ago 2021.
- MANYIKA, J.; CHUI, M.; BROWN, B.; BUGHIN, J.; DOBBS, R.; ROXBURGH, C.; HUNG BYERS, A. **Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity**. McKinsey Global Institute, 2011.
- MENDES A. A., RIBEIRO J.L.D. **Manutenção centrada em Confiabilidade**: Uma Abordagem Quantitativa. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2011.
- MANSON, N. J. Is operations research really research? **ORION**, v. 22, n. 2, p. 155-180, 2006.

- MARCH, S. T.; STOREY, V. C. Design science in the information systems discipline: an introduction to the special issue on design science research. **MIS Quarterly**, v. 32, n. 4, p. 725-730, 2008.
- MUCHIRI, P.; PINTELON, L.; GELDERS, L.; MARTIN, H. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, p. 295-302, 2011.
- MOKTADIR, M. A.; ALI, S. M.; KUSI-SARPONG, S.; SHAIKH, M. A. A. Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. **Process safety and environmental protection**, v. 117, p. 730-741, 2018.
- MOLDAVAN, L. State-of-the-art Analysis on the Knowledge and Skills Gaps on the Topic of Industry 4.0 and the Requirements for Work-based Learning. **Procedia Manufacturing**, 2019, p. 294-301
- MOTYL, B.; BARONIO, G.; UBERTI, S.; SPERANZA D.; FILIPPI, S. How will Change Engineer's Skills in the Industry 4.0 Framework? A questionnaire Survey, **Procedia Manufacturing**, 2017
- MOURTZIS, D.; VLACHOU, E. A cloud-based cyber-physical system for adaptive shop-floor scheduling and condition-based maintenance. **Journal of manufacturing systems**, v. 47, p. 179-198, 2018.
- NAMBISAN, S.; LYYTINEN, K.; MAJCHRZAK, A; SONG, M. Digital Innovation Management: Reinventing innovation management research in a digital world. **MIS quarterly**, v. 41, n. 1, 2017.
- NIYONAMBAZA, I.; ZENNARO, M.; UWITONZE, A. Predictive maintenance (Pdm) structure using internet of things (iot) for mechanical equipment used in hospitals in Rwanda. **Internet do Futuro ACEIoT**, vol. 12, 2020.
- NUNES T. F., **Telemetria de um Veículo Baja SAE através de rede CAN**, UFRN, NATAL, 2016.
- OLIVEIRA, S.; BARBOSA, E.; RESENDE, I.; SILVA, R.; ALBUQUERQUE, L. Bibliometria em artigos de contabilidade aplicada ao setor público. In: **Congresso Brasileiro de Custos, Uberlândia. Anais. São Leopoldo**: Associação Brasileira de Custos, 2013.
- PINTO, J. P. **Manutenção Lean**. Lisboa: Lidel-Edições Técnicas, Lda. 2016.
- PWC Price water house Coopers. **Predictive Maintenance 4.0 Predict the unpredictable**. June 2017. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/sala-de-imprensa/noticias/futuro-da-industria.html>. Acesso em: 12 jul 2021
- QSR. **NVIVO® 10**. Disponível em: <https://www.qsrinternational.com/>. Acesso em: 26 jul 2021.
- PORTES, R. **Como a Indústria 4.0 tem Revolucionado o Século XXI**. São Paulo, 2020.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho Científico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2009.

- QINGLIN, Q. I., FEI, T. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison, **IEEE ACCESS**, 2018.
- RAMIRO R., KRUGER C., MICHELIN C. F., RADDATZ J. C., RANDALL R. B. **Vibration-based Condition Monitoring**. 2011
- RICH S. **Big data is a "new natural resource," IBM says**. 2012. Available from: <http://www.govtech.com/policy-management/Big-Data-Is-a-New-Natural-Resource-IBM-Says.html>. Acesso em: 01 mai 2021
- ROBLEK, V.; MESKO, M.; KRAPEZ, A. A complex view of Industry 4.0. **SAGE Open**, p. 1-11, 2016.
- SAHAL, R.; BRESLIN, J. G.; ALI, M. I. Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case. **Journal of manufacturing systems**, v. 54, p. 138-151, 2020.
- SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, 2018. p. 111-124
- SANTOS, R. B. O. "**Tecnologias de Processamento de Big Data Aplicadas à Manutenção Preditiva de Equipamentos**". UFRJ, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, fevereiro 2017.
- SARMIENTO, R. J. R.; MONROY, F.; MORENO, F. A.; GALINDO, C.; BOLENO, J. M.; JIMENEZ, J. G. Um modelo preditivo para a manutenção de máquinas industriais no contexto da indústria 4.0. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 2020.
- SATURNO, M.; MOURA, V.; PERTEL, F.; DESCHAMPS, E. Proposal of an Automation Solutions Architecture for Industry 4.0, **DEStech Transactions on Engineering and Technology Research**, 2018.
- SAUCEDO-MARTÍNEZ, J. A.; PÉREZ-LARA, M.; MARMOLEJO-SAUCEDO, J. A.; SALAIS-FIERRO, T. E.; VASANT, P. Industry 4.0 framework for management and operations: a review. **Journal of ambient intelligence and humanized computing**, v. 9, n. 3, p. 789-801, 2018.
- SCHUH, G. *et al.* **Industrie 4.0 Maturity Index**. Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY) Herbert Utz Verlag, Munich, 2017.
- SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, 2016, p. 161-166
- SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**, First U.S. edition. New York: Crown Business, 2016.
- SEIDEL, S.; KRUSE, L.; SZÉKELY, C.; GAU, M.; STIEGER, D. "Design principles for sensemaking support systems in environmental sustainability transformations" **European Journal of Information Systems**, vol. 27, 2018, pp. 221-247
- SHIN, J.-H.; JUN, H.-B. On Condition-based Maintenance Policy. **Journal of Computational Design and Engineering**, 2, 2015, pp.119-127.

- SILVA, M. R.; HAYASHI, C. R. M.; HAYASHI, M. C. P. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. **InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, v. 2, n. 1, 2011, p. 110-129.
- SILVESTRI, L.; FORCINA, A.; INTRONA, V.; SANTOLAMAZZA, A.; CESAROTTI, V. Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review. **Computers in industry**, v. 123, p. 103335, 2020.
- SHORT, M.; TWIDDLE, J. An industrial digitalization platform for condition monitoring and predictive maintenance of pumping equipment. **Sensors**, v. 19, n. 17, p. 3781, 2019.
- STOCK, T.; OBENAU, M.; KUNZ, S.; KOHL, H. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 118, p. 254-267, 2018.
- STONE, M. L. **Dynamic Address Configuration in SAE J1939, Biosystems and Agricultural Engineering**, Oklahoma State University, 2018.
- STRECH, D; TILBURT, J. Value judgments in the analysis and synthesis of evidence. **J Clin Epidemiol**. 2008, P. 521-524.
- SUNG, T. K. Industry 4.0: A Korea perspective. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 132, 2018, p. 40-45.
- SUSTO, G. A.; SCHIRRU, A.; PAMPURI, S.; MCLOONE, S.; BEGHI, A. Machine learning for predictive maintenance: A multiple classifier approach. **IEEE transactions on industrial informatics**, v. 11, n. 3, p. 812-820, 2014.
- SHEWHART W. A., DEMING W. E. **Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control (Dover Books on Mathematics)**. 2012
- The Cochrane Collaboration. **Glossary of terms in The Cochrane Collaboration** [Internet]. Version 4.2.5. London: The Cochrane Collaboration; 2005 Available from: <http://community.cochrane.org/sites/default/files/uploads/glossary.pdf>
- THOBEN, K. D.; WIESNER, S. A.; WUEST, T. "Industrie 4.0" and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. **International Journal of Automation Technology**, v. 11, p. 4-16, 2017.
- TRAN ANH D., DBROWSKI K., SKRZYPEK K. The Predictive Maintenance Concept in the Maintenance Department of the "Industry 4.0. **Production Enterprise**. Brandenburg University of Technology, 2018, p. 283-290
- TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção: Estratégias, Métodos e Técnicas para Condução de Pesquisas Quantitativa e Qualitativas**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Itajubá: Editora UNIFEI, 2012, 199p.
- VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design research in information systems**. [S.l.: s.n.], 2004. Disponível em: <http://desrist.org/design-research-in-information-systems>. Acesso em: 20 ago 2022.
- VAN AKEN, J. E. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.

VAN AKEN, J. E.; BERENDS, H.; VAN DER BIJ, H. **Problem solving in organizations**. 2. ed. Cambridge: University Press Cambridge, 2012.

WAN, J.; TANG, S.; LI, D.; WANG, S.; LIU, C.; ABBAS, H.; VASILAKOS, A. V. A manufacturing big data solution for active preventive maintenance. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 13, n. 4, p. 2039-2047, 2017.

WANG, J.; MA, Y.; ZHANG, L.; GAO, R. X.; MUCHIRI, P. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. **International Journal of Production Economics**, p.295- 302, 2011.

WEB OF SCIENCE. **About Web of Science**. Disponível em:

http://www.webofsciencegroup.com/?utm_source=false&utm_medium=false&utm_campaign=false. Acesso em: 21 abr 2021

YANG, X.; LEI, S.; CHEN, J.; FERRAG, A. M.; WU, J.; NURELLARI, E. A Survey on Smart Agriculture: Development Modes, Technologies, and Security and Privacy. **IEEE JOURNAL OF AUTOMATICA SINICA**, 2021.

ZHANG, W.; YANG, D.; WANG, H. Métodos baseados em dados para manutenção preditiva de equipamentos industriais. **IEE Systems Journal**, p.2213-2227, 2019.

ZHONG, R.; XU, X.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering** **3**, p. 616-630, 2017.

ZONTA, T.; COSTA, C. A.; RIGHI, R.; LIMA, M. J.; TRINDADE, E.; LI PYNG, G. Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 150, p. 106889, 2020