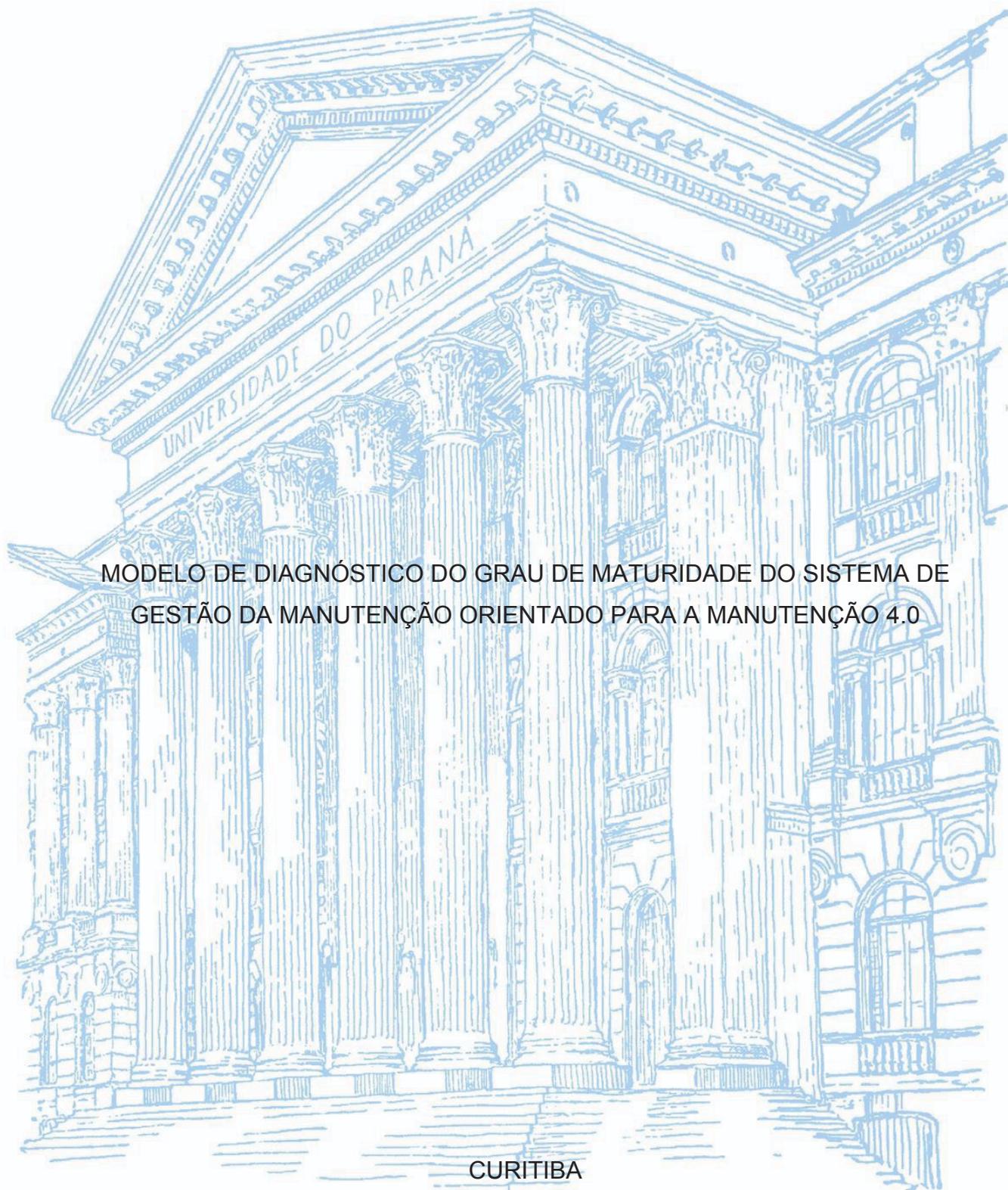


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO GRESSLER



MODELO DE DIAGNÓSTICO DO GRAU DE MATURIDADE DO SISTEMA DE
GESTÃO DA MANUTENÇÃO ORIENTADO PARA A MANUTENÇÃO 4.0

CURITIBA

2020

FERNANDO GRESSLER

MODELO DE DIAGNÓSTICO DO GRAU DE MATURIDADE DO SISTEMA DE
GESTÃO DA MANUTENÇÃO ORIENTADO PARA A MANUTENÇÃO 4.0

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Robson Seleme.

CURITIBA

2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

G832m	<p>Gressler, Fernando Modelo de diagnóstico do grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção orientado para a manutenção 4.0 [recurso eletrônico] / Fernando Gressler. – Curitiba, 2020.</p> <p>Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2020.</p> <p>Orientador: Robson Seleme .</p> <p>1. Manutenção. 2. Maturidade. 3. Administração da produção. I. Universidade Federal do Paraná. II. Seleme, Robson. III. Título.</p> <p>CDD: 620.0046</p>
-------	--

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO - 40001016070P1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **FERNANDO GRESSLER** intitulada: **MODELO DE DIAGNÓSTICO DO GRAU DE MATURIDADE DO SISTEMA DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO ORIENTADO PARA A MANUTENÇÃO 4.0**, sob orientação do Prof. Dr. ROBSON SELEME, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Fevereiro de 2020.

ROBSON SELEME

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

MARCELÓ RODRIGUES

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

ARINEI CARLOS LINDBECK DA SILVA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

FERNANDO DESCHAMPS

Avaliador Externo (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ)

RESUMO

A função manutenção é fundamental para garantir que produtos e serviços atendam as necessidades da produção e clientes nos mais diversos segmentos econômicos. Especificamente no setor industrial, a manutenção de ativos físicos como máquinas, equipamentos, instalações e sistemas têm contribuição efetiva na rentabilidade do negócio. Os conceitos, técnicas e metodologias aplicadas à gestão da manutenção dos ativos têm evoluído desde os princípios da industrialização, passando pela consolidação de Manutenção Produtiva Total – TPM, e, atualmente, buscando a aplicação das tecnologias da chamada indústria 4.0. Entretanto, a aplicação de conceitos, técnicas e ferramentas pelas indústrias variam de acordo com o grau de maturidade do modelo de gestão de seus processos. Modelos de avaliação da maturidade são aplicados nos mais variados processos industriais, tendo a finalidade de avaliar se as organizações têm ou não maturidade para a implementação de novas tecnologias. Considerando o exposto, o presente trabalho apresenta um método para avaliação do grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção orientado à manutenção 4.0. O modelo proposto é construído com base na revisão sobre o tema e que inclui a análise e comparação de modelos de avaliação existentes aplicados à manutenção industrial. Incluem também, o desenvolvimento e aplicação de um *survey* exploratório aplicado às indústrias do setor de bens de consumo no estado do Paraná. Para a construção do modelo foram considerados 3 elementos prioritários: Pessoas e suas habilidades, processos ou rotinas de manutenção e a digitalização decorrente das tecnologias da indústria 4.0 e que resulta em áreas de avaliação. A pesquisa apresenta também um check list de aplicação para demonstrar a aplicabilidade e possibilidade de análise.

Palavras-chave: Gerenciamento da manutenção. Modelos de Maturidade. Grau de Maturidade da Manutenção. Manutenção analítica. Manutenção 4.0.

ABSTRACT

The maintenance function is essential to ensure that products and services meet the needs of production and customers in the most diverse economic segments. Specifically in the industrial sector, the maintenance of physical assets such as machines, equipment, installations and systems has an effective contribution to the profitability of the business. The concepts, techniques and methodologies applied to asset maintenance management have evolved since the beginning of industrialization, through the consolidation of Total Productive Maintenance - TPM, and, currently, seeking the application of technologies called industry 4.0. However, the application of concepts, techniques and tools by industries varies according to the level of maturity of the management model of their processes. Maturity assessment models are applied in the most varied industrial processes, with the purpose of assessing whether or not organizations have maturity for the implementation of new technologies. Considering the above, the present work presents a method for evaluating the degree of maturity of the maintenance management system oriented to maintenance 4.0. The proposed model is built on the basis of the review on the topic, which includes the analysis and comparison of existing assessment models applied to industrial maintenance. They also include the development and application of an exploratory survey applied to industries in the consumer goods sector in the state of Paraná. For the construction of the model, three priority elements were considered: People and their skills, processes or maintenance routines and the digitalization resulting from the technologies of industry 4.0 and which results in areas of evaluation. The survey also presents an application check list to demonstrate the applicability and possibility of analysis.

Keywords: Maintenance management. Maturity Models. Maintenance Maturity. Analytical maintenance. Maintenance 4.0.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2 - TIPOS DE MANUTENÇÃO E FALHA FUNCIONAL	16
FIGURA 3 - TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0.....	22
FIGURA 4 - ENSAIO SOBRE AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS À MANUTENÇÃO	23
FIGURA 4 - PILARES DO TPM.....	26
FIGURA 5 - RESULTADOS DA IMPLANTAÇÃO DO RCM	28
FIGURA 6 - FASES DO CICLO PDCA EM AMBIENTE DE INDÚSTRIA 4.0 ..	30
FIGURA 8 - PIRÂMIDE DE INDICADORES.....	33
FIGURA 9 - ESTRUTURA DE PERDAS NO OEE	35
FIGURA 10 - CUSTOS ASSOCIADOS À MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	36
FIGURA 10 - NÍVEL DE MATURIDADE CMMI	42
FIGURA 11 - MODELO DE AMMM DE PINTELON	47
FIGURA 12 - METODOLOGIA DE PESQUISA.....	58
FIGURA 13 – EVOLUÇÃO DO TERMO MAINTENACE MANAGEMENT	59
FIGURA 14 – EVOLUÇÃO DO TERMO MATURITY MODEL.....	60
FIGURA 15 – TESTE DE HIPÓTESE H_{01}	71
FIGURA 16 – TESTE DE HIPÓTESE H_{02}	72
FIGURA 17 – TESTE DE HIPÓTESE H_{03}	73
FIGURA 18 – TESTE DE HIPÓTESE H_{04}	74
FIGURA 19 – TESTE DE HIPÓTESE H_{05}	75
FIGURA 20 – TESTE DE HIPÓTESE H_{06}	76
FIGURA 21 – TESTE DE HIPÓTESE H_{07}	77
FIGURA 22 – TESTE DE HIPÓTESE H_{08}	78
FIGURA 23 - TESTE DE HIPÓTESE H_{09}	80
FIGURA 24 - TESTE DE HIPÓTESE H_{10}	81
FIGURA 25 – TESTE DE HIPÓTESE H_{11}	82
FIGURA 26- TESTE DE HIPÓTESE H_{12}	83
FIGURA 27 - TESTE DE HIPÓTESE H_{13}	84
FIGURA 28 - TESTE DE HIPÓTESE H_{14}	85
FIGURA 29 - TESTE DE HIPÓTESE H_{15}	86
FIGURA 31 - TESTE DE HIPÓTESE H_{16}	87
FIGURA 31 – ESTRUTURA MODELO DE AVALIAÇÃO	89

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - OBJETIVOS DA PESQUISA **Erro! Indicador não definido.**

TABELA 2 - MATRIZ DE MATURIDADE DA GESTÃO DE QUALIDADE**Erro! Indicador não definido.**

TABELA 3 - MODELO DE MATURIDADE EM MELHORIA CONTÍNUA.....**Erro! Indicador não definido.**

TABELA 4 - MATURIDADE GESTÃO DE PESSOAS**Erro! Indicador não definido.**

TABELA 5 - MODELO DE MATURIDADE DE FERNANDEZ**Erro! Indicador não definido.**

TABELA 6 - MATURIDADE PARA GESTÃO DE ATIVOS: ISO 55000**Erro! Indicador não definido.**

TABELA 7 - PROPOSTA MODELO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE ...**Erro! Indicador não definido.**

TABELA 8 – LOCALIZAÇÃO DE FONTES DE PESQUISA..... 59

TABELA 9 – PESQUISA DE PALAVRAS-CHAVE *MAINTENANCE MATURITY* 60

TABELA 10 – PESQUISA DE PALAVRAS-CHAVE *MAINTENANCE ANALYTICS* 61

TABELA 11 – PESQUISA DE PALAVRAS-CHAVE *MAINTENANCE 4.0* 61

TABELA 12 – NÚMERO DE INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO DO PARANÁ..... 62

TABELA 13 – TABELA DE AMOSTRAGEM ESTRATIFICADA..... 67

TABELA 14 – RELAÇÃO PORTE E ORIGEM DA EMPRESA..... 69

TABELA 15 – QUANTIDADE DE RESPOSTAS POR SETORES..... 70

TABELA 16 – RESULTADOS DO TESTE DE APLICAÇÃO 95

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - SETE ETAPAS DA TEORIA DA MATURIDADE NALDONY	10
QUADRO 2 - ABORDAGENS <i>HARD</i> E <i>SOFT</i>	10
QUADRO 3 - INDICADORES CÁLCULO DO VDM	34
QUADRO 4 - AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS MODELOS DE MATURIDADE DE MANUTENÇÃO	55
QUADRO 5 – CLASSIFICAÇÃO PELO PORTE DAS EMPRESAS	63
QUADRO 6 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - METAS E GESTÃO DE INDICADORES	90
QUADRO 7 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL E DA EQUIPE DE MANUTENÇÃO	90
QUADRO 8 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO	91
QUADRO 9 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - ROTINAS DE PCM E EXECUÇÃO DA MANUTENÇÃO	93
QUADRO 10 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - TRATAMENTO DE FALHAS .	94
QUADRO 11 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - OFICINAS E FERRAMENTAS	95

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{01}	71
GRÁFICO 2 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{02}	72
GRÁFICO 3 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{03}	73
GRÁFICO 4 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{04}	74
GRÁFICO 5 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{05}	76
GRÁFICO 6 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{06}	77
GRÁFICO 7 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{07}	78
GRÁFICO 8 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{08}	79
GRÁFICO 9 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{09}	80
GRÁFICO 10 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{10}	81
GRÁFICO 11 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{11}	82
GRÁFICO 12 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{12}	83
GRÁFICO 13 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{13}	85
GRÁFICO 14 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{14}	86
GRÁFICO 15 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{15}	87
GRÁFICO 16 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{16}	88
GRÁFICO 17 – REPRESENTAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DO TESTE DE APLICAÇÃO.....	96

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CBM	Manutenção Baseada na Condição
CM	Estratégia Reativa
CMM	<i>Capability Maturity Models</i>
CMMS	<i>Computer Management Maintenance System</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FBM	Manutenção Baseada em Falha
FMEA	<i>Failure Model and Effect Analyses</i>
MA	<i>Maintenance Analytics</i>
ME	Engenharia de Manutenção
MPM	<i>Maintenance Performance Measurement</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
OAM	Orçamento Anual da Manutenção
OEE	<i>Overall Equipment Eficiente</i>
PDCA/SDCA	<i>Plan Do Check Action, Standart Do Check Action</i>
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PM e PdM	Estratégia Proativa
RCM ou MMC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
SEI	<i>Software Engeneering Institute</i>
SHE	<i>Safety Health and Environment</i>
TI	Tecnologia da Informação
TPM	<i>Total Productive Management</i>
TQC	Controle da Qualidade Total
UBM	Manutenção Baseada em Uso
VDM	<i>Value Driven Maintenance</i>
VPL	Valor Presente Líquido
ZZB	<i>Zero Based Budgeting</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES.....	12
1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	13
1.5 ESTRUTURA DESTA PESQUISA	9
2 REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO	10
2.1.1 Evolução e conceitos da manutenção	10
2.1.2 Sistemas de Gestão da Manutenção	12
2.1.3 Estratégias e tipos de manutenção	13
2.1.4 Sistemas informatizados de gestão da manutenção	17
2.1.5 Lean Maintenance	19
2.1.6 <i>Maintenance 4.0 e Maintenance Analytics</i>	20
2.2 METODOLOGIAS E FERRAMENTAS APLICADAS NA MANUTENÇÃO .	24
2.2.1 Manutenção Produtiva Total - TPM.....	25
2.2.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade	26
2.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS À MANUTENÇÃO	29
2.3.1 Ciclo PDCA e SDCA.....	29
2.3.2 Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA)	31
2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO NA MANUTENÇÃO	32
2.4.1 VDM - <i>Value Driven Maintenance</i>	33
2.4.2 OEE – <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	35
2.4.3 Hierarquia de indicadores da manutenção	36
2.5. MODELOS DE MATURIDADE	38
2.5.1 Modelos de maturidade para a qualidade	38
2.5.2 Modelos maturidade tecnologia da informação	41
2.5.3 Modelo de Maturidade para gestão de pessoas.....	42
2.5.4 Modelos de maturidade para a gestão da manutenção	45
2.5.4.1 <i>Modelo de maturidade de Fernandez</i>	45

2.5.4.2 <i>Asset Maintenance Maturity Model (AMMM)</i>	47
2.5.4.3 Maturidade para gestão de ativos: iso 55000	48
2.5.4.4 Modelo de avaliação da maturidade de oliveira	50
2.5.5 Análise dos modelos de maturidade aplicados à manutenção	55
3 MATERIAIS E MÉTODOS	57
3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA BIBLIOGRAFIA	58
3.2 DADOS DA AMOSTRA	66
3.3 FORMULÁRIO DE PESQUISA EXPLORATÓRIO	67
3.4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO	69
4 ANÁLISE E RESULTADO	69
5 . CONSTRUÇÃO DO MODELO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE	88
5.1 TESTE DE APLICAÇÃO DO MODELO	95
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
REFERÊNCIAS	100
APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO PESQUISA EXPLORATÓRIA	104
APÊNDICE 2 - CHECK LIST DIAGNOSTICO DE MATURIDADE	108

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de gestão da manutenção ineficientes e, conseqüentemente, falta de manutenção dos ativos comprometem a rentabilidade e competitividade das empresas, pois reduzem volume de produção, afetam a qualidade dos produtos, aumentam os riscos, comprometem a segurança das pessoas e do meio ambiente (KARDEC, 2013). Da mesma forma, sistemas de gestão da manutenção muito complexos e excesso de manutenção podem gerar custos adicionais que também comprometem a rentabilidade e competitividade das empresas. O excesso de manutenção não necessariamente significa melhor manutenção (MOUBRAY, 2000).

As empresas, para permanecerem competitivas, devem manter sistemas gestão da manutenção adequados. Um sistema, para ser eficiente e atender as necessidades, não pode ser de complexidade elevada e deve ser simplificado ao máximo (SELEME, 2015). A definição de um sistema de gestão da manutenção adequado e o gerenciamento da efetividade do sistema no longo do prazo permitem que a função da manutenção contribua de forma positiva para o resultado e sustentabilidade das empresas.

A Teoria da Maturidade, desenvolvida por (Argyris, 1957) em seu livro *Personality and organization: The conflict between system and the individual* em 1957 traz uma das principais teorias sobre maturidade, capaz de explicar o comportamento das pessoas e considera que as pessoas se desenvolvem ao longo do tempo, passando de uma situação de imaturidade para uma situação de maturidade.

De acordo com Naldony (2014), para evoluir de uma situação de imaturidade para maturidade, sete mudanças precisam ocorrer ao longo do tempo, essas mudanças são apresentadas no Quadro 1.

Os princípios e as etapas do desenvolvimento da maturidade definidos por Argyris e seus níveis de maturidade têm sido abordados em vários segmentos do conhecimento e a caracterização prática de suas conclusões têm contribuído para o alcance de melhores resultados nas organizações de um modo geral. Desta forma, vários modelos de avaliação do grau de maturidade foram desenvolvidos e aplicados ao longo do tempo (OLIVEIRA, 2017).

QUADRO 1 - SETE ETAPAS DA TEORIA DA MATURIDADE NALDONY

Imaturidade	Maturidade
Estado passivo	Estado de crescente atividade
Estado de dependência de outros	Estado de relativa independência
Comportar-se de poucas maneiras	Comportar-se de vários modos
Possuem interesses dispersos, incertos e superficiais	Interesses mais profundos e mais intensos
Perspectiva de tempo muito curtas envolvendo apenas o presente	Perspectiva de tempo aumenta, incluindo o passado e o futuro
Subordinado a todo mundo	Posições de igual ou superior
Não tem consciência de si mesmo	Tornando-se consciente do seu “eu”, e capaz de controlá-lo

FONTE: Adaptado de Nadolny (2014).

As frases “Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia” creditadas a Deming (FALCONI, 2004) estabelecem claramente a importância de se ter e conhecer os indicadores de processo para gerenciar uma organização. Isto posto, a avaliação da maturidade com indicadores e dados numéricos constrói um modelo de avaliação do grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção.

Quando se trata de modelagem na área de gestão é comum que se esteja falando sobre pesquisa operacional. A modelagem pode ser dividida em duas abordagens: *hard* e *soft*. A modelagem *hard* é fundamentada em bases matemática e a *soft* é aplicada onde devemos considerar questões comportamentais e contextuais. As duas abordagens não são excludentes e podem ser combinadas (DRESCH, 2015). O quadro 2 apresenta algumas diferenças entre as abordagens. A partir do exposto, pode-se considerar que a avaliação do grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção deve seguir, preferencialmente, a abordagens *soft*.

QUADRO 2 - ABORDAGENS HARD E SOFT

Elementos	Abordagens <i>Hard</i>	Abordagens <i>Soft</i>
Definição do problema	Vista como direta, unitária	Vista como problemática, pluralista
Organização	Assumida tacitamente	Requer negociação
Modelo	Uma representação do mundo real	Uma forma de gerar debate e insight a respeito do mundo real
Resultado	Um produto ou recomendação	Progresso por meio da aprendizagem

FONTE: Dresch (2015).

Considerando os ensinamentos de Juran (1988) para o gerenciamento da qualidade, a contribuição deste gerenciamento para a sustentabilidade das organizações e a importância de se estabelecer um modelo para medição do grau da maturidade do sistema de gestão da manutenção industrial, pode-se definir a pergunta da pesquisa:

Como definir o grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção de uma indústria considerando as tecnologias 4.0?

1.1 JUSTIFICATIVA

Todos os setores das empresas devem implementar em seus locais de trabalho ferramentas que permitam o desenvolvimento da qualidade (SELEME, 2015). A eficiência da função manutenção, numa unidade industrial, não depende apenas dos equipamentos envolvidos e da formação do pessoal envolvido, mas principalmente da estratégia adotada pelo gestor da manutenção (OLIVEIRA, 2017). Os modelos de maturidade oferecem às organizações uma possibilidade simples, mas efetiva, de medir a qualidade dos seus processos (WENDLER, 2012). Modelos de avaliação da maturidade auxiliam as organizações a alcançarem resultados efetivos, através da utilização de modelos de gestão apropriados ao perfil da organização, visando atingir um desempenho de classe mundial (OLIVEIRA, 2017).

A fundamentação da pesquisa, baseada na pergunta estabelecida, leva a caracterização do grau de maturidade e da importância da função da manutenção nos processos industriais. A evolução dos conceitos e o impacto da manutenção nos processos industriais, o uso de indicadores que permitem o gerenciamento de processos descrita por Deming (FALCONI, 2004) e a abordagem soft de modelagem (DRESCH, 2015) também fundamentarão a pesquisa.

1.2 OBJETIVOS

Para responder a pergunta e dar suporte à fundamentação da pesquisa, foram definidos objetivos geral e específicos.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa tem como principal objetivo propor **modelo para avaliação do grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção orientado à manutenção 4.0**, que permita a definição de estratégias para melhorar a gestão e, conseqüentemente, o desempenho operacional em indústrias de transformação no estado do Paraná.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o desenvolvimento do trabalho e para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Compreender as metodologias e ferramentas da indústria 4.0, aplicados à manutenção e sua contribuição para melhoria do desempenho industrial;
- Caracterizar grau de maturidade e identificar os métodos de avaliação da maturidade aplicados à manutenção;
- Realizar pesquisa exploratória da aplicação na manutenção das ferramentas de qualidade, elementos do sistema de gestão e as nove tecnologias da indústria 4.0
- Desenvolver, a partir da revisão bibliográfica e da pesquisa exploratória, um modelo preliminar de avaliação do grau de maturidade da manutenção industrial;
- Confirmar, com base nas respostas do *survey*, as hipóteses da criação do modelo de avaliação do grau de maturidade do sistema de manutenção industrial, identificados na literatura;
- Aplicar um estudo de caso para testar e refinar o modelo para avaliação do grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção orientado à manutenção 4.0

1.3 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES

A presente pesquisa está limitada nos fatores:

- Empresas classificadas como Indústrias de transformação do estado do Paraná. A definição de indústria de transformação é decorrente da categoria do Cadastro Nacional de Atividade Econômica.
- Os elementos de gestão da manutenção encontrados nas filosofias de TQC e TPM aplicados na manutenção e uso de tecnologias da indústria 4.0;
- Nas características metodológicas da pesquisa que incluem a questionário *survey* e revisão da literatura.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O quadro 1 apresenta os procedimentos metodológicos ~~a serem~~ realizados na execução desta pesquisa com a finalidade de atingir o objetivo geral.

QUADRO 3 - OBJETIVOS DA PESQUISA

Como pode ser definido o grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção de uma indústria?		Perguntas da Pesquisa	
Caracterização do grau de maturidade e a importância da função manutenção nos processos industriais.		Fundamento do Problema	
Propor modelo de avaliação do grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção capaz auxiliar na melhoria do desempenho nas indústrias de transformação do estado do Paraná.		Objetivo Geral	
Objetivos específicos	Ações Previstas	Resultados Esperados	
Compreender as metodologias e ferramentas aplicadas à manutenção e sua contribuição para melhoria do desempenho industrial. Destes, destacam-se os temas : tipos de atividade de manutenção, TPM, RCM, FMEA, PDCA, 5S, RCFA, <i>Maintenance analytics</i> e Manutenção 4.0.	Revisar bibliografia/literatura sobre a evolução da manutenção, conceitos, metodologias e ferramentas aplicadas à manutenção industrial.	Compreensão sobre a função manutenção, conceitos, metodologias e ferramentas aplicadas às indústrias.	
Caracterizar grau de maturidade, identificar os métodos de avaliação da maturidade existentes e quais os métodos aplicados à manutenção.	Revisar bibliografia sobre métodos de avaliação da maturidade e modelos de avaliação do grau de maturidade aplicados à manutenção.	Compreensão dos métodos de avaliação do grau de maturidade existentes e os métodos aplicados à manutenção industrial.	
Identificar quais as ferramentas e metodologias que suportam os métodos de avaliação do grau de maturidade na manutenção.	Revisar bibliografia sobre as ferramentas e métodos utilizados na avaliação da maturidade do Sistema de Manutenção e Avaliar criticamente um modelos existentes.	Compreensão das ferramentas e métodos de manutenção aplicados nos modelos métodos de avaliação do grau de maturidade.	
Realizar pesquisa exploratória para confirmação das aplicações de ferramentas e métodos identificados junto às indústrias de transformação do estado do Paraná.	Aplicar questionário estruturado para confirmação ferramentas e métodos aplicados nas indústrias de transformação do estado do Paraná.	Identificação das ferramentas e métodos aplicados à gestão da manutenção industrial nas indústrias de transformação do estado do Paraná	
Analisar os resultados da pesquisa exploratória para confirmação da aplicação de ferramentas e métodos identificados junto às indústrias de transformação do estado do Paraná.	Analisar, formular e testar hipóteses dos métodos e ferramentas aplicados nas indústrias de transformação do estado do Paraná.	Compreensão, confirmação e rejeição de hipóteses sobre aplicação destas ferramentas e metodologias pelas indústrias.	
Desenvolver a partir da análise bibliográfica e da pesquisa exploratória, um modelo de avaliação do grau de maturidade da manutenção industrial.	Propor modelo de avaliação do grau de maturidade	Modelo de avaliação do grau de maturidade proposto.	
		Pesquisa Exploratória	
		Const. Modelo	

Fonte: O autor (2019).

1.5 ESTRUTURA DESTA PESQUISA

A pesquisa está estruturada em 6 capítulos e 2 apêndice, conforme apresentado a seguir:

- Capítulo 1 – Introdução, que traz uma breve descrição do tema e seus objetivos;
- Capítulo 2 – Revisão da literatura, apresenta os principais conceitos e métodos que podem ser encontrados na literatura atual;
- Capítulo 3 – Metodologia de pesquisa, apresenta os métodos e materiais que serão utilizados para a realização do trabalho;
- Capítulo 4 – Análise de resultados; apresenta a análise de dados da pesquisa exploratória;
- Capítulo 5 – Construção do modelo de avaliação da maturidade; apresenta o modelo proposto de avaliação da maturidade e o teste do modelo;
- Capítulo 6 – Considerações finais;
- Apêndice I - proposta de questionário exploratório que irá suportar a construção do modelo de avaliação da maturidade;
- Apêndice II – *check list* do diagnóstico da maturidade;

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da bibliografia foi realizada de forma sistêmica e exploratória. O item foi estruturado de forma a contemplar uma discussão sobre a gestão da manutenção e modelos de maturidade. Inicia-se abrangendo estratégias de manutenção, tipos de atividades, planejamento e metodologias de suporte, como o Controle da Qualidade Total (TQC) e o *Total Productive Management* (TPM). Também são retratados os sistemas informatizados de gestão da manutenção como o *Maintenance 4.0* e *Maintenance Analytics*. Por fim, é realizada uma revisão acerca dos modelos de maturidade voltados a qualidade, tecnologia de informação, gestão de pessoas e gestão da manutenção, apresentando uma discussão destas ferramentas e técnicas.

2.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

A manutenção de ativos físicos é uma função da produção fundamental para as organizações alcançarem resultados estratégicos em mercados cada vez mais competitivos. Os processos de manutenção são fundamentais para que os ativos físicos garantam a alta produtividade da organização (KARDEC, 2013).

Executando atividades planejadas e não planejadas, a manutenção objetiva manter um ativo físico na condição operacional aceitável de forma a aumentar confiabilidade, segurança, disponibilidade da planta de produção e contribuir para a qualidade dos produtos (MARQUEZ, 2006). O custo crescente de fazer negócios, associado a um ambiente de negócios competitivo em rápida mudança, está forçando as organizações a considerar a adaptação de estratégias de gerenciamento de ativos, não apenas como uma medida de economia de custos, mas também para permanecerem competitivas. A implementação de um programa de manutenção eficiente e eficaz é uma maneira de alcançar essa competitividade desejada (PINTELON, 2013).

2.1.1 Evolução e conceitos da manutenção

As normas (ABNT, 1994) definem manutenção como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão,

destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. A manutenção pode incluir uma modificação do item.

Moubray (2000) afirma que o objetivo da manutenção é “assegurar que itens físicos continuem a fazer o que os utilizadores desejam que eles façam”. Determinada pela norma SAE JA1011:2009, a manutenção deve garantir que “itens físicos continuem a desempenhar suas funções planejadas”. Para Cardoso (2009), a manutenção só cumpre realmente seu papel quando se dá de maneira antecipada e consegue prever possíveis acontecimentos que, porventura, possam paralisar e acometer a produção, acarretando perda de volume, elevando custos do processo e reduzindo margens do negócio.

É importante destacar que o conceito de manutenção tem evoluído com o passar dos anos, assim como tem evoluído o que se deve entender, no âmbito organizacional, como função Manutenção, Kardec (2013) descreve esta evolução da manutenção em 5 gerações:

- 1ª Geração - Reativa, até 1950. Caracterizada pela manutenção de quebra, lubrificação e limpeza sistêmica. Indústria pouco mecanizada com equipamentos simples e robustos;
- 2ª Geração – Preventiva, de 1950 a 1970. Caracterizada pelo aumento da complexidade e mecanização, entendimento de que falhas poderiam ser evitadas, surgimento do conceito de manutenção periódica/preventiva e o início dos sistemas de Planejamento e Controle da Manutenção – PCM;
- 3ª Geração – Preditiva, de 1970 a 1990. Caracterizada pelo aumento do uso de “**técnicas modernas**” de administração da produção *just-in-time* e TPM, aumento da automação e exigências de confiabilidade, implantação de técnicas preditivas e o uso de softwares (CMMS) dedicados para PCM, surge os conceitos de confiabilidade e engenharia de manutenção e tem-se o início da terceirização de serviços;
- 4ª Geração – Digital, de 1990 a 2005. Caracterizada pela consolidação de técnicas preditivas e de inspeção, engenharia de manutenção, disponibilidade e ciclo de vida. Popularização do TQC, produção enxuta e aprimoramento dos sistemas de gestão da manutenção. A

terceirização se consolida e os CMMS passam a ser sistemas integrados - *Enterprise Resource Planning* (ERP);

- 5ª Geração – Gestão de ativos, de 2005 a 2015. Caracterizada pelo uso de técnicas preditivas e de monitoramento *online* e *off-line*. Atuação em todo o ciclo de vida, desde projeto à operação. Monitoramento de parâmetros operacionais, conexão e integração interdepartamental. Controle de custos e MPM (*Maintenance Performance Indicator*). A contratação de terceiros por resultados.

Atualmente, nota-se o surgimento de uma nova geração: a geração de manutenção na indústria 4.0.

2.1.2 Sistemas de Gestão da Manutenção

Estabelecendo metas e objetivos por meio de normas e procedimentos de trabalho, a gestão da manutenção tem por objetivo um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, sejam eles pessoais, equipamentos ou materiais.

Para Kardec (2013), a gestão moderna deve estar amparada por uma visão de futuro e orientada por processos de gestão onde a satisfação plena dos clientes seja o resultado de qualidade dos produtos e serviços.

Voltada para os resultados da organização, a gestão da manutenção é considerada estratégica, acarretando que, além de ter que garantir a disponibilidade funcional dos equipamentos e instalações de um processo ou serviço, a gestão da manutenção precisa aliar os fatores integridade, segurança, preservação ambiental e custos ponderados.

De acordo com Kardec (2013) grandes inovações no processo de gestão da manutenção se deram pela visão sistêmica de negócio, bem como a quebra de paradigmas e determinados conceitos. Diferenciando-se em suas estratégias de manutenção, aspectos operacionais e requisitos de negócios das organizações influenciam a combinação de decisões no contexto das atividades envolvidas na gestão da manutenção.

Modelos clássicos de gestão como o TQC e o TPM são utilizados como base pelas empresas para a construção de sistemas de gerenciamento da manutenção. Porém, o TQC e o TPM foram desenvolvidos e ganharam

reconhecimento em um período de início do uso das tecnologias de informação. Outro ponto de atenção é o aumento da digitalização e da conectividade que vêm por meio dos princípios da Indústria 4.0.

Para manter a competitividade é fundamental que as companhias conheçam e mantenham seus sistemas de gerenciamento atualizados, mantendo os princípios de gerenciamento do TQC e TPM atualizados com as ferramentas de digitalização e os elementos das Indústria 4.0.

Contendo um conjunto de funções classificadas e direcionadas em função das atividades estratégicas, táticas e operacionais, Marquez e Gupta (2006) propõem um modelo no qual se desdobram três pilares para dar suporte à gestão da manutenção: Pilar 1: Tecnologia da Informação; Pilar 2: Engenharia de Manutenção; Pilar 3: Gestão de Relacionamento.

Técnicas e ferramentas de apoio à gestão da manutenção como TPM, Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM), *Failure Model and Effect Analyses* (FMEA), Confiabilidade, Indicadores de Desempenho (*Overall Equipment Eficiente* - OEE, *Mean Time Between Failure* - MTBF, *Mean Time to Repair* - MTTR) e *software* (CMMS) viabilizam a melhoria dessa gestão, a fim de atingir a *World Class Maintenance* - manutenção de classe mundial. (Marquez e Gupta 2006)

2.1.3 Estratégias e tipos de manutenção

Estratégias de manutenção atualmente são utilizadas para orientar ações e atingir metas. São decorrentes do planejamento estratégico das empresas.

Garantindo a disponibilidade das funções de equipamentos e ativos, a manutenção deve assegurar que um processo de produção seja confiável, tenha segurança, respeite questões ambientais e tenha um custo adequado para a empresa. (KARDEC, 2013)

Bamber et al. (2003) explica que a manutenção não tem papel separado da produção, estando comprometida em contribuir com os lucros da organização, adequando suas decisões com seus propósitos.

Oliveira (2017), em seu trabalho de doutorado, descreve que, a manutenção se divide em três tipos de estratégia: Estratégia Reativa (CM),

estratégia proativa (PM e PdM) e estratégia agressiva (TPM). Para Bevilacqua e Braglia (2000), cada política de manutenção deve ser considerada uma estratégia distinta. A estratégia de manutenção é vinculada a um conjunto de elementos, como políticas de manutenção, equipamentos de backup e atualização de equipamentos, segundo Kevin e Penlesky (1988). Exemplos como maximização da utilização de ativos, melhoria e foco no desenvolvimento de competências essenciais são consideradas estratégias de manutenção Tsang (1998). Entregas de serviço, organização e estruturação de trabalho, metodologia de manutenção e sistemas de apoio são identificadas como dimensões estratégicas da manutenção (TSANG, 2002). Segundo Kelly (1997), a estratégia de manutenção se dá por meio do reconhecimento e alocação de recursos para execução de reparos, decisões de substituição e inspeção de equipamentos.

Desde que sua aplicação seja o resultado de uma definição de gestão ou política global de instalação, baseado em dados técnico-econômicos, os diversos tipos de manutenção podem ser considerados como políticas de manutenção.

Na tentativa de se adaptar a mudanças como competição global, altos padrões de segurança, exigências legais e normas ambientais, o gerenciamento de manutenção dá maior ênfase no desenvolvimento de conceitos de manutenção que, segundo Arts, Knapp e Mann (1998), são divididos em:

- A ocorrência de uma falha (manutenção baseada em falha ou FBM);
- O transcorrer de uma certa quantidade de tempo ou uso (manutenção baseada no uso ou UBM);
- A condição de uma unidade (manutenção baseada na condição ou CBM).

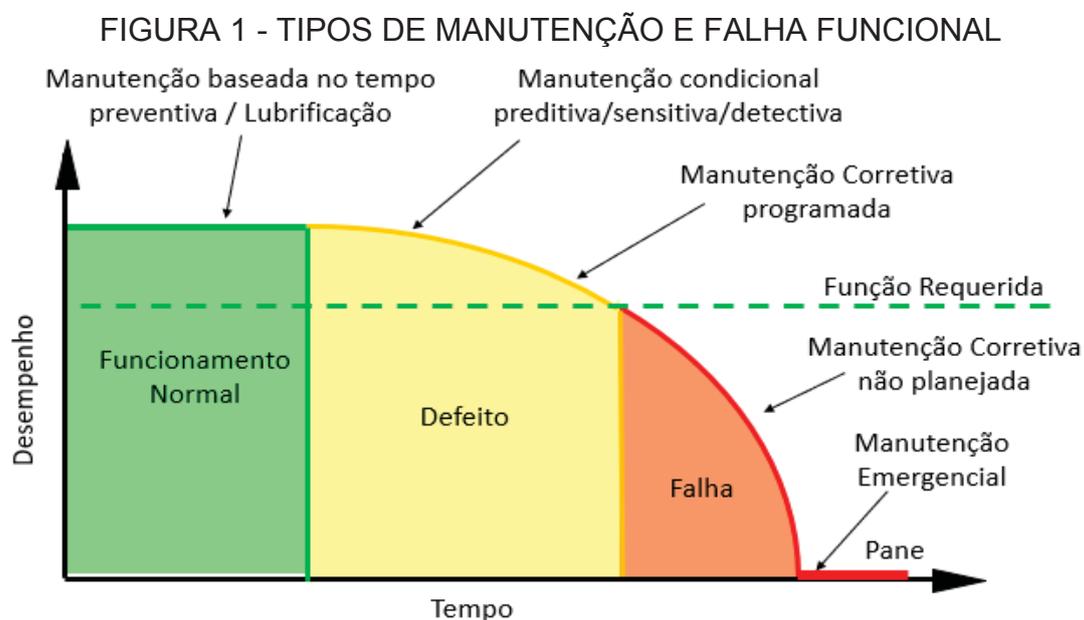
Kardec (2002) afirma que as atividades corretivas e preventivas fazem parte de qualquer unidade industrial, sendo que a evolução do processo de gestão da organização permitirá a aplicação do modelo mais conveniente, permitindo, assim, sair de um estágio predominantemente corretivo para o preventivo.

Dentre os tipos de manutenção a destacam-se:

- **Manutenção Corretiva:** A manutenção corretiva é a atuação para corrigir falhas ou baixo rendimento, e esta pode ser dividida em duas partes. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994) define como manutenção corretiva aquela efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Já pane a (ABNT, 1994) define como o Estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida;
- **Manutenção corretiva planejada:** É a correção do desempenho menor que o esperado ou de falha por decisão gerencial, ou seja, pela atuação em função do acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra (ABNT, 1994);
- **Manutenção corretiva não planejada:** É a correção da falha de maneira aleatória. (ABNT, 1994) define Manutenção não programada como aquela que não é feita de acordo com um programa pré-estabelecido, mas depois da recepção de uma informação relacionada ao estado de um item;
- **Manutenção preventiva:** Manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente desenvolvido, baseado em intervalos de tempo definidos (ABNT, 1994);
- **Manutenção preditiva:** É a atuação realizada com base em modificações de parâmetro ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. Tem a intenção de avaliar a condição de um ativo, realizando monitoramento periódico ou contínuo, por meio de controle estatístico e análise de tendência, a fim de determinar em que momento as atividades de manutenção futuras serão realizadas com custo adequado (KARDEC A. , 2013);
- **Manutenção de detecção:** Atuação efetuada em sistemas de proteção com a intenção de detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal responsável, ou seja, é uma função oculta onde a falha não será evidente, ocorrendo sob circunstâncias normais (MOUBRAY, 2000);

- **Engenharia de manutenção:** É a atuação baseada na aplicação de técnicas modernas de manutenção e a procura de *benchmarks*, com o objetivo de eliminar reparações repetidas, identificando as causas básicas. Inclui a modificação de situações permanentes de mau desempenho, a eliminação de problemas crônicos, a melhoria de padrões e sistemáticas, o desenvolvimento da manutenibilidade, dar retorno a projetos e realizar o planejamento das atividades a custos compatíveis (KARDEC, 2013).

A Figura 1 apresenta uma visão do autor para relação entre o desempenho da função e os tipos de manutenção.



Fonte: O Autor (2020).

De acordo com Siqueira (2005), a busca por maior eficiência operacional abriu muitos desafios e oportunidades, desenvolvendo e aplicando-se práticas de manutenção mais modernas. Para Kardec (2002), os problemas que fazem parte do cotidiano das equipes de manutenção são:

- Manutenção proativa insuficiente;
- Repetição de problemas de forma frequente;
- Atividades de manutenção mal planejadas ou errôneas;
- Práticas de manutenção não formalizadas ou não institucionalizadas;
- Manutenção preventiva conservativa e desnecessária;

- Falta de rastreabilidade e visibilidade do programa de manutenção;
- Introdução de novos processos e equipamentos de forma ineficiente;
- Obsolescência dos planos de manutenção;
- Variação nos processos de manutenção em diferentes plantas da empresa (mesmos processos e equipamentos envolvidos com diferentes estratégias e abordagens para a função manutenção);
- Uso ineficiente das técnicas de manutenção preditiva, podendo até mesmo citar a inexistência desta prática;
- Falta de comprometimento em médio e em longo prazo;
- Não emprego da regra de priorização 80/20.

De acordo com Cardoso (2009), os impactos acima são minimizados quando a manutenção é preventiva e a equipe de manutenção fica fora do foco das preocupações da direção da organização. Um julgamento precoce de que a manutenção tem excesso de recursos e pode ter seu orçamento reduzido é consequência disso. No entanto, isto constitui um erro estratégico para a redução de custos, pois o que realmente ocorre é a redução de práticas preventivas e preditivas, acarretando um significativo aumento de ações corretivas. Tal prática leva as empresas à ineficiência e rápida deterioração das operações, uma vez que o evento que dispara a ação ocorre sempre durante o processo de produção e sua correção implica uma parada não programada para executar o conserto, caracterizando, assim, um reparo sumário.

A necessidade vital de ações preditivas e preventivas teve seu início com a escala de volume de produção e crescente automação das atividades industriais. Neste cenário é que é possível sentir o potencial das ações de manutenção programada.

2.1.4 Sistemas informatizados de gestão da manutenção

A crescente complexidade de uma indústria e a crescente importância atribuída à gestão da manutenção exigem sistemas informatizados de gestão da manutenção cada vez mais abrangentes. A melhoria do desempenho da operação; a crescente importância dedicada a aspectos ligados à segurança e meio ambiente; a necessidade de aumento da vida útil e aumento da disponibilidade da planta e a pressão por redução de custos destaca a relevância da utilização de sistemas informatizados na manutenção,

conhecidos como sistemas de gestão da manutenção computadorizada, ou CMMS – *Computer Maintenance Management Systems*.

Sendo considerada uma solução avançada e renovadora, Souza (2007) defende a ideia de que um software resolve vários problemas e necessidades de um departamento de manutenção, proporcionando a todo momento a informação desejada, sendo do ponto de vista técnico ou gerencial.

Contando com uma grande variedade de opções no mercado, os sistemas oferecem várias alternativas, facilidades e complexidades, indo, muitas vezes, além do necessário e do que realmente é utilizado. Desta forma, paga-se por um sistema que não é utilizado em sua totalidade, sendo um ponto a ser considerado na questão de custos.

Ademais, certas estratégias adotadas pela equipe de gestão da manutenção podem tornar determinado software ineficaz uma vez que este pode estar totalmente subutilizado. Sua utilização deve ser definida na fase de planejamento das atividades do setor.

O software de manutenção é uma ferramenta fundamental para a otimização de recursos e sua utilização de um software não é apenas uma forma de usar a tecnologia, mas também essencialmente uma postura de gestão (KARDEC, 2013).

Permitindo a prevenção de custos, melhoria de serviços, garantia de disponibilidade de ativos, controle de equipes, melhoria de qualidade e, especialmente, acesso às informações para análise de forma mais rápida, a informatização da manutenção ganha um caráter mais profissional, segundo Levitt (1997).

A compreensão das atividades de manutenção permite a escolha de um sistema de gestão adequado às necessidades da organização. A informação é importante para a estratégia da gestão da manutenção e é a base para os sistemas computadorizados (FERNANDEZ, LABIB, & PETTY, 2003).

Atualmente é crescente o uso na manutenção de sistemas integrados tipo *ERP Enterprise Resource Planning* (ERP). ERP é um sistema de gestão empresarial, integrando todas as áreas da empresa, desde o administrativo, contábil financeiro, operacional até o controle do maquinário da fábrica. Estes sistemas possibilitam uma melhor forma de gerir a manutenção por meio da otimização de suas atividades (AUGELLI, 2017). Os ERPs integram a função

manutenção com as demais atividades da empresa por meio da tecnologia de informação.

2.1.5 Lean Maintenance

De acordo com Murça (2012) não é conveniente fazer uma aplicação direta do Lean aos processos de manutenção pois as características são diferentes nos processos de manutenção e produção. A produção atende a um planejamento de vendas. Para a manutenção existe um programa de manutenção a cumprir, que integra além das programação a ocorrência de paradas ou avarias não previstas.

Ainda de acordo com Murça (2012) os 8 desperícios do Lean Maintenance são:

1. **Trabalho improdutivo**, realizar toda e qualquer actividade que não acrescente valor, neste caso está-se a referir a acções de manutenção preventiva, executadas mais vezes do que o necessário.
2. **Repetição do trabalho**, ter de repetir as mesmas tarefas ou ter de executar outras, adicionalmente, devido a trabalhos mal executados inicialmente. Sempre que ocorre uma necessidade imediata e urgente, os trabalhadores dessa acção de manutenção, ficam bastante pressionados para que o equipamento seja reparado rapidamente, a fim de regressar à sua situação anterior, podendo não lhe ser dado o tempo suficiente, para que a mesma reparação seja corrigida correctamente.
3. **Tempo de espera**, tal como na produção, mas neste caso por peças, máquinas, ferramentas e trabalhadores necessárias para realizar a acção de manutenção ou o aguardar pela atribuição do serviço a executar, instruções, entre outras. Como as esperas não acrescentam valor devem ser eliminadas ou reduzidas ao mínimo.
4. **Movimentações desnecessárias**, também este desperdício existe na produção, mas na manutenção corresponde a idas à procura de ferramentas, deslocações para a obtenção de manuais técnicos, movimentações de bancadas de trabalho, ou deslocações de material para outras áreas, devido a terem sido solicitadas para diferentes acções de manutenção.
5. **Má gestão do inventário**, não ter o material adequado para as acções que estão a ser executadas. Também inclui a existência de equipamentos obsoletos e excesso de inventário (em ambos os casos significa capital investido e consumo de recursos para a sua gestão).
6. **Não aproveitamento do potencial humano**, utilizar as pessoas só pelas qualificações que têm e não as utilizar, inclusivamente, consoante as suas capacidades ou experiência.
7. **Ineficaz gestão de dados**, recolha de informação que não tem utilidade e a não obtenção de informação considerada vital. Empresas que já controlam a sua manutenção através de *computer managed maintenance system* e do qual esse

controle é ineficaz. Ineficácia essa reflectida na inexistência de uma correcta gestão dos dados, nem uma interligação com os mesmos, nas diversas fases do processo da manutenção, obrigando a serem introduzidos repetidamente esses dados, compelindo a existência e a redundância dos mesmos.

8. Má aplicação das máquinas, a operação incorrecta dos equipamentos ou estratégias deliberadas para que a manutenção seja efectuada, quando não há necessidade de a mesma ocorrer.

A participação das equipas de manutenção não se restringe a redução de desperdícios do Lean maintenance, mas sim contribui em projetos Lean da área de produção.

2.1.6 Maintenance 4.0 e Maintenance Analytics

Promovendo a conexão de itens físicos, como sensores, dispositivos e ativos corporativos tanto uns aos outros quanto à internet, a Indústria 4.0 gera uma quantidade enorme de informações coletadas, que precisam ser processadas e apresentadas de maneira rápida para acelerar os processos de produção, possibilitando uma reação imediata aos problemas e falhas. No entanto, as soluções hoje encontradas não fornecem informações certas às respectivas pessoas, no momento e local adequados, acarretando uma manutenção insuficiente, a qual afeta o desempenho do processo e a qualidade do produto acabado.(FUENTES 2006)

Um sistema de fabricação pode ser definido como uma combinação de homens, máquinas e equipamentos que estão ligados por um fluxo de elementos (Cabral, 2006) e também de informações em comum (CHRYSSOLOURIS, 2006). Na Indústria 4.0, máquinas, peças, sistemas e seres humanos estarão altamente conectados e altamente integrados (MONOSTORI, 2014). O conhecimento do cenário pode ser usado para que a visibilidade das operações e seu desempenho sejam aumentadas. O objetivo é permitir que o pessoal do chão de fábrica e do escritório tomem decisões com base em um entendimento sistemático derivado do contexto de tempo real de uma fábrica, em vez de uma decisão baseada em uma visão fragmentada do sistema.

Anteriormente havia um conceito de produtividade, o qual pregava “fazer mais, com menos”, onde se visava realizar cada vez mais atividades de

manutenção com menos recursos. Hoje um novo conceito é pregado: “Fazer menos com menos”, ou seja, realizar cada vez mais um número menor de atividades de manutenção, com recursos cada vez mais otimizados. A manutenção deve se adequar a este novo conceito, caso tenha interesse em se manter um setor competitivo, estratégico e alinhado com os objetivos globais. (Fusko, 2018).

Com a informatização de máquinas e processos, novos softwares foram introduzidos, automatizando algumas ações e evitando falhas humanas na gestão da manutenção. Dentre mudanças e melhorias que chegaram à gestão da manutenção, pode-se citar como exemplo: total previsão de falhas (rastreadibilidade, Internet das coisas, nuvem de dados), aumento de produtividade da manutenção (realidade aumentada, robô colaborativo), redução de custos (eliminação de estoques, simulação e redução do quadro de funcionários) e desenvolvimento técnico da equipe. (MONOSTORI, 2014).

A nova dinâmica do cenário organizacional acarreta novas demandas nos processos de tomadas de decisões, os quais necessitam ser capazes de fornecer informações em tempo real. Empresas estão sobrecarregadas com o gerenciamento de dados. Witten, Frank e Hall (2011) afirmam que existe uma lacuna crescente entre geração e compreensão de dados. Pode-se considerar também que a tomada de decisões está mais difícil e mais incerta, gerando maior pressão, necessidade de mudanças rápidas e padrões elevados.

Recentes avanços tecnológicos e novas metodologias estão mudando a percepção das indústrias e a manutenção como parte delas precisa estar adaptada a esta nova realidade. Com a digitalização, há um enorme banco de dados à disposição, sejam eles ligados à operação, à manutenção ou a processos de negócio. Contudo, ter informações precisas e saber o que fazer com elas ainda é um desafio, sendo necessário entender os padrões e as relações entre os dados gerados.

A Indústria 4.0 está apoiada em nove tecnologias, conforme representa a figura 2.

O Boston Consulting Group (BCG, 2018) descreve estas tecnologias, como segue:

BIG DATA E ANALYTICS: Em um contexto de 4.0 da indústria, a coleta e a avaliação abrangente de dados de muitas fontes diferentes equipamentos e sistemas de produção, bem como sistemas de gerenciamento corporativo e de clientes se tornarão padrão para apoiar a tomada de decisões em tempo real.

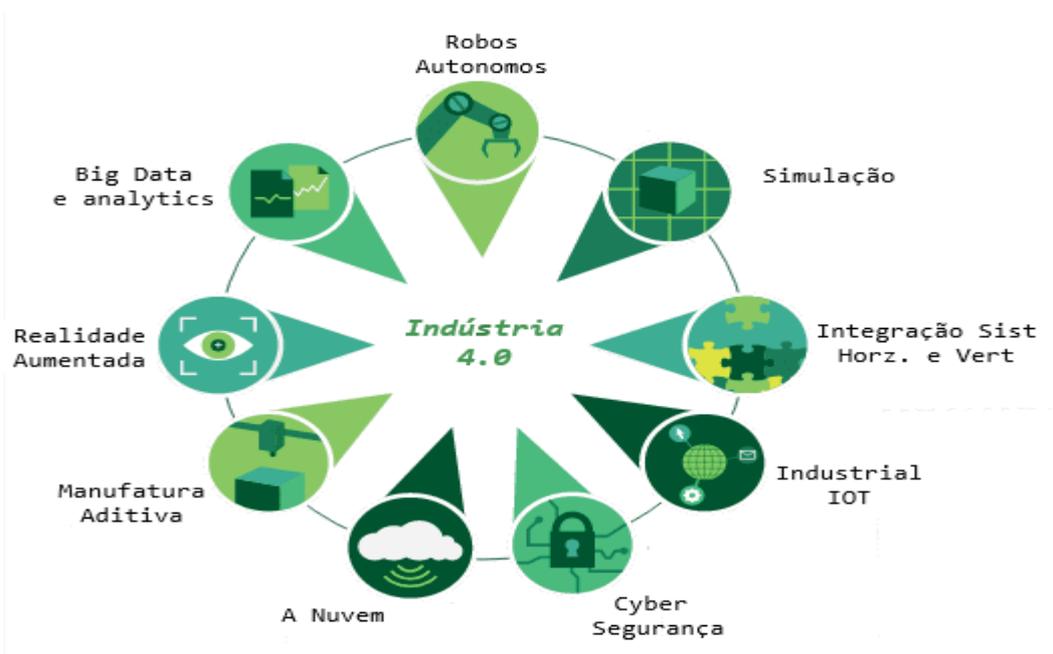
ROBÔS AUTÔNOMOS: Robôs acabarão por interagir uns com os outros e trabalhar com segurança lado a lado com os seres humanos e aprender com eles. Estes robôs vão custar menos e ter uma maior gama de capacidades do que aqueles usados na fabricação de hoje.

SIMULAÇÃO As simulações serão usadas mais extensivamente em operações de fábrica para alavancar dados em tempo real e espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e seres humanos. Isso permitirá que os operadores testem e otimizem as configurações da máquina para o próximo produto em linha no mundo virtual antes da comutação física, conduzindo assim os tempos de configuração da máquina e aumentando a qualidade.

INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL DO SISTEMA Com a indústria 4.0, as empresas, departamentos, funções e capacidades se tornarão muito mais coesas, já que as redes de integração de dados universais evoluem e possibilitam cadeias de valor verdadeiramente automatizadas.

A INTERNET INDUSTRIAL DAS COISAS: A indústria 4.0 significa que mais dispositivos às vezes incluindo produtos inacabados serão enriquecidos com computação incorporada. Isso permitirá que os dispositivos de campo para se comunicar e interagir com um outro e com controladores mais centralizados, conforme necessário. Também descentralizará a análise e a tomada de decisões, possibilitando respostas em tempo real.

FIGURA 2 - TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0



Fonte: BCG (2018).

SEGURANÇA CIBERNÉTICA Com a maior conectividade e uso de protocolos de comunicação padrão que vêm com a indústria 4.0, a necessidade de proteger os sistemas industriais críticos e linhas de fabricação de ameaças de cibersegurança aumenta drasticamente.

Como resultado, comunicações seguras e confiáveis, bem como a gestão sofisticada de identidades e acessos de máquinas e usuários são essenciais.

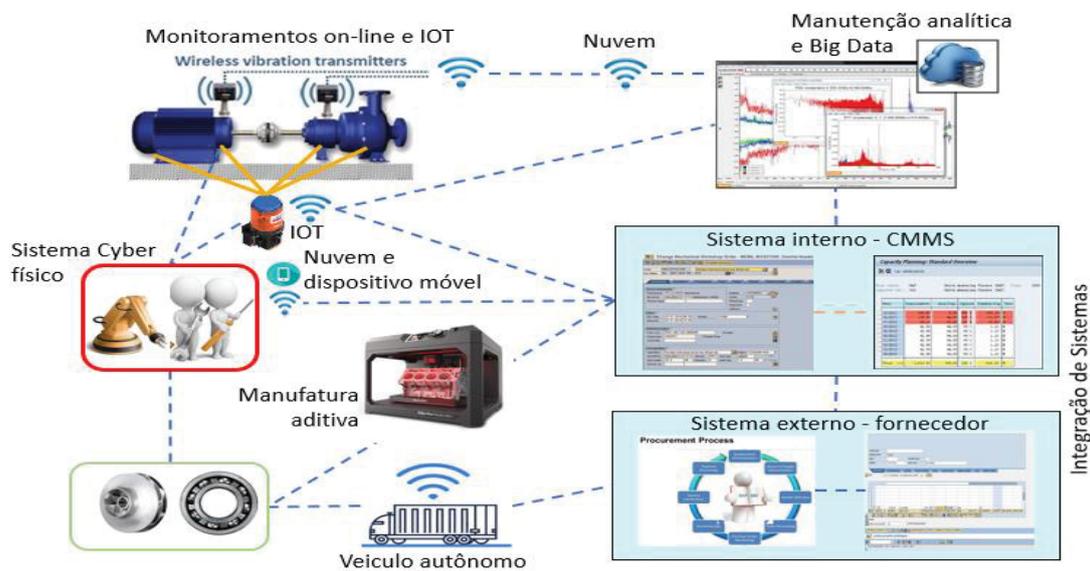
CLOUD COMPUTING Mais empresas relacionadas com a produção exigirão um maior compartilhamento de dados entre sites e limites da empresa. Ao mesmo tempo, o desempenho das tecnologias de nuvem melhorará, atingindo tempos de reação de apenas vários milissegundos. Como resultado, os dados e a funcionalidade da máquina serão cada vez mais implantados na nuvem, permitindo mais serviços orientados por dados para sistemas de produção.

MANUFATURA ADITIVA As empresas acabaram de começar a adotar a manufatura aditiva, como a impressão 3D, que eles usam principalmente para prototipagem e produção de componentes individuais. Com a indústria 4.0, estes métodos de *Additive-Manufacturing* serão amplamente utilizados para produzir lotes pequenos dos produtos personalizados que oferecem vantagens da construção, tais como projetos complexos, de pouco peso.

REALIDADE AUMENTADA Os sistemas baseados em realidade aumentada suportam uma variedade de serviços, como a seleção de peças em um armazém e o envio de instruções de reparo em dispositivos móveis. Estes sistemas estão atualmente em sua infância, mas no futuro, as empresas vão fazer muito uso da realidade aumentada para fornecer aos trabalhadores informações em tempo real, para melhorar a tomada de decisões e fornecer procedimentos de trabalho (BCG, 2018, s/p.).

Trazendo as tecnologias da indústria 4.0 para o universo da manutenção, o autor apresenta na figura 3, um ensaio da visão esquematizada das tecnologias da manutenção 4.0.

FIGURA 3 - ENSAIO SOBRE AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS À MANUTENÇÃO



Fonte: O autor (2019).

Na figura 3, as linhas azuis representam as conexões entre os elementos do sistema e demonstra equipamentos ligados à industrial *Internet Of Things*. Sensores monitoram os equipamentos em tempo real e transmitem

parâmetros de operação em nuvem para um software de análise preditiva ou *Big Data*. As informações resultantes da análise são enviadas a um sistema integrado que gera ordens de manutenção ou até envia sinais para sistemas *Cyber Físicos* que efetuam ajustes no equipamento. Os sistemas de gestão informatizado de manutenção (CMMS) estão interligados ao sistema de fornecedores que enviam antecipadamente *spare parts* diretamente para os mantenedores com veículos autônomos. A ordem de manutenção chega para os mantenedores através de dispositivo móvel. Estes mantenedores com o auxílio de robôs colaborativos ou autônomo executam as manutenções programadas. Os dispositivos móveis também trazem todas as informações necessárias para execução e registro da execução. Impressora 3D e a manufatura aditiva produzem *spare parts* personalizadas quando técnica e economicamente viável. Por fim o CMMS fornece indicadores e informações para a gestão de manutenção.

De acordo com Ramin Karin (2016), para suportar a execução da manutenção e as novas tecnologias advindas da indústria 4.0. surge um novo conceito chamado de *Maintenance Analytics* (MA), o qual aborda a compreensão e a comunicação de dados da área de manutenção a partir de quatro perspectivas relacionadas ao tempo:

1. “Análise Descritiva de Manutenção (monitoramento)” se concentra para descobrir e descrever o que aconteceu no passado;
2. “*Maintenance Diagnostic Analytics*” com foco em entender por que algo aconteceu;
3. “Manutenção de Análise Preditiva” visa estimar o que acontecerá no futuro; e
4. “Manutenção de análise prescritiva”, que aborda o que precisa ser feito a seguir.

2.2 METODOLOGIAS APLICADAS NA MANUTENÇÃO

Hoje em dia é possível encontrar diversas ferramentas disponíveis, as quais contêm a palavra manutenção, valendo ressaltar que não se tratam de novos tipos de manutenção, mas sim de ferramentas que permitem a aplicação dos tipos principais de manutenção, conforme afirma Kardec (2013). Dentre essas metodologias, destacam-se:

- Manutenção Produtiva Total (TPM) ou *Total Productive Maintenance*.
- Manutenção Baseada na Confiabilidade (RBM) ou *Reliability Based Maintenance*.
- Manutenção Baseada na Condição (CBM) ou *Condition Based Maintenance*.
- Engenharia de Manutenção.
- Lean Maintenance.

Essas ferramentas estruturadas auxiliam no estabelecimento da melhor estratégia de manutenção de determinado sistema ou equipamento, garantindo confiabilidade, segurança e redução de custos, as quais serão descritas nas seções seguintes.

2.2.1 Manutenção Produtiva Total - TPM

Nakajima (1988) define os três principais conceitos sobre TPM:

- Melhorar o equipamento para que atinja o mais alto nível de desempenho, resultando na maximização do rendimento do equipamento (zero perdas);
- Obter o melhor nível de manutenção do equipamento por meio da aplicação da manutenção autônoma;
- Pesquisar novos equipamentos com um alto nível de desempenho e baixo custo por meio de pequenos grupos.

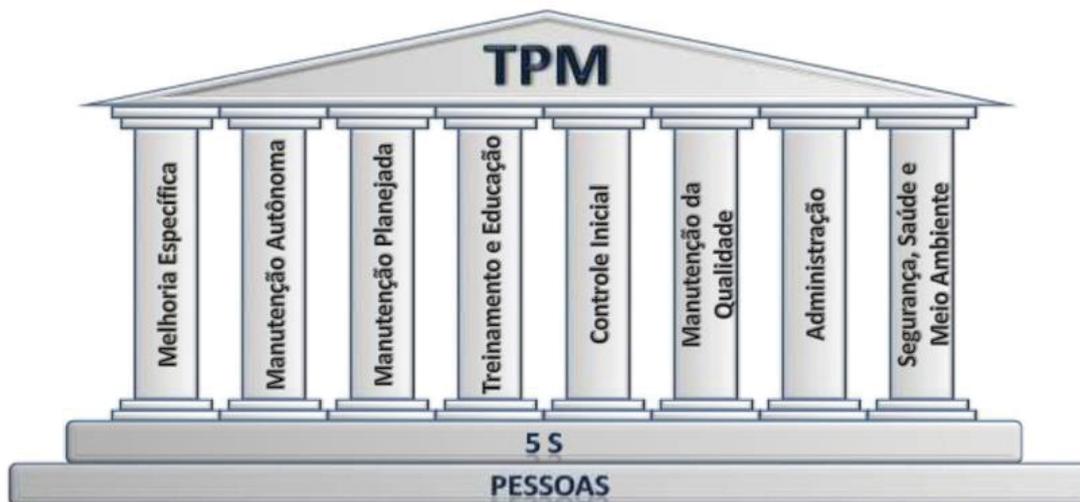
O TPM tem como base, segundo Nakajima (1988) e Labib (1999), o indicador chamado de *Overall Effectiveness Equipment* (OEE) ou Rendimento Global do Equipamento, sendo este produto de três medidas: disponibilidade, eficiência e qualidade.

O TPM contempla pilares base para seu funcionamento adequado e críticos para seu sucesso. Sharma, Kumar e Kumar (2006) relatam que diferentes pesquisadores têm apresentado diferentes pilares, mas o modelo mais aceito é o modelo de oito pilares (NAKAJIMA, 1988) são eles: foco nas melhorias, manutenção autônoma, planejamento da manutenção do equipamento na fase inicial do projeto, manutenção planejada, educação e

treinamento, qualidade de manutenção, Administração ou *TPM office* e segurança e meio ambiente (KARDEC, 2013).

Estes 8 pilares são representado por Kardec (2013) na figura 4.

FIGURA 4 - PILARES DO TPM



Fonte: Kardec (2013). - *Manutenção: Função Estratégica

O conceito básico da TPM é a reformulação e a melhoria da estrutura empresarial a partir da reestruturação e melhoria das pessoas e dos equipamentos, com envolvimento de todos os níveis hierárquicos e a mudança da postura organizacional. Em relação aos equipamentos, significa promover a revolução junto à linha de produção, por meio da incorporação da “Quebra Zero” e “Acidente Zero”.

2.2.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade

Definida pela norma SAE JA1011:2009, a manutenção centrada na confiabilidade foi inicialmente desenvolvida pelo segmento comercial da aviação, a fim de aprimorar a segurança e a confiabilidade dos aviões.

Combinando basicamente várias técnicas e ferramentas para a gestão da manutenção como as árvores de decisão e a análise de modo de falhas e efeito, a Manutenção Centrada em Confiabilidade apoia efetiva e eficientemente a tomada de decisões da manutenção.

Pereira (2009) salienta que é uma metodologia utilizada para que qualquer componente de um ativo ou sistema operacional mantenha as suas

funções, sua condição de uso com segurança, qualidade, economia e, ainda, que o seu desempenho não degrade o meio ambiente.

Para Moubray (2000), o RCM é definido como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuem realizando as funções especificadas.

Segundo Levitt (1997), um dos melhores modelos para a melhoria continua é a aplicação de técnicas usadas na RCM, uma vez que é um potencial meio de melhorar a manutenção porque é direcionada para a necessidade do cliente.

A manutenção Centrada em Confiabilidade é baseada na suposição de que a confiabilidade inerente de um equipamento é uma função da qualidade do projeto e da construção. Um programa de manutenção preventiva assegura a realização dessa confiabilidade, mas não a incrementa. O incremento da confiabilidade só é possível por meio de reprojeto ou modificações do equipamento (FUENTES, 2006).

Segundo Zaions (2003), a implementação da RMC assegura o aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos itens físicos, além de aumentar a segurança operacional e ambiental, a produtividade e a redução de custos de uma organização

Souza (2008) afirma que a ideia principal da RCM é apresentada enfocando os seus quatro elementos que a caracterizam da pratica tradicional, sendo eles: 1. Preservação da função manutenção; 2. Identificação das falhas funcionais e dos modos de falha dominante; 3. Priorização das falhas funcionais de acordo com as suas consequências; e 4. Seleção das atividades de manutenção aplicada e de custo-eficiente favoráveis por meio de um diagrama de decisão.

Ainda segundo Souza (2008), confrontando o planejamento tradicional, o paradigma principal da RCM é a preservação da função do sistema sendo que a análise da RCM basicamente fornece respostas às seguintes perguntas:

1. Quais são as funções e os níveis normais de eficiência dos equipamentos em seu atual contexto operacional?
2. Qual é o estágio da falha para haver perda da sua função?
3. Qual é a causa de cada falha funcional?
4. O que sucede quando cada falha ocorrer?

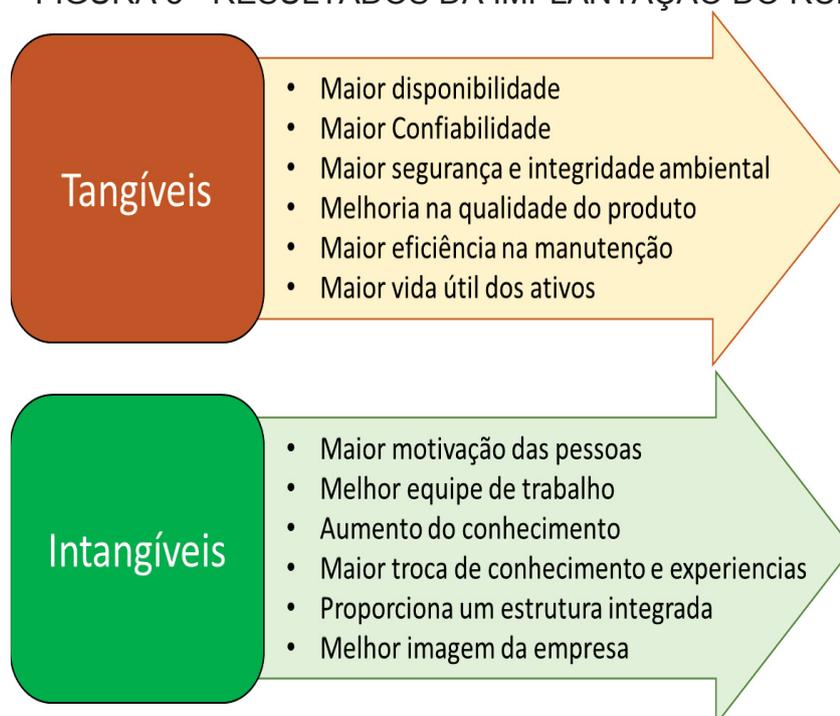
5. De que forma cada falha se manifesta?
6. O que se pode fazer para prevenir cada falha
7. O que se deveria fazer se uma tarefa preventiva adequada não pode ser executada?

Assim sendo, a RCM tem grande parte de seus esforços concentrados em responder a estas perguntas, especialmente no que diz respeito à definição das funções e de seus níveis de referência.

Moubray (2000) afirma que a RCM leva a uma compreensão mais precisa das funções dos ativos, os quais devem ser revistos de um ponto de vista científico a fim de identificar o que deve ser feito para darem continuidade ao atendimento de suas funções pretendidas. Ainda segundo o autor, se as decisões tomadas forem baseadas em dados incompletos ou inexistentes, a análise será imperfeita.

Estabelecendo uma implementação bem sucedida da manutenção centrada na confiabilidade, teremos uma redução efetiva de custos, aumento da disponibilidade de equipamentos e sistemas e uma melhor compreensão dos riscos, conforme afirma (PINTO, 2013). Podemos resumir os resultados da implementação da RCM em duas categorias (MOUBRAY, 2000), conforme a figura 5.

FIGURA 5 - RESULTADOS DA IMPLANTAÇÃO DO RCM



Fonte: Adaptado de Moubray (2000).

Para Oliveira (2017), o sucesso da implantação do RCM depende da experiência prática e fundamentação teórica dos processos, além da adequação dos meios organizacionais e do planejamento utilizado. Como se trata de uma metodologia estruturada, é exigido um nível compatível da organização dos processos administrativos e de suporte, em especial na aplicação a sistemas industriais complexos, uma vez que, sem estes, os resultados esperados estarão comprometidos.

2.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS À MANUTENÇÃO

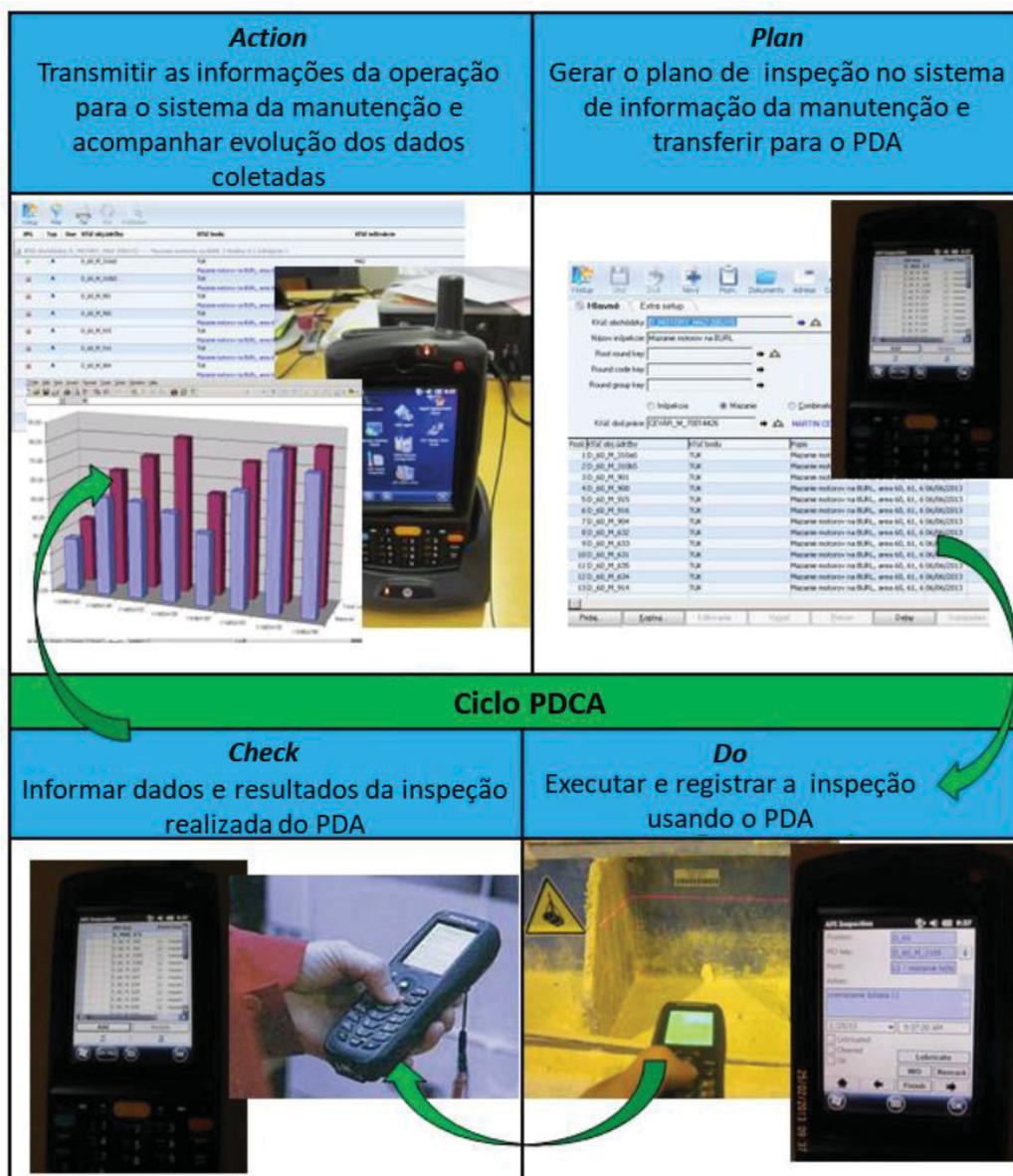
Ferramentas de qualidade podem ser aplicadas nas rotinas de execução e gestão da manutenção indicando um estágio possível de maturidade em manutenção. A seguir, descreve-se ferramentas da qualidade utilizadas na manutenção

2.3.1 Ciclo PDCA e SDCA

Kardec (2013) ressalta que, mesmo em países de primeiro mundo, a manutenção tem utilizado de forma errônea o ciclo PDCA, sendo o grande erro fazer o giro apenas em torno do “Do”, ou seja, procuram executar melhor o reparo, tornando-o mais eficiente, porém, é preciso buscar soluções definitivas e não conviver com problemas repetitivos. A manutenção deve buscar sempre evitar a falha, e não corrigi-la cada vez melhor.

Fusko (2018) apresenta na figura 6 um exemplo do uso do PDCA nos processos de manutenção em um ambiente de indústria 4.0.

FIGURA 6 - FASES DO CICLO PDCA EM AMBIENTE DE INDÚSTRIA 4.0



FONTE: Fusko (2018).

A figura 6 apresenta a realização da manutenção e seguindo o ciclo do PDCA. Neste ciclo o planejamento é representado pelo plano de manutenção que gera ordens por um CMMS. A execução da ordens é suportada pela utilização de dispositivos móveis que permite o registro on-line dos parametros de desempenho do equipamento. Após a execução o dispositivo possibilita o check do resultado encontrado com os parametros esperados do equipamento. Por fim, em caso de desvio, uma ação corretiva é definida.

2.3.2 Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA)

Sendo uma técnica que oferece três funções distintas, o FMEA é utilizado como prognóstico de problemas, um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos e serviços, novos ou revistos e um diário do projeto, processo ou serviço (PALADY, 1997). Relativo ao prognóstico, o FMEA é eficiente para prevenção de problemas e identificação das soluções mais eficazes em termos de custos. Como procedimento de desenvolvimento de projetos, propõe uma abordagem estruturada para avaliação, condução e atualização de projetos e processos nas mais diferentes áreas da organização. Já como diário, tem-se início na concepção do projeto, processo ou serviço, e mantém-se ao longo da vida de mercado do produto.

Conforme Kardec (2013) relata, o FMEA é uma técnica utilizada na identificação dos modos de falha de um sistema, produto ou processo para fornecer orientações para eliminação ou redução do risco relativo a estas falhas, por meio de uma abordagem indutiva e estruturada para identificar falhas e riscos associados a elas, bem como um auxílio para definir prioridades referentes às ações a ser tomadas posteriormente.

Para Lafraia (2001), o FMEA identifica testes necessários e meios requeridos para identificar um projeto, bem como avalia ou certifica mudanças em projetos, processos ou materiais.

A seguir são descritos os conceitos relativos à utilização desta metodologia, tais como função, modo de falha, causa da falha, efeito da falha, severidade, ocorrência e detecção da falha:

- **Função:** o que o utilizador deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de desempenho especificado;
- **Falha:** é a impossibilidade de um sistema ou componente cumprir com a sua função no nível especificado ou requerido;
- **Modo de falha:** é a descrição da maneira pela qual um item falha em cumprir com a sua função. Compreende os eventos que levam a uma diminuição parcial ou total da função do item e de suas metas de desempenho;

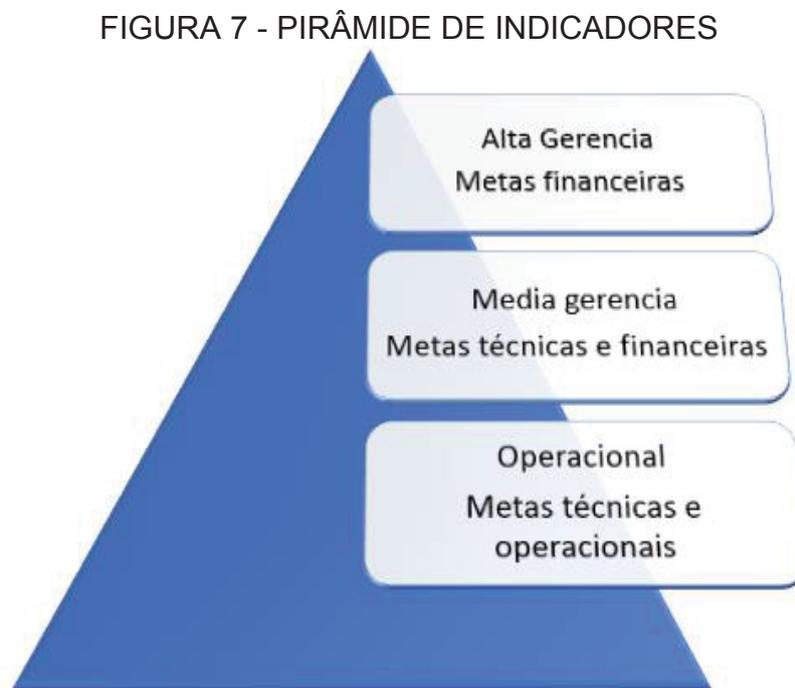
- **Causa básica:** é o processo químico ou físico, defeito de projeto, defeito de qualidade, uso indevido ou outro processo que seja a razão básica para a falha ou que inicie o processo físico que preceda a falha. Indica a razão do modo de falha ter acontecido;
- **Efeito da falha:** é a consequência que o modo de falha tem sobre a operação, função ou estado de um item, podendo ser classificado como local, sobre o nível superior ou sobre o sistema total e deve ser descrito como se nenhuma medida de manutenção/projeto fosse feita para prevenir a falha;
- **Severidade:** é a classificação associada ao efeito para um dado modo de falha. A redução do índice de classificação da severidade somente pode ser realizada por meio de uma alteração do projeto;
- **Ocorrência:** é a probabilidade de um mecanismo/causa específico que irá ocorrer durante a vida do projeto. A única forma de reduzir efetivamente o índice de ocorrência é prevenindo ou controlando as causas/mecanismos do modo de falha, por meio de uma alteração no projeto ou no processo;
- **Detecção:** é a classificação associada à facilidade de detecção do modo de falha. Para alcançar um índice menor, geralmente o planejamento do controle de projeto tem de ser melhorado;
- **Número de Prioridade de Risco (NPR):** é o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D);
- **Criticidade:** a norma americana MIL-STD-882D introduz o conceito de criticidade resultante da incorporação da severidade de uma falha com a probabilidade de ela ocorrer.

O RCM, metodologia de suporte ao planejamento da manutenção, utiliza o FMEA em sua fase inicial de análise.

2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO NA MANUTENÇÃO

Vicente Falconi (2004), em seu livro gerenciamento pelas diretrizes, sugere que os indicadores base a definição de políticas, diretrizes e metas são diferentes para cada nível da organização. Desta forma, a visão dos

indicadores para a alta administração é predominantemente ligado a metas financeiras; já em níveis mais baixos estes indicadores tendem a ser mais operacionais. A figura 7 representa esta hierarquia de indicadores.



Fonte: Adaptado de Falconi (2004). (FALCONI, 2004)

Seguindo esta lógica nos processos de manutenção, a alta administração tende a trabalhar mais com indicadores de custos de manutenção, a média gerencia atua sobre sobre indicadores de performance dos sistemas produtivos e disponibilidade. Já os níveis operacionais estão mais ligados ao equipamento e à execução de ordens de manutenção.

2.4.1 VDM - *Value Driven Maintenance*

A Manutenção Orientada por Valor (VDM – *Value Driven Maintenance*) é uma nova metodologia de gestão da manutenção baseada em quatro fatores (utilização de ativos, alocação de recursos, controle de custos e saúde, segurança e meio ambiente) onde, por meio da fórmula de Valor Presente Líquido (VPL), calculamos os custos das estratégias e investimentos da manutenção. Para termos uma estimativa do VPL, é necessário um sistema de medição de desempenho da manutenção, na intenção de armazenar informações sobre os quatro fatores. A confiabilidade dos ativos necessita ser

acessada em ordem para também termos uma estimativa do VPL (HAARMAN; DELAHAY, 2012).

No livro VDM – *Value Driven Maintenance new faith in maintenance*, Haarman e Delahay recomendam 10 indicadores para cálculo do valor da manutenção. O quadro 4 apresenta estes indicadores.

QUADRO 4 - INDICADORES CÁLCULO DO VDM

KPI	Definição
Custo de manutenção / valor de reposição do ativo	Custo total de manutenção dividido pelo valor de reposição do ativo
Disponibilidade técnica	Tempo total disponível para a produção, menos o tempo de parada dividido pelo tempo total disponível
Fator SHE	Grau de cumprimento de exigências das leis e regulamentações SHE
Custo da manutenção preventiva / custo total da manutenção	Custo da manutenção preventiva (materiais, mão de obra e serviços) dividido pelo custo total da manutenção
Ordens de manutenção concluídas no prazo	Número de ordens de manutenção concluídas dividido pelo total de ordens de manutenção geradas
Produtividade dos técnicos de manutenção	Número total de horas trabalhadas dividido pelo total de horas disponíveis da equipe
Valor do estoque de spare parts / valor de reposição do ativo	Valor da peças em estoque dividido pelo custo de reposição do ativo
Custo da manutenção terceirizada / custo total da manutenção	Custo da manutenção terceirizada dividido pelo custo total da manutenção
Custo de treinamentos / custo total do trabalho	Custo total das horas em treinamento dividido pelo custo total da força de trabalho da manutenção
Disponibilidade técnica de documentos	Número de documentos técnicos disponíveis dividido pelo número total de documentos técnicos necessários

Fonte: Adaptado de Haarman e Delahay (2012).

Para Stenström (2013), qualquer entrada de processo que reduza sua saída (capacidade, qualidade, pontualidade etc.) é considerado um elemento que reduz o desempenho (mais intangível, pois não afeta diretamente os custos) ou um elemento que afeta ou gera custos (tangível). Ainda para Stenström (2013) os principais indicadores medem as entradas do processo, mas eles, juntamente aos sistemas de medição, também podem conter redutores de desempenho, uma vez que são entradas para auxiliar a condução do processo.

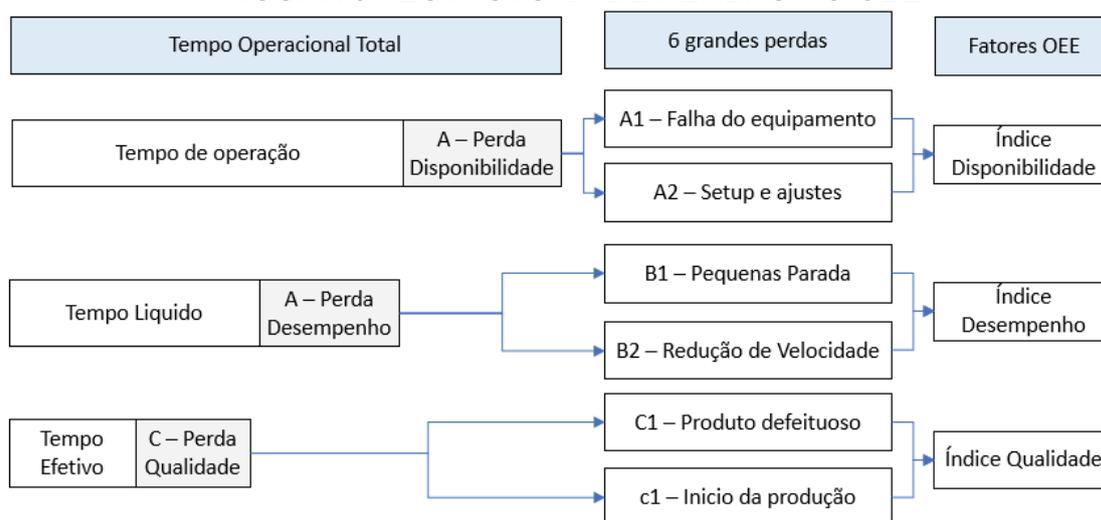
O VDM utiliza a fórmula do VPL para estimar o valor monetário dos investimentos em manutenção, que exige a avaliação da confiabilidade dos ativos de engenharia em questão. Saber o que medir e analisar é um fator chave, já que grandes custos e economias igualmente grandes estão relacionadas à atividade.

2.4.2 OEE – Overall Equipment Effectiveness

No contexto da implementação do TPM, o qual é baseado na maximização da eficiência do equipamento, manutenção autônoma realizada por operadores e organização de pequenos grupos de melhoria ou Kaizen, o OEE (Desempenho Global do Equipamento) tem sido amplamente utilizado como indicador na manufatura, em que a análise estruturada de perdas e o aproveitamento da capacidade produtiva, ajuda a direcionar esforços de melhoria contínua com grupos de trabalho, bem como avaliar o progresso de implementação do TPM na organização (BUSSOL; MIYAKELL, 2012).

A OEE apresenta 3 classes de perdas. São elas: perdas de disponibilidade, perdas de desempenho e perdas de qualidade. Estas classes permitem a identificação de 6 tipos básicos de perdas. A figura 8 apresenta as 3 classes e as 6 perdas associadas.

FIGURA 8 - ESTRUTURA DE PERDAS NO OEE



Fonte: Adaptado de Nachiappan e Anantharaman (2006) e Braglia et al. (2009).

Além dos esforços necessários das áreas de manutenção e produção, áreas como engenharia e qualidade também devem colaborar no desenvolvimento de esforços no âmbito da melhoria contínua, a fim de reduzir

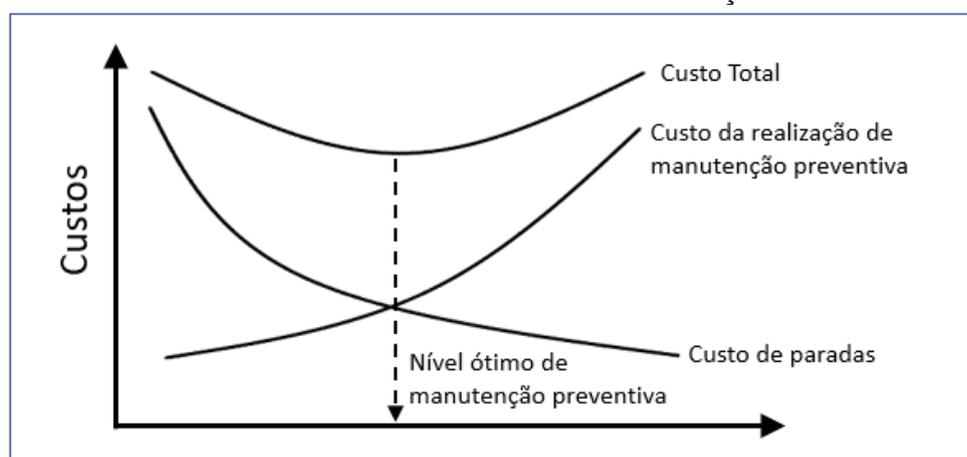
ou eliminar as perdas identificadas pelo indicador OEE. De acordo com Seleme (2015), como existe uma relação de causa e efeito, ferramentas como o gráfico de Pareto e o diagrama de causa e efeito, permitem subsidiar o processo de identificação de perdas. Este processo ordenado de buscar as causas e determinar ações para sua eliminação é denominado de análise de causa raiz ou RCA (*Root Cause Analysis*) (Kardec, 2013)

2.4.3 Hierarquia de indicadores da manutenção

De acordo com a pirâmide de indicadores, apresentada anteriormente na figura 7, os indicadores de manutenção variam de acordo com a nível hierárquico da organização. Níveis mais altos tendem a ter indicadores financeiros, já os mais baixos tendem a utilizarem os indicadores operacionais.

Indicadores financeiros estão sempre relacionados aos custos de manutenção. Segundo Pintelon, Pinjala e Vereecke (2006), o custo das atividades de manutenção pode variar de 15% a 70% dos custos totais de produção nos Estados Unidos. Os custos das atividades de manutenção representam, em média, 28% do custo total de produtos acabados (PINTELON; PINJALA; VEREECKE, 2006) e junto aos custos de pessoal e energia formam a grande maioria dos custos operacionais das organizações. Num primeiro momento é possível imaginar que, quanto maior o gasto com manutenção, garantiria-se melhor desempenho dos equipamentos, mas “Mais manutenção não significa melhor manutenção” (KARDEC, 2013). A figura 9 apresenta o ponto ótimo do custo de manutenção.

FIGURA 9 - CUSTOS ASSOCIADOS À MANUTENÇÃO PREVENTIVA



FONTE: Seleme (2015).

Os indicadores de custo estão sempre limitados pelo orçamento anual da manutenção. Um método comum para a construção do Orçamento Anual da Manutenção (OAM) é o *Zero Based Budgeting* (ZBB). Introduzido pela primeira vez ao público em um artigo de 1970 de Peter A. Pyhrr na Harvard Business Review. Desde seu surgimento, a metodologia do ZBB vem evoluindo e, nos dias de hoje, é considerado um processo repetitivo para rever rigorosamente o orçamento anual, gerenciar o desempenho financeiro mensalmente e construir uma cultura de gerenciamento de custos. Ou seja, o ZBB não pode ser considerado somente uma metodologia orçamentária, mas sim uma forma introduzir nas empresas um princípio de controle de custos.

De acordo com Hawke (2015), 5 fatores são fundamentais para o sucesso do ZBB:

- *Drivers* de custo e responsabilidades: Os *drivers* de custo devem ser agrupados e ter um gerente responsável.
- Dupla governança sobre os custos: Uma pessoa é responsável pelo pacote de gastos e outra pelo centro de custo. Esta governança deve ser expressa por uma matriz de custos.
- Processos rigorosos de planejamento e monitoramento: além da definição do orçamento, metas de custo devem ser definidas para os executivos.
- Incentivos alinhados: Métricas claras para medir o desempenho de custos.
- Mudança de Mentalidade: Mudança de mind-set das equipes gerenciais com objetivo da busca de oportunidade de redução de custos.

A aplicação do ZBB para definição do orçamentos anual requer a difinição dos indicadores de performance em custo da manutenção que definirão os *drives* de custo. Qualquer variável que contabilmente afeta os custos de manutenção, independente destes ocorrerem de forma planejada ou não, compõem o drive de Custos de Manutenção.

O artigo “ *Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review* dos autores Uday Kumar, Diego Galar, Aditya Parida and Christer Stenstro apresenta 3 indicadores de custos de manutenção. São eles:

- Custo de manutenção em relação ao valor de reposição
- Custo de manutenção sobre a receita de vendas
- Custo de manutenção por unidade de produto

Benchmarks dos *drives* de custos de manutenção devem ser desenvolvidos para fornecer uma base de comparação e definição das melhores performances. Eles podem ser internos, usados para comparar unidades da mesma planta para uma melhoria, ou externos, usados para comparar a empresa com outras organizações. *Drives* e *benchmarks* podem ser utilizados como referências para a criação de um orçamento anual de manutenção de acordo com os princípios da ZBB.

A média gerencia tem atuação significativa em indicadores de capacidade produtiva e eficiência de equipamentos OEE.

Como indicadores de níveis operacionais podemos destacar dados de dos equipamentos. Os tempos de parada são divididos em outros, dentre eles o tempo de espera da manutenção dos parâmetros ou MWT (*Maintenance waiting time*), o que tem um papel importante na determinação dos parâmetros de confiabilidade e de manutenibilidade (YANG et al., 2010). A figura 9 apresenta uma proposto do autor para a hierarquia de indicadores.

2.5. MODELOS DE MATURIDADE

Modelos de avaliação da maturidade tem sido utilizados em vários segmentos do conhecimento e suas conclusões contribuem significativamente para aprimorar o resultados nas organizações (WENDLER, 2012). A teoria da maturidade de Argyris para o comportamento humano serve como referência na construção desse modelo. A seguir serão apresentadas a aplicação de modelos de avaliação de maturidade nos segmentos da qualidade, da tecnologia da informação, da gestão de pessoas e da manutenção.

2.5.1 Modelos de maturidade para a qualidade

Baseado em cinco níveis incrementais de maturidade, Crosby (1979) estruturou um **modelo voltado para a gestão da qualidade** nas empresas, chamado de *Quality Management Grid*. Seguindo tal modelo, os níveis de

maturidade distribuídos em estágios são: Incerteza, Despertar, Esclarecimento, Sabedoria e Certeza. Para essas classificações, foram atribuídas categorias de medida, que são: compreensão e atitude da gestão, estado de qualidade da organização, resolução de problemas, custo de qualidade como porcentagem das vendas, ações de melhoria da qualidade e resumo da postura da empresa em relação à qualidade. A quadro 5 apresenta a matriz de maturidade de Crosby:

QUADRO 5 - MATRIZ DE MATURIDADE DA GESTÃO DE QUALIDADE

Categoria de Medição	Estágio I: Incerteza	Estágio II: Despertar	Estágio III: Esclarecimento	Estágio IV: Sabedoria	Estágio V: Certeza
Compreensão e Atitude da Gestão	A qualidade não é compreendida como uma ferramenta de gestão. Tendência para culpar o departamento da qualidade "pelos problemas de qualidade".	Reconhecimento de que a gestão da qualidade pode ser valiosa, mas não há disponibilidade para gastar dinheiro ou tempo na implementação.	Enquanto realiza programas de melhoria da qualidade aprende mais sobre gestão da qualidade e torna-se solidário e prestativo.	Participa. Compreende os absolutos da gestão da qualidade. Reconhece o seu papel pessoal para continuar focado.	Considere a gestão da qualidade uma parte essencial do sistema da empresa.
Estado da Qualidade da Organização	A qualidade está escondida nos departamentos de produção ou de engenharia. Provavelmente a inspeção não faz parte da organização. Ênfase na classificação e na avaliação.	É nomeado um líder mais capaz para a qualidade, porém a ênfase continua na avaliação e o movimento do produto. A qualidade continua a fazer parte do departamento de produção ou outro.	O departamento de qualidade informa a gestão de topo; toda a avaliação é incorporada e o gestor desempenha um papel na administração da empresa.	O gestor da qualidade é um administrador da empresa; comunicação eficaz do estado e ações preventivas. Envolvimento com os assuntos do consumidor e encargos especiais.	Gestor da qualidade no conselho de administração. A prevenção é a principal preocupação. A qualidade é líder de pensamento.
Resolução de problemas	Os problemas são combatidos à medida que ocorrem; sem resolução; definição inadequada. Muitos gritos e acusações.	As equipas são organizadas para atacar os principais problemas. As soluções de longo prazo não são solicitadas.	É estabelecida a comunicação de ações corretivas. Os problemas são enfrentados abertamente e resolvidos de forma ordenada.	Problemas identificados no início de seu desenvolvimento. Todas as funções estão abertas a sugestões e melhorias.	Os problemas são prevenidos, exceto nos casos mais involuntares.
Custos da Qualidade em % das vendas	Registado: Desconhecido Real: 20%	Registado: 3% Real: 18%	Registado: 8% Real: 12%	Registado: 6.5% Real: 8%	Registado: 2.5% Real: 2.5%
Ações de melhoria da qualidade	Não há atividades organizadas. Não há compreensão de tais atividades.	São empreendidos esforços "motivacionais" óbvios de curto prazo.	Implementação do programa das 14 etapas estabelecendo e compreendendo cada etapa.	Continuação do programa das 14 etapas e início do Make Certain.	A melhoria da qualidade é uma atividade normal e continuada.
Resumo da postura da empresa relativamente à qualidade	"Não sabemos porque temos problemas com a qualidade"	"É absolutamente necessário ter sempre problemas com a qualidade?"	"Através do compromisso da gestão e da melhoria da qualidade conseguimos identificar e resolver os nossos problemas".	"A prevenção de defeitos é parte rotineira da nossa operação".	"Sabemos porque não temos problemas com a qualidade".

FONTE: Crosby (1979).

Bessant, Caffyn e Gallagher (2001) definiram cinco níveis de maturidade, os quais são relativos ao **desenvolvimento da capacidade de compreensão na melhoria contínua**, propiciando à organização identificar a sua posição em relação as outras, de tal forma que desenvolva um plano para expandir sua capacidade em realizar a melhoria contínua, planejando e desenvolvendo a qualidade nos processos organizacionais, como indica a quadro 6.

QUADRO 6 - MODELO DE MATURIDADE EM MELHORIA CONTÍNUA

Nível	Título	Características
Nível 1	Pré-interesse na melhoria contínua	Não existe uma estrutura formal para a melhoria na organização, sendo os problemas solucionados ao acaso, sempre visando a um benefício apenas de curto prazo. Além disso, não existem estratégias de impacto nos recursos humanos, como treinamento, desenvolvimento e reconhecimento
Nível 2	Melhoria contínua estruturada	Existe um comitê formal para construir um sistema que desenvolverá a melhoria contínua na empresa, contando com a participação dos funcionários nas atividades, mesmo essas não sendo integradas às operações do dia a dia. Os funcionários são treinados nas ferramentas básicas de melhoria e o sistema de reconhecimento é introduzido.
Nível 3	Melhoria contínua dirigida para meta	Existe uma utilização formal dos objetivos estratégicos, sendo as atividades de melhoria continua parte das atividades gerais de administração.
Nível 4	Melhoria continua proactiva	Há uma tentativa de delegar autonomia e capacitar indivíduos e grupos para gerir e dirigir seus próprios processos. Neste nível, as responsabilidades da melhoria contínua são devolvidas para a unidade de solução de problemas.
Nível 5	Capacidade completa de melhoria contínua	Aproxima-se de um modelo de "organização que aprende", existindo a identificação e solução sistemática de problemas e compartilhamento do aprendizado.

FONTE: Bessant, Caffyn e Gallagher (2001).

2.5.2 Modelos maturidade tecnologia da informação

Sendo revista e aperfeiçoada desde seu desenvolvimento, a matriz de maturidade proposta por Crosby (1979) deu origem a novos modelos de maturidade, os quais se destacam o *Capability Maturity Models* (CMM), do *Software Engineering Institute* (SEI). Para Verveire e Van der Bergue (2004),

o CMM tem o intuito de melhorar o desempenho do negócio em longo prazo, atuando como guia na melhoria de pessoas, de processos e de tecnologia de uma organização. Já para Strutt et al. (2006), o CMM é utilizado para avaliar a capacidade de uma organização em executar os processos-chave necessários para entregar um produto ou serviço.

A figura 10 apresenta os níveis de maturidade aplicados pelo CMMI Institute.

FIGURA 10 - NÍVEL DE MATURIDADE CMMI



Fonte: (CMMI INSTITUTE, 2019)

O CMM propõe uma estrutura de cinco níveis, os quais permitem estratificar a posição ocupada pela empresa desenvolvedora de software em relação à maturidade de seus processos de gestão de projetos (CMMI INSTITUTE, 2019)

2.5.3 Modelo de Maturidade para gestão de pessoas

Segundo Silveira (2009), no início do século XXI vários modelos de maturidade similares ao CMM começaram a ser desenvolvidos, dentre eles, Silveira destaca *Contract Management Maturity Model* (GARRETT; RENDON, 2005 apud SILVEIRA, 2009), o *Documentation Process Maturity* (VISCANTI; COOK, 1993 apud SILVEIRA, 2009), o *Human Factors Integration Capability Maturity Model* (EARTHY et al., 1999 apud SILVEIRA, 2009), o *Online Course Design Maturity Model* (NEUHAUSER, 2004 apud SILVEIRA, 2009), o *Supply*

Chain Management Process Maturity Model (LOCKAMY; McCORMACK, 2004 apud SILVEIRA, 2009).

Oliveira (2017) cita Curtis (2003) quando afirma que os modelos multiestágios de maturidade começaram a ser aplicados aos recursos humanos recentemente nas organizações. Isso pode ser levado em conta, pois, tradicionalmente, o setor de recursos humanos (gestão de pessoas) mantinha pouca relação com os setores estratégicos, limitando-se a atuar apenas como prestador de serviços internos. Ainda para o autor, a partir da década de 90, diante de um ambiente dinâmico e imprevisível, as empresas passaram a buscar conhecimentos novos e a também gerir suas competências individuais, acarretando uma nova gestão da força de trabalho, incorporando de maneira concreta a participação dos indivíduos nas decisões, bem como seu comprometimento e contribuição para o processo de melhoria contínua.

O *Human Factors Integration Capability Maturity Model* (modelo multiestágio que aborda a gestão de pessoas nas organizações) busca garantir a qualidade em processos, fornecendo os meios para eliminar riscos de segurança no trabalho que podem interferir na produtividade, com base nas normas ISO. Tal modelo se relaciona com questões ergonômicas no trabalho, indicando, numa escala de maturidade, os níveis crescentes de melhoria da produtividade, desde a instrução de pessoal, gestão da capacidade dos funcionários, indo até o nível de institucionalização de um alto padrão de qualidade sem riscos ao homem. Já o *People Capability Maturity Model* nos traz uma estrutura baseada em cinco níveis de maturidade, os quais estabelecem bases para uma melhoria contínua das competências individuais, bem como das equipes de trabalho, orientando a gestão de pessoas. Segundo Silveira (2009), este modelo aborda a gestão das pessoas por completo, enfocando todos os processos relacionados à área de recursos humanos, conforme ilustra o quadro 7.

QUADRO 7 – MATURIDADE GESTÃO DE PESSOAS

Nível	Foco	Objetivos	Tipo de Prática	Áreas de Processo
Nível 1 Inicial	Não há	Não há	Não há	Não há
Nível 2 Gerido	Gestão das pessoas	Gestão e desenvolvimento da equipe pelos gerentes	Práticas repetitivas (rotineiras)	Provimento de pessoal Comunicação e coordenação Ambiente de trabalho Gestão do desempenho Formação e desenvolvimento Remuneração
Nível 3 Definido	Gestão das competências das pessoas	Desenvolvimento de competências e grupos de trabalho, alinhando-os com os objetivos e estratégias do negócio.	Práticas baseadas em competências	Análise de competências Planejamento dos recursos humanos Desenvolvimento de competências Desenvolvimento de carreiras Desenvolvimento de práticas-baseadas- em competências Desenvolvimento de grupos de trabalho Cultura participativa
Nível 4 Previsível	Gestão das capacidades da empresa	Integração das competências no trabalho e gestão quantitativo do desempenho.	Práticas mensuradas	Integração de competências Grupos de trabalho autônomos Ativos baseados em competências Gestão quantitativa do desempenho Gestão da capacidade organizacional Orientação e aconselhamento
Nível 5 Otimizado	Gestão das mudanças da empresa	Instauração da melhoria contínua dos processos e alinhamento do grupo de trabalho com capacidade organizacional	Práticas baseadas em melhoria contínua	Melhoria contínua da capacidade Alinhamento do desempenho organizacional Inovação contínua dos recursos humanos

FONTE: Siqueira (2009).

2.5.4 Modelos de maturidade para a gestão da manutenção

Este tópico apresenta os principais modelos de maturidade dos sistemas de gestão da manutenção abordados na literatura.

O artigo *The maturity of maturity model research: A systematic mapping study*, publicado por Wendler (2012), demonstra que a aplicação de modelos de avaliação da maturidade em sistemas de gestão da manutenção ainda é bem restrita. Este artigo afirma que modelos de maturidade podem ser aplicados em qualquer área de processos, o que é caso da manutenção industrial.

2.5.4.1 Modelo de maturidade de Fernandez

De acordo com Oliveira (2017), o artigo *The maintenance organisational maturity grid*, publicado por Antil em 1991, propôs um modelo de maturidade semelhante ao desenvolvido por Crosby (1979) para a área da qualidade e este deu origem ao modelo desenvolvido por Fernandez et al. (2003) apresentado de acordo com o quadro 8. Ainda segundo Oliveira (2017), o modelo de Fernandez utiliza 5 classes para avaliação de maturidade.

QUADRO 8 - MODELO DE MATURIDADE DE FERNANDEZ

Categorias de Medição	Estágio 1: Incerteza	Estágio 2: Despertar	Estágio 3: Esclarecimento	Estágio 4: Sabedoria	Estágio 5: Certeza
Compreensão e Atitude da Gestão	A Manutenção não é compreendida como uma ferramenta de gestão	Reconhecimento de que a gestão da manutenção pode ser valiosa.	Enquanto realiza programas de melhoria da manutenção, aprende mais sobre gestão da manutenção e torna-se solidário.	Participativo e reconhece o seu papel.	Considera a gestão da manutenção uma parte essencial do sistema da empresa.
Resolução de problemas	Os problemas são combatidos à medida que ocorrem	Ainda reativa, mas com peças de reposição disponíveis quando ocorrem falhas.	Problemas resolvidos pela entrada da manutenção, operações, engenharia e controle de qualidade.	Preditiva usando técnicas de monitorização	Problemas são prevenidos, aumento da disponibilidade e, portanto, da produtividade
Postura da empresa relativamente à Manutenção	“Não sabemos porque temos problemas com a manutenção”	“É absolutamente necessário ter sempre problemas com a manutenção?”	“Nós identificamos e resolvemos problemas”.	“Produtos de qualidade não podem ser feitos com equipamentos mal conservados, portanto, a qualidade da manutenção é uma rotina”.	“Nós não esperamos avarias, pelo contrário, somos surpreendidos quando ocorrem”.
CMMS	Nenhum CMMS é utilizado	Sistema contém módulos de gestão de ativos e materiais.	Um módulo de monitorização da condição de eventos está integrado no sistema	Capaz de gerar programações de atividades de manutenção preventiva. É usado para apoiar o processo de tomada de decisão.	Totalmente automatizada, a partir da deteção de falha para a geração de ordens de serviço com base em informações significativas e confiáveis

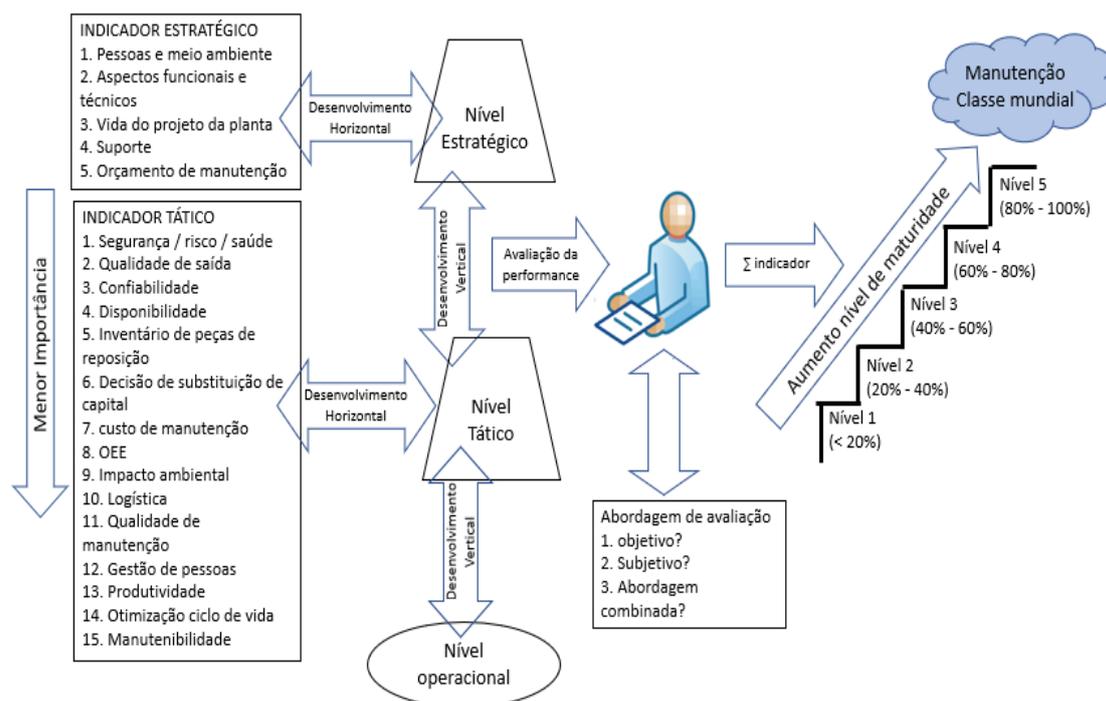
FONTE: Oliveira (2017).

O modelo apresentado por Fernandez foca na gestão, liderança, redução de falhas e no sistema de informação e não aborda o uso de tecnologias da indústria 4.0

2.5.4.2 Asset Maintenance Maturity Model (AMMM)

Horenbeek e Pintelon (2013) apresentam um modelo de avaliação de maturidade baseado em indicadores de performance que deu origem ao modelo de avaliação de maturidade de Pintelon, Horenbeek e Chemweno (2013). Este modelo foi denominado “Asset maintenance maturity model (AMMM)”. A figura 11 apresenta uma visão do modelo proposto por Pintelon.

FIGURA 11 - MODELO DE AMMM DE PINTELON



FONTE: Pintelon, Horenbeek e Chemweno (2013).

O modelo de Pintelon é baseado em indicadores de processo desconsidera fatores qualitativos e não mensuráveis. Também não explora o uso das tecnologias da indústria 4.0

2.5.4.3 Maturidade para gestão de ativos: iso 55000

O *Institute of Asset Management* - IAM junto ao *British Standards Institution* - BSI lançou em 2008 a série de normas PAS55. Estas normas deram origem à série ISO55000 e NBR 55000. A série é composta pelas normas:

- ISO 55000 - Visão geral, princípios e terminologia
- ISO 55001 - Sistemas de Gestão – Requisitos
- ISO 55002 - Sistemas de Gestão – Guia para implantação.

A norma ISO55002 menciona no seu item 6.2.1.3 que um dos objetivos a serem alcançados é a “certificação do sistema de gestão de ativos, ou a avaliação da maturidade da gestão de ativos (por benchmarking)”, o que sugere a necessidade de uso de indicadores de desempenho na avaliação do sistema. Com base nestes requisitos, o IAM apresentou um modelo para avaliação da maturidade, conforme quadro 9 (OLIVEIRA, 2017).

QUADRO 9 - MATURIDADE PARA GESTÃO DE ATIVOS: ISO 55000

		Característica da Maturidade	
Escala	Descrição	Definição	
0	Inocente	A organização não reconhece a necessidade dessa exigência e/ou não há nenhuma evidência de compromisso para utilizá-la.	
1	Consciente	A organização tem identificado a necessidade deste requisito, e há evidência de intenção em progredir.	Propostas estão em desenvolvimento e alguns requisitos podem estar em uso. Os processos são mal controlados, reativos e o desempenho é imprevisível.
2	Desenvolvimento	A organização tem identificado os meios de forma sistemática e consistente para alcançar os requisitos, e pode demonstrar que estes estão progredindo de forma confiável.	Notas: este é um "estado de transição". Processos são planejados, documentados (quando necessário), aplicado e controlado a nível local ou dentro de departamentos funcionais; geralmente de um modo reativo, mas poderia alcançar os resultados esperados com alguma repetição. Os processos estão insuficientemente integrados, com consistência limitada ou coordenação através da organização.
3	Competente	A organização pode demonstrar que alcança sistemática e consistentemente os requisitos pertinentes estabelecidos na norma ISO 55001.	Isto envolve uma forma documentada do sistema de gestão de ativos contidos dentro da organização. O desempenho dos elementos do sistema de gestão de ativos é medido, revisado e melhorado continuamente para atingir os objetivos de gestão de ativos.
4	Otimização	A organização pode demonstrar que otimiza sistemática e consistentemente a prática de gestão de ativos, de acordo com os objetivos da organização e do contexto operacional.	Notas: Este é o segundo "estado de transição" e nesta fase irá incluir: Monitorização e quantificação do desempenho; resolução de compensações entre os objetivos concorrentes numa ágil estrutura de tomada de decisões, a inovação é um padrão natural, melhoria contínua pode ser amplamente demonstrada com evidência de resultados, o benchmarking é utilizado para melhor identificar a oportunidade de melhoria, e o sistema de gestão é ainda mais integrado e eficaz.
5	Excelente	A organização pode demonstrar que utiliza as melhores práticas de gestão e atinge valor máximo a partir da gestão de seus ativos, de acordo com os objetivos da organização e do contexto operacional.	Este é um estado dinâmico e sensível ao contexto, portanto, as evidências devem incluir a demonstração de consciência das posições de benchmarking em relação às organizações de classes semelhantes melhores em que, com respeito às práticas de gestão de ativos (valor de realização) não existem melhorias conhecidas que ainda não foram implementadas.

FONTE: Oliveira (2017).

O modelo apresentado pelo IAM leva em consideração basicamente o atendimento os requisitos das normas ISO55000. O simples atendimento da norma não significa necessariamente uma maior maturidade.

2.5.4.4 Modelo de avaliação da maturidade de Oliveira

Oliveira (2017), em sua dissertação de mestrado, apresenta o modelo de avaliação da maturidade, conforme apresentado no quadro 10.

QUADRO 10 - MODELO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DE OLIVEIRA

(continua)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Cultura organizacional	<ul style="list-style-type: none"> Mudanças não são bem aceites; Não existe orientação para melhoria contínua e para o trabalho em equipe. 	<ul style="list-style-type: none"> Mudanças são aceites com relutância. Identificada a necessidade de ações para melhoria contínua, mas ainda não adotadas. Limitado trabalho em equipe. Falta espírito de equipe. 	<ul style="list-style-type: none"> Mudanças são aceites e consideradas importantes. Implementação de ações para melhoria contínua. Trabalho em equipe. Falta espírito de equipe. 	<ul style="list-style-type: none"> Mudanças são aceites e consideradas importantes. Ações para melhoria contínua com metodologias definidas. Trabalho em equipe. Espírito de equipe. 	<ul style="list-style-type: none"> Existe comprometimento com a mudança, adaptando-se às novas prioridades estratégicas. Ações para melhoria contínua com metodologias definidas e enraizadas. Trabalho em equipe. Espírito de equipe.
Política de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção é considerada um mal necessário, estando voltada para a resolução de avarias no menor tempo possível. 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção é considerada um mal necessário, mas reconhece-se a necessidade em atuar de forma preventiva. 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção é considerada importante para atingir os objetivos da organização. Atuação da manutenção com vistas ao aumento de produtividade e redução de custos. 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção é considerada importante para atingir os objetivos da organização. Atuação da manutenção de forma proactiva (incluindo melhoria do equipamento) com vistas ao aumento da produtividade, redução de custos e melhoria da qualidade 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção é considerada uma função estratégica. Atuação da manutenção de forma proactiva (incluindo melhoria do equipamento) e eficiente com vista ao aumento de produtividade, redução de custos, melhoria da qualidade e impacto ambientais e impacto ambiental.

QUADRO 10 - MODELO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DE OLIVEIRA

(continua)

Gestão desempenho	<ul style="list-style-type: none"> • Não existem indicadores definidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de desempenho calculados esporadicamente, com incidência nos indicadores técnicos determinados para toda a produção ou/e ao nível da linha de produção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores técnicos, econômicos e organizacionais confiáveis calculados e analisados periodicamente, apoiando a tomada de decisão dando origem esporadicamente a projetos de melhoria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores técnicos, econômicos e organizacionais alinhados com os objetivos estratégicos da organização, calculados e analisados periodicamente, apoiando a tomada de decisão e dando origem a projetos
Análise de falhas	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de falhas sem método definido, realizada quando ocorrem falhas com impacto significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de falhas periódica, baseada num método definido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação de equipamentos críticos e falhas críticas de forma esporádica e implementação de medidas baseada na análise metódica de falhas que origina uma baixa reincidência de falhas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Informação atualizada de equipamentos críticos e falhas críticas, e implementação de medidas baseada na análise metódica de falhas, que origina a ausência de reincidência
Planejamento e Programação de Manutenção Preventiva	<ul style="list-style-type: none"> • Atividades preventivas definidas depois da ocorrência de eventos críticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento realizado com base nos manuais do fabricante abrangendo alguns equipamentos. • Atrasos e ações programadas não concluídas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento realizado com base nos manuais do fabricante abrangendo todos os equipamentos. • Atrasos e ações programadas não concluídas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento das atividades revisto em função da taxa de falhas e da monitorização do equipamento. • Programação definida em função da produção planejada.

QUADRO 10 - MODELO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DE OLIVEIRA

(continua)

CMMS	<ul style="list-style-type: none"> • Não há registo eletrónico de dados da manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização de aplicações informáticas para a gestão da manutenção, não integradas com os demais sistemas informáticos da empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de Planeamento e Controlo da manutenção informatizado, com algumas funções não utilizadas, não integrado com os demais sistemas informáticos da empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> • CMMS onde nem todas as funções disponíveis são ampla ou adequadamente utilizadas, não integrado com os demais sistemas informáticos da empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> • CMMS para apoio em todas as funções da gestão da manutenção, com elevado grau de automatização, cujas funções disponíveis são efetivamente utilizadas, integrado com os demais sistemas informáticos da empresa.
Gestão de estoques	<ul style="list-style-type: none"> • Não previsão de demanda futura de peças de reposição. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada em função das ações planeadas e, para as atividades corretivas, baseada no histórico de consumo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada em função das ações planeadas e, para as atividades corretivas, baseada na fiabilidade e custos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada em função das ações planeadas e, para as atividades corretivas, baseada na fiabilidade, custos e criticidade. 	
Normalização e Controlo dos Documentos	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação dos equipamentos indisponível ou desatualizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação de equipamentos e de processos organizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação de equipamentos e de processos organizada, de fácil e rápido acesso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação de equipamentos e de processos sistematicamente atualizada e de fácil e rápido acesso. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Processos e atividades não normalizados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alguns processos e atividades normalizados, mas não revistos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Processos e atividades normalizados e revistos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Processos e atividades normalizados e sistematicamente revistos. 	

QUADRO 10 - MODELO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DE OLIVEIRA

(conclusão)

Recursos Humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Formação pontual motivado por problemas de grande impacto. • Colaboradores possuem baixa competência 	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de desenvolvimento de competências dos colaboradores de manutenção não alinhado com as necessidades da área. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de desenvolvimento de competências alinhado com as necessidades da área. • Colaboradores polivalentes, com envolvimento dos colaboradores da produção em certas atividades 	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de desenvolvimento de competências alinhado com os objetivos da área. • Colaboradores da manutenção polivalentes e envolvidos em atividades de melhoria • Envolvimento dos colaboradores da produção em certas atividades.
Resultados (Custos e Manutenção)	<ul style="list-style-type: none"> • Perceção de desperdício de material elevado e de alta reincidência de falhas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ações empreendidas para quantificação de custos, identificação de perdas e falhas reincidentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ações empreendidas esporadicamente para redução de custos, de perdas e de falhas reincidentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ações empreendidas para redução de custos, de perdas e de falhas reincidentes. • Custos controlados, baixo nível de perdas e baixa reincidência de falhas.

FONTE: Oliveira (2017).

Os modelos apresentados vêm sofrendo alterações ao longo do tempo. Esta evolução deve continuar com o surgimento das tecnologias da indústria 4.0.

2.5.5 Análise dos modelos de maturidade aplicados à manutenção

O Quadro 11 apresenta uma comparação dos modelos de avaliação da maturidade de sistemas de manutenção.

QUADRO 11 - AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS MODELOS DE MATURIDADE DE MANUTENÇÃO

Modelo	Oliveira (2017)	Pintelon (2013)	Fernandez et al. (2003)	ISO55000 (2014)	
Níveis de avaliação	5 níveis não nomeados	5 níveis não nomeados	5 níveis Incerteza, Despertar, Esclarecimento, Sabedoria, Certeza	Inocente, Consciente, Desenvolvimento, Competente e Otimização, Excelente	
Temas	Pessoas	Indicadores de Performance.	Compreensão e Atitude da Gestão		
			Recursos Humanos	Postura da empresa relativamente à Manutenção	
	Procedimentos e métodos		Política de Manutenção		
			Gestão desempenho		
			Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção)		
			Planejamento e Programação de atividades de Manutenção Preventiva		
			Gestão de estoques		
			Normalização e Controle dos Documentos		
			Análise de falhas	Resolução de problemas	
	Digitalização		CMMS	CMMS	
Outros				Atendimento a norma	

FONTE: O autor (2019)

Todos os modelos de avaliação possuem 5 níveis de maturidade semelhantes aos modelos de Crosby e os modelos CMMI

O modelo proposto por Fernandez, Labib e Petty (2003) foi desenvolvido com a finalidade de avaliar a maturidade do sistema informatizado de gerenciamento da manutenção CMMS e da liderança para a sua implantação. Uma análise crítica deste modelo demonstra uma lacuna com relação aos temas relacionados à gestão e ao planejamento da manutenção. Indicadores de manutenção também não são explorados.

O modelo de avaliação da maturidade do sistema de gestão da manutenção baseado nas normas ISO55000 e PAS 55 tem foco na aplicação e no atendimentos dos requisitos da norma.

O modelo de Pintelon, Horenbeek e Chemweno (2013) está baseado exclusivamente em indicadores de nível estratégico e tático. Este modelo nos remete a uma avaliação exclusivamente numérica e por consequência uma modelagem com abordagem hard (DRESCH, 2015) e não considera questões comportamentais e contextuais características de uma abordagem soft.

O modelo de avaliação da maturidade apresentado por Oliveira (2017) é mais abrangente que as anteriores e considera em seu modelo 3 temas relevantes que são: as pessoas, os procedimentos, as técnicas e métodos de manutenção e, por fim, o uso de tecnologia da informação com a avaliação do sistema informatizado de gestão da manutenção CMMS. Como principal ponto restritivo, o modelo apresentado por Oliveira está na ausência da abordagem das tecnologias da indústria 4.0. O uso destas tecnologias tendem a tornar o sistema de gestão da manutenção mais autônomo e autogerenciado, o que são características de um grau de maturidade mais elevado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com os critérios apresentados por Miguel et. al. (2012), a pesquisa pode ser classificada conforme a seguir:

a) Quanto à Natureza é uma pesquisa aplicada, pois possui fins práticos, de aplicação imediata e com resultados obtidos para a resolução de problemas da realidade;

b) Quanto à forma de abordagem é uma pesquisa quantitativa; é quantitativa com relação à amostra base para o *survey* e é qualitativa com relação aos elementos de análise da manutenção versus tecnologias e ferramentas 4.0;

c) Quanto ao processo de raciocínio é uma pesquisa dedutiva; por ser baseada em hipóteses;

d) Quando ao tipo de investigação é uma pesquisa exploratória; pois faz uso de pesquisa exploratórias;

e) Quanto aos instrumentos, a pesquisa apresenta uma combinação dos elementos representados pelo *Survey* e a modelagem fundamentada no *Design Science*.

A metodologia de pesquisa está dividida em 5 etapas e segue o modelo apresentado na figura 12.

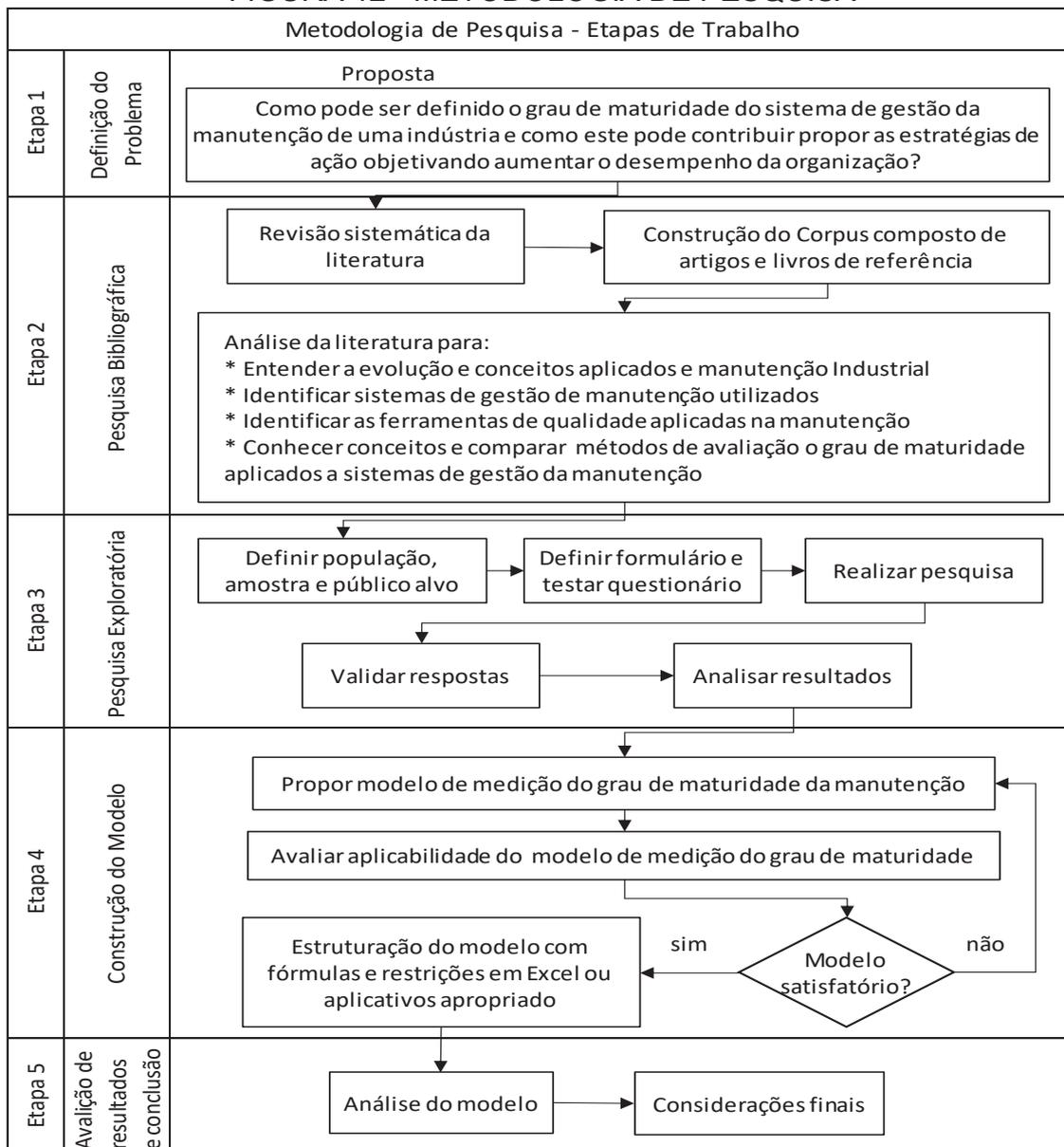
A **etapa 1** compreende a definição do tema e do problema da pesquisa que estão alinhados à proposta inicial de desenvolver um modelo para avaliação grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção orientado à manutenção 4.0.

A **etapa 2** aborda a pesquisa bibliográfica e prevê a revisão sistemática da literatura baseada nas palavras-chave relevantes ao tema. A revisão sistêmica foi baseada em artigos e capítulos de livros que formaram o Corpus. Este corpus é composto de documentos publicados nos últimos 10 anos de acordo com protocolo de pesquisa.

A revisão e análise da literatura teve como foco principal o estudo de modelos de avaliação do grau de maturidade que foram desenvolvidos baseados em filosofias de gestão aplicadas à manutenção, tais como o TPM e TQC. Também estão inclusas na revisão da literatura ferramentas como RCM, Lean, MPM - *Maintenance Performance Measurement* e outras ferramentas da

qualidade aplicadas à manutenção industrial, tais como o ciclo PDCA e 5S, Indicadores e tratamento de falhas.

FIGURA 12 - METODOLOGIA DE PESQUISA



Fonte: O autor (2019).

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA BIBLIOGRAFIA

A revisão sistemática foi realizada com o objetivo de validar a importância do tema da pesquisa. Para a realização da pesquisa bibliográfica inicial foi utilizada a fontes de dados do *ScienceDirect*. Realizando uma pesquisa inicial das palavras-chave (*Maintenance Maturity, Maturity Model,*

Maintenance Management, *Maintenance 4.0*, *Maintenance analytics*) nestes locais indicados, sem restringir o tipo de fonte (artigo, livro, congresso...) foram obtidos os resultados demonstrados na tabela 1. A escolha destas fontes é decorrente da apresentação de número significativo de ocorrências para as palavras-chave.

TABELA 1 – LOCALIZAÇÃO DE FONTES DE PESQUISA

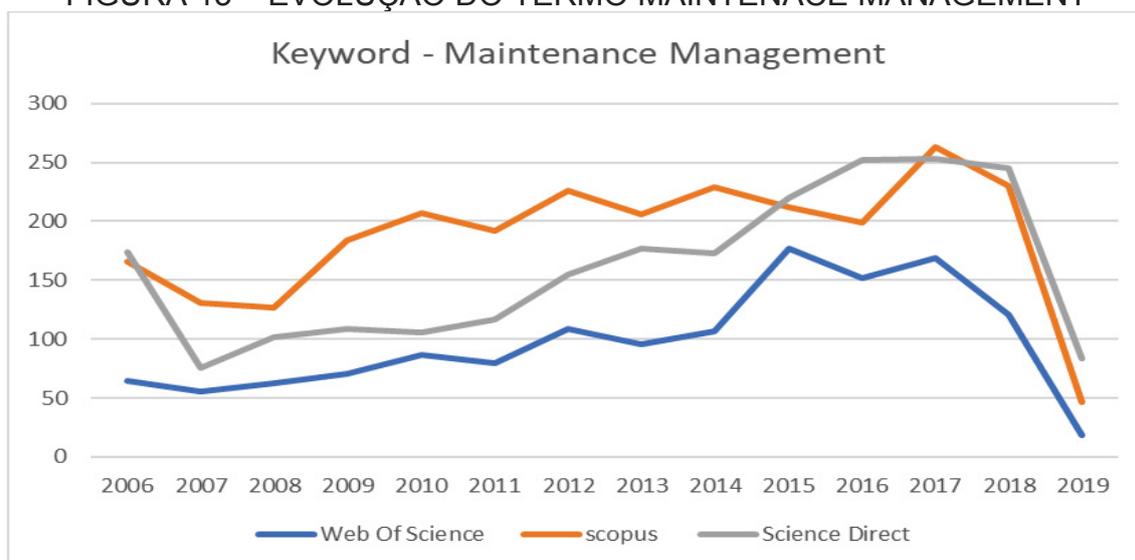
Key Words	Web of Science	Scopus	Science Direct
<i>Maintenance management</i>	1369	2618	2243
<i>Maturity model</i>	1539	3088	2269
<i>Maintenance Maturity</i>	2	12	24
<i>Maintenance analytics</i>	3	7	14
<i>Maintenance 4.0</i>	3	8	12

FONTE: O autor (2019).

As fontes de pesquisas foram restritas a artigos científicos e a capítulos de livros que fazem referência às palavras-chave e que podem ser localizados no *Web of Science*, *ScienceDirect* e *Scopus*.

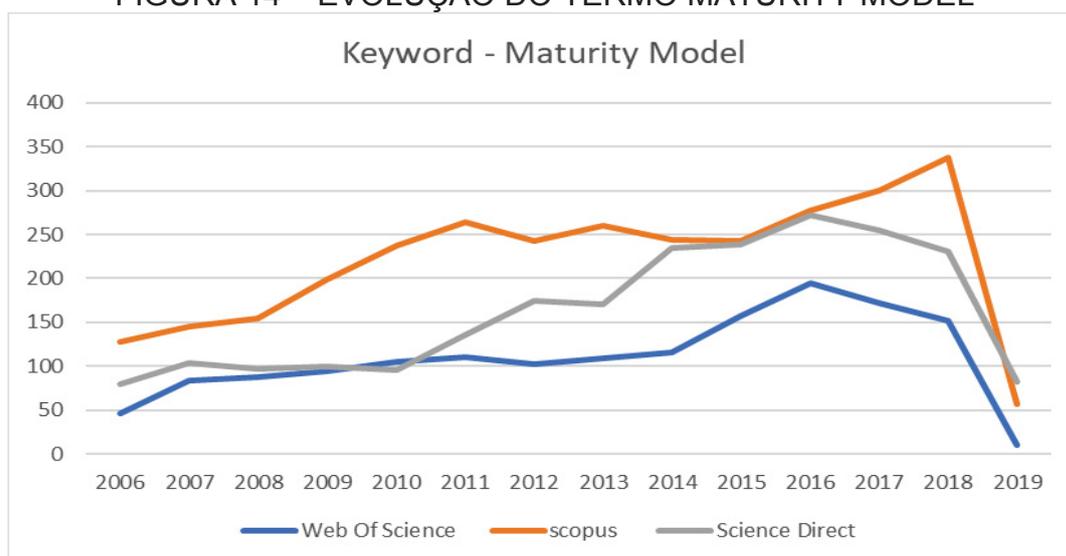
Para a realização da pesquisa bibliográfica foi utilizado os artigos e livros publicados a partir de 2006. A figura 13 mostra que o número de publicações com as palavras-chave *Maintenance Management* e *Maturity model* vêm crescendo ao longo dos anos. A pesquisa das demais palavras-chave também apresentam um crescimento nas publicações, porém, o número é pequeno em relação as duas primeiras palavras-chave.

FIGURA 13 – EVOLUÇÃO DO TERMO MAINTENACE MANAGEMENT



FONTE: O autor (2019)

FIGURA 14 – EVOLUÇÃO DO TERMO MATURITY MODEL



FONTE: O autor (2019)

A análise das figuras 13 e 14 demonstra que as publicações com as palavras-chave vêm crescendo ao longo do tempo, o que justifica a importância dos temas. As tabelas 2, 3 e 4 apresentam que os resultados da pesquisa exploratória das palavras-chave *Maintenance Maturity*, *Maintenance Analytics* e *Maintenance 4.0* ainda vem crescendo nos últimos anos, porém, ainda são poucas as publicações com este tema.

TABELA 2 – PESQUISA PALAVRA CHAVE MAINTENANCE MATURITY

Keyword - Maintenance Maturity			
Ano	Web Of Science	Scopus	Science Direct
2006	1	3	
2007		0	
2008		1	1
2009		1	1
2010		2	4
2011		0	3
2012		2	2
2013		2	1
2014	1	1	1
2015			2
2016			1
2017			4
2018			1
2019			3
Total	2	12	24

FONTE: O autor (2019)

A tabela 3 apresenta os resultados da pesquisa da palavra-chave *maintenance analytics*.

TABELA 3 – PESQUISA DE PALAVRAS-CHAVE *MAINTENANCE ANALYTICS*

Palavra-chave - <i>Maintenance analytics</i>			
Ano	Web Of Science	Scopus	Science Direct
2006			1
2008			3
2010			1
2011			1
2012			1
2013			1
2015	1	1	
2016	1	3	2
2017	1	1	2
2018		1	2
2019		1	
Total	3	7	14

FONTE: O autor (2019).

A tabela 4 apresenta os resultados da pesquisa da palavra-chave *maintenance 4.0*.

TABELA 4 – PESQUISA DE PALAVRAS-CHAVE *MAINTENANCE 4.0*

Key Word - <i>Maintenance 4.0</i>			
Ano	Web Of Science	scopus	Science Direct
2013			2
2015			1
2016		2	3
2017	2	2	2
2018	3	3	5
2019		1	1
Total	5	8	14

FONTE: O autor (2019).

A formação do corpus de pesquisa contou somente com artigos publicados em revistas com Qualis B3 ou superior. Nos documentos priorizados após a eliminação dos dados não relevantes foi realizada uma leitura no resumo de artigos e capítulos.

A etapa 3 consistiu na realização de uma pesquisa exploratória que teve como unidade de análise as indústrias de transformação do estado do

Paraná. De acordo com o IBGE- Instituto brasileiro de Geografia e Estatística , (IBGE, 2019) o estado do Paraná tem um total de 17.734 empresas classificadas como indústria da transformação.

A tabela 5 apresenta a divisão das indústria por setor e por porte.

TABELA 5 – NÚMERO DE INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO DO PARANÁ

CATEGORIA DE INDUSTRIA	EMPRESA PEQ PORTE	MICRO EMPRESA	MED E GRANDE PORTE	TOTAL
05 - extração de carvão mineral		1		1
06 - extração de petróleo e gás natural	1	1	4	6
07 - extração de minerais metálicos		8	9	17
08 - extração de minerais não-metálicos	62	194	128	384
09 - at. apoio à extração de minerais	1	12	9	22
10 - fab. produtos alimentícios	295	2.490	795	3.580
11 - fab. bebidas	37	165	63	265
12 - fab. produtos do fumo	3	4	6	13
13 - fab. produtos têxteis	64	409	55	528
14 - conf.artigos do vestuário e acessórios	363	2.481	174	3.018
15 - prep. couros e fab. artigos para calçados	34	189	39	262
16 - fab. produtos de madeira	127	508	105	740
17 - fab. celulose, papel e produtos de papel	72	210	102	384
18 - impressão e reprodução de gravações	87	971	46	1.104
19 - fab. coque de produtos do petróleo e bioc.	3	2	31	36
20 - fab. produtos químicos	119	347	268	734
21 - fab. prod. farmoquímicos e farmacêuticos	4	10	19	33
22 - fab. prod borracha e de material plástico	204	516	193	913
23 - fab. produtos de minerais não-metálicos	227	1.207	186	1.620
24 - metalurgia	31	97	36	164
25 - fab. prod. metal, exceto máquinas e equip.	397	2.701	203	3.301
26 - fab. equip informática, prod eletrônicos	64	184	121	369
27 - fab. máq, aparelhos e materiais elétricos	53	111	76	240
Total Geral	2.248	12.818	2.668	17.734

Fonte: (IBGE, 2019).

Para realizar a pesquisa *survey* foi elaborado um questionário que objetivou a validação das filosofias e ferramentas encontradas na revisão e o estabelecimento de um perfil de maturidade base para o desenvolvimento do modelo objeto do trabalho. O público alvo para os quais foram enviados os questionários são os gerentes e coordenadores de manutenção das indústrias.

O questionário foi desenvolvido em quatro partes.

- A primeira parte é destinanda a categorização da indústria.

- A segunda parte é destinada a verificação do uso de filosofias e ferramentas aplicadas a gestão da manutenção.
- A terceira parte é destinada a verificação da importância dada pelas empresas aos pilares do sistema de gestão da manutenção de Marquez e Gupta (2006) e os componentes dos sistema de gestão adaptado de Crosby (1979), Fernandez (2003), Pintelon (2006) e Oliveira (2017).
- A quarta e última parte destina-se a aplicabilidade das nove tecnologias da indústria 4.0 (BCG, 2018) nos processos de manutenção.

Em todas as seções foram utilizadas questões de múltipla escolha e questões baseadas na escala Likert. Todas as seções do questionário foram desenvolvidas usando os aplicativos de pesquisa on-line do Google Forms.

Para a formulação das hipóteses e em função da necessária segmentação para a análise dos dados os seguintes elementos foram caracterizados: Porte das empresas, origem das empresas e setores da empresa. Os Setor já definido no tabela 5. A origem das empresas foram classificadas em Nacionais e Multinacionais e finalmente o porte das empresas e definido de acordo com a classificação encontrada em IBGE (2019), de acordo com o quadro 12.

QUADRO 12 – CLASSIFICAÇÃO PELO PORTE DAS EMPRESAS

Porte da Empresa	Número de empregados
Grandes empresas	500 ou mais empregados
Médio porte -	de 100 a 499 empregados
Pequeno Porte (EPP) -	de 20 a 99 empregados
Microempresa (ME) -	até 19 funcionários

Fonte: IBGE(2019)

Com base na análise das respostas dos questionários foram testadas hipóteses relacionadas a cada uma das 4 seções da pesquisa. A aceitação ou rejeição dessas hipóteses é utilizada como base na construção do modelo avaliação do grau de maturidade.

Para a seção 1, relacionada ao uso de metodologias e ferramentas da qualidade na manutenção. O objetivo deste teste identificar quais as

metodologias e ferramentas da qualidade são mais utilizadas pelas empresas.

Foram testadas as seguintes hipóteses:

- H₀₁: Não existe diferença significativa na frequência de utilização das metodologias e ferramentas da qualidade aplicadas à manutenção em relação ao porte da empresa;
- H₀₂: Não existe diferença significativa na frequência de utilização das metodologias e ferramentas da qualidade aplicada a manutenção em relação a origem da empresa;
- H₀₃: Não existe diferença significativa na na frequência de utilização das metodologias e ferramentas da qualidade aplicada a manutenção em relação aos setores;
- H₀₄: Não existe diferença significativa na frequência de utilização entre as metodologias e ferramentas da qualidade aplicada a manutenção.

Para a seção 2, relacionada a importância dos pilares do sistema de gestão da manutenção. O objetivo deste teste identificar qual os pilares do sistema de gestão tem maior importância para as empresas. Foram testadas as seguintes hipóteses:

- H₀₅: Não existe diferença significativa na importância dos pilares aplicados a manutenção em relação ao porte da empresa;
- H₀₆: Não existe diferença significativa na importância dos pilares aplicados a manutenção em relação a origem da empresa;
- H₀₇: Não existe diferença significativa na importância dos pilares aplicados a manutenção em relação aos setores
- H₀₈: Não existe diferença significativa na importância entre pilares aplicados a manutenção.

Para a seção 3, relacionada a importância dos elementos do sistema de na manutenção. O objetivo deste teste identificar qual os elementos do sistema de gestão tem maior importância para as empresas. Os elementos do sistema de gestão foram adaptados pelo autor com base nas categorias de avaliação encontradas nos modelos de maturidade Crosby (1979), Fernandez, Labib e Petty (2003), Pintelon (2006) e Oliveira (2017) conforme detalhado no

item 3.3 deste trabalho e são: indicadores e metas de Manutenção; organização funcional e da equipe, planejamento, programação e execução da Manutenção, tratamento de Falhas, estrutura de oficinas e ferramentas e a participação do operador na manutenção. Foram testadas as seguintes hipóteses:

- H₀₉: Não existe diferença significativa na importância dos elementos do sistema de na manutenção em relação ao porte da empresa;
- H₁₀: Não existe diferença significativa na importância dos elementos do sistema de na manutenção em relação a origem da empresa;
- H₁₁: Não existe diferença significativa na importância dos elementos do sistema de na manutenção em relação aos setores;
- H₁₂: Não existe diferença significativa entre as importância dos elementos do sistema de na manutenção.

Para a seção 4, relacionada ao aplicação das tecnologias da indústria 4.0 nos processos de manutenção, o objetivo identificar quais das tecnologias na manutenção das indústrias. Foram testadas as seguintes hipóteses:

- H₁₃: Não existe diferença significativa na perspectiva de aplicação das tecnologias da indústria 4.0 nos processos de manutenção em relação ao porte da empresa;
- H₁₄: Não existe diferença significativa na perspectiva de aplicação das tecnologias da indústria 4.0 nos processos de manutenção em relação a origem da empresa;
- H₁₅: Não existe diferença significativa na perspectiva de aplicação das tecnologias da indústria 4.0 nos processos de manutenção em relação aos setores;
- H₁₆: Não existe diferença significativa na perspectiva de aplicação entre as tecnologias da indústria 4.0 aplicadas nos processos de manutenção.

Na etapa 4 será desenvolvido o modelo para avaliação do grau de maturidade do sistema de gestão adaptado dos modelos de Crosby (1979), Fernandez (2003), Pintelon (2006) e Oliveira (2017), e nas nove tecnologias da indústria 4.0. (BCG, 2018) encontrados na pesquisa bibliográfica e nos

resultados da pesquisa exploratória. As fórmulas e restrições necessárias para construção do modelo são descritas em planilha eletrônica do software Excel na Microsoft. Como a entrada de dados avaliados no modelo é específico para cada elemento, a planilha apresenta um gráfico radar com diferentes níveis de maturidade. Os resultados apresentados fornecem a base para o desenvolvimento de ações para aprimorar o sistema de gestão da manutenção das indústrias.

A Etapa 5 é dedicada a avaliação de resultados e as conclusões finais.

3.2 DADOS DA AMOSTRA

A Tabela 12 apresenta a distribuição das indústrias de transformação do estado do Paraná de acordo com o (IBGE, 2019). Um questionário foi enviado para esta população e as respostas destes questionários compõem a amostra da pesquisa.

O tamanho da amostra é definida considerando inicialmente a população total de 17.734 indústrias com margem de erro de 5% e um intervalo de confiança de 95%. Para o cálculo do tamanho da amostra é utilizada a fórmula (1) com base na estimativa da proporção populacional com os fatores $p/q = 80/20\%$. Como resultado, temos o tamanho da amostra calculado em 243 indústrias.

$$n = \frac{N p q (Z_{\alpha/2})^2}{p q (Z_{\alpha/2})^2 + (N-1)E^2} \quad (1)$$

“Quando a população pode ser dividida em sub-populações ou estratos, devendo a variável de interesse ser mais ou menos homogênea dentro de cada estrato usamos a estratificação da amostra” (MARQUES, 2005, p. 5) Na composição da amostra, deverão ser sorteados elementos de todos os estratos, para que todos sejam representados na amostra. Para se especificar quantos elementos de cada estrato deveriam fazer parte da amostra foi utilizada a divisão proporcional, ou seja, aquela que apresenta um número de elementos proporcional ao tamanho de cada estrato (MARQUES, 2005).

A Tabela 6 apresenta a proporcionalidade da amostra esperada para cada categoria.

TABELA 6 – TABELA DE AMOSTRAGEM ESTRATIFICADA

CATEGORIA	Núm	%	Amostra
05 - extração de carvão mineral	1	0,0%	0
06 - extração de petróleo e gás natural	6	0,0%	0
07 - extração de minerais metálicos	17	0,1%	0
08 - extração de minerais não-metálicos	384	2,2%	5
09 - at. apoio à extração de minerais	22	0,1%	0
10 - fab. produtos alimentícios	3.580	20,2%	49
11 - fab. bebidas	265	1,5%	4
12 - fab. produtos do fumo	13	0,1%	0
13 - fab. produtos têxteis	528	3,0%	7
14 - conf.artigos do vestuário e acessórios	3.018	17,0%	41
15 - prep. couros e fab. artigos para calçados	262	1,5%	4
16 - fab. produtos de madeira	740	4,2%	10
17 - fab. celulose, papel e produtos de papel	384	2,2%	5
18 - impressão e reprodução de gravações	1.104	6,2%	15
19 - fab. coque de produtos do petróleo e bioc.	36	0,2%	0
20 - fab. produtos químicos	734	4,1%	10
21 - fab. prod. farmoquímicos e farmacêuticos	33	0,2%	0
22 - fab. prod borracha e de material plástico	913	5,1%	13
23 - fab. produtos de minerais não-metálicos	1.620	9,1%	22
24 - metalurgia	164	0,9%	2
25 - fab. prod. metal, exceto máquinas e equip.	3.301	18,6%	45
26 - fab. equip informática, prod eletrônicos	369	2,1%	5
27 - fab. máq, aparelhos e materiais elétricos	240	1,4%	3
Total Geral	17.734	100%	243

FONTE: O autor (2019)

3.3 FORMULÁRIO DE PESQUISA EXPLORATÓRIO

O formulário de pesquisa exploratória foi desenvolvido em quatro seções . Estas seções estão descritas a seguir:

A primeira seção é dedicada a “Qualificação da empresa respondente” e busca caracterizar a indústria. Tem por objetivo obter informações gerais das indústrias e definir parâmetros para clusterização das respostas.

A segunda seção é destinada a verificação do uso de “Metodologias e ferramentas aplicadas a manutenção”. As metodologias e ferramentas verificadas nesta seção foram descritas na revisão bibliográfica e são: Manutenção Produtiva Total (TPM), Controle da qualidade Total (TQC), Manutenção Centrada em confiabilidade (RCM), *Lean Maintenance*, FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e RCA (*Root Cause Analysis*).

A terceira seção é destinada a verificação de “Princípio dos sistema de Gestão de Manutenção” e da importância dada pelas empresas aos pilares do

sistema de gestão manutenção de Marquez e Gupta (2006) que são: Gestão e qualificação das pessoas, Rotinas e métodos de engenharia de manutenção e a Digitalização e software de gestão da manutenção. Esta seção Também contém a pesquisa dos elementos que compoem os sistema de gestão. Estes elementos foram adaptado de de Crosby (1979), Fernandez, Labib e Petty (2003), Pintelon (2006) e Oliveira (2017). Os elementos estão descritos a seguir:

- Indicadores e Metas de Manutenção, esta seção tem por objetivo identificar o uso de indicadores de desempenho na gestão da manutenção;
- Organização Funcional e da equipe, esta seção pretende avaliar o grau de organização, treinamento e capacitação da equipe de manutenção
- Planejamento, programação e execução da Manutenção, nesta seção pretende-se identificar o grau de organização e planejamento, programação e execução das rotinas de manutenção na empresa;
- Tratamento de Falhas, nesta seção pretende-se identificar a forma de atuação da organização com relacionada ao tratamento de falhas e ações preventivas;
- Estrutura de oficinas e ferramentas, nesta seção pretende-se identificar a organização física de oficinas e a disponibilidade de ferramentas e Equipamentos de segurança;
- Participação do Operador Mantenedor, nesta seção pretende-se identificar o envolvimento da área de operação nos processos e rotinas da manutenção.

A quarta e última seção, chamada de “Manutenção na indústria 4.0” destina-se a verificar a aplicabilidade das nove tecnologias da indústria 4.0 (BCG, 2018) nos processo de manutenção. As nove tecnologias são: *Big Data*, Integração de sistemas, *Industrial Internet of Things*, Realidade aumentada, Robotização, Manufatura aditiva, Simulação, Computação em Nuvem e *Cyber* segurança.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Para a construção do modelo proposto neste trabalho a metodologia aplicada consistiu em:

- Realizar revisão bibliográfica para conhecer os modelos de avaliação de maturidade existentes;
- Realizar uma pesquisa exploratória e testar hipóteses para identificar tópicos relevantes para a construção do modelo;
- Propor modelo de avaliação da maturidade incorporando as nove tecnologias da indústria 4.0 aos modelos encontrados na revisão bibliográfica e resultados da pesquisa exploratória;
- Testar o modelo e avaliar resultados.

4 ANÁLISE E RESULTADOS

Para realizar a pesquisa exploratória foi enviado o questionário online do apêndice I para todas as 17.734 empresas com cadastro no (IBGE, 2019). Durante o período de 01/11/2019 a 31/12/2019 e foram obtidas 254 respostas..

A seção 1 do questionário exploratório é destinada a categorização das empresas e apresenta dados como ramo de atuação, tamanho e origem da empresa.

A tabela 7 apresenta a relação entre o tamanho da empresa e sua origem.

TABELA 7 – RELAÇÃO PORTE E ORIGEM DA EMPRESA

Porte da Empresa	Multinacional	Nacional	Total
Grandes empresas - 500 ou mais empregados	35	50	85
Médio porte - de 100 a 499 empregados	10	53	63
Pequeno Porte (EPP) - de 20 a 99 empregados	2	49	51
Microempresa (ME) - até 19 funcionários		55	55
Total	47	207	254

Fonte: O autor (2020).

As empresas de grande e médio porte representam a maioria das respostas e importam em 58% dos respondentes.

A tabela 8 representa relação das empresas respondentes por setor.

TABELA 8 – QUANTIDADE DE RESPOSTAS POR SETORES

Setor	Respostas
Alimentos e bebidas	69
Máquinas e equipamentos	29
Vestuário	25
Metalurgia	25
Veículos automotores	19
Químicos	14
Outros	12
Minerais não metálicos	12
Eletro eletrônico	10
Móveis	8
Borracha e material plástico	7
Madeira	7
Celulose e papel	6
Farmacêutica	4
Couro e Calçados	3
Produtos de metal	3
Têxteis	1
Total Geral	254

Fonte: O autor(2020)

4.1 ANÁLISE E TESTE DAS HIPÓTESES

Para realizar os testes de hipótese foi realizada a Análise de Variância, que é uma técnica utilizada para estudar as diferenças entre médias de duas ou mais populações (MARQUES, 2005). Foi utilizado o software Minitab com os parâmetros indicados em cada figura de análise das hipóteses.

A seção 2 do questionário exploratório perguntou a frequência com as empresas aplicam as metodologias e ferramentas de qualidade nos processos de manutenção. As respostas foram pontuadas como: 1 – Nunca, 2 – Raramente, 3 – Ocasionalmente, 4 - Frequentemente e 5 – Muito frequentemente. Para o resultado do testes de hipóteses da seção 2, foram encontradas as seguintes respostas:

- H_{01} : Não existe diferença significativa entre as metodologias e ferramentas da qualidade aplicada à manutenção.

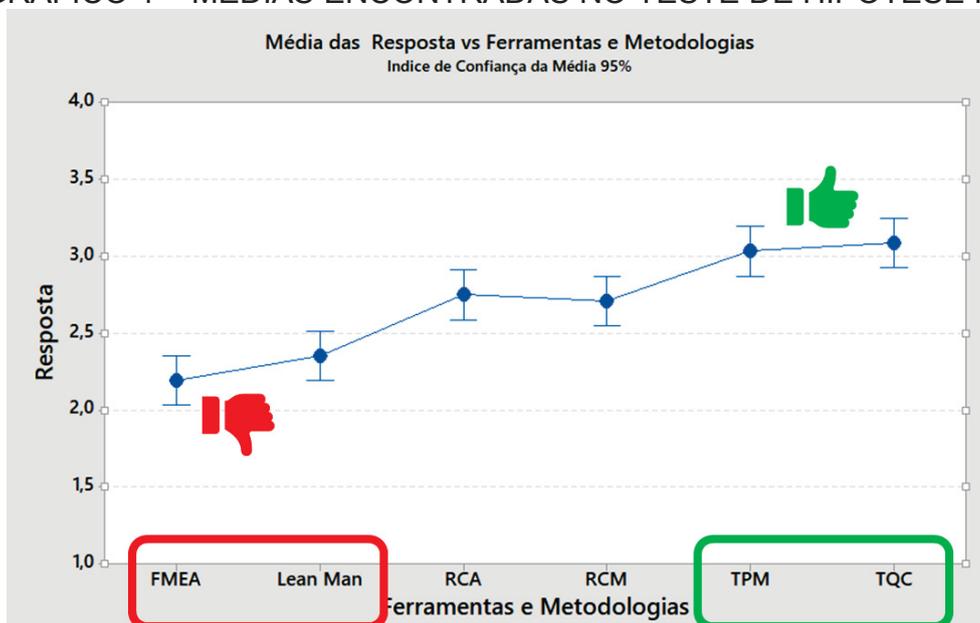
A figura 15 apresenta os resultados do teste de hipótese H_{01} .

FIGURA 15 – TESTE DE HIPÓTESE H_{01}

One-way ANOVA: Resposta versus Ferramentas e Metodologias					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Ferramentas e Metodologias	6	FMEA; Lean Man; RCA; RCM; TPM; TQC			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ferramentas e Metodologias	5	161,8	32,352	18,84	0,000
Error	1518	2606,7	1,717		
Total	1523	2768,4			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para empresas de porte diferente. O gráfico 1 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 1 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{01} 

Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 1 pode-se afirmar que o TQC e TPM destacam-se das demais metodologias e ferramentas de qualidade aplicadas à manutenção. Já o FMEA possui a mais baixa utilização.

- H₀₂: Não existe diferença significativa na utilização das metodologias e ferramentas da qualidade aplicada à manutenção em relação ao porte da empresa;

A figura 16 apresenta os resultados do teste de hipótese H₀₂.

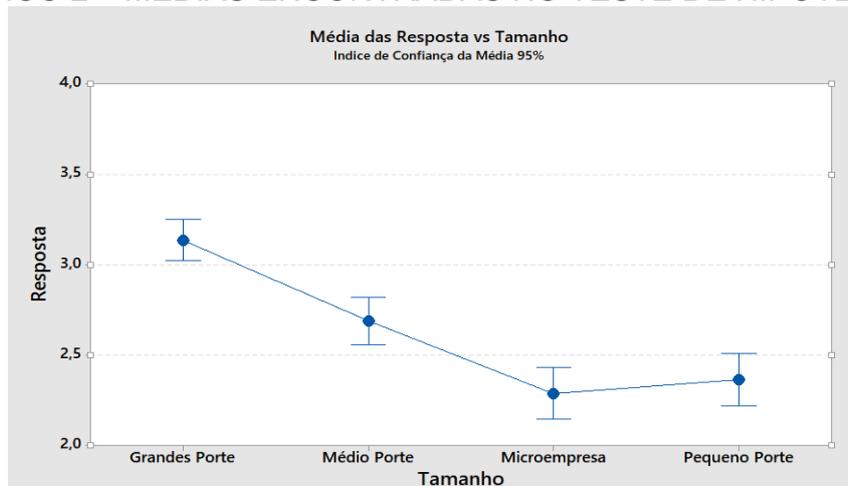
FIGURA 16 – TESTE DE HIPÓTESE H₀₂.

One-way ANOVA: Resposta versus Tamanho					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Tamanho	4	Grandes Porte; Médio Porte; Microempresa; Pequeno Porte			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tamanho	3	187,2	62,411	36,75	0,000
Error	1520	2581,2	1,698		
Total	1523	2768,4			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para empresas de porte diferente. O gráfico 2 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 2 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₀₂



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 2 pode-se afirmar que as empresas de grande porte têm uma utilização maior das metodologias e ferramentas de qualidade

aplicadas à manutenção do que as empresas de pequeno porte e microempresas.

- H_{03} : Não existe diferença significativa na utilização das metodologias e ferramentas da qualidade aplicada à manutenção em relação à origem da empresa;

A figura 17 apresenta os resultados do teste de hipótese H_{03}

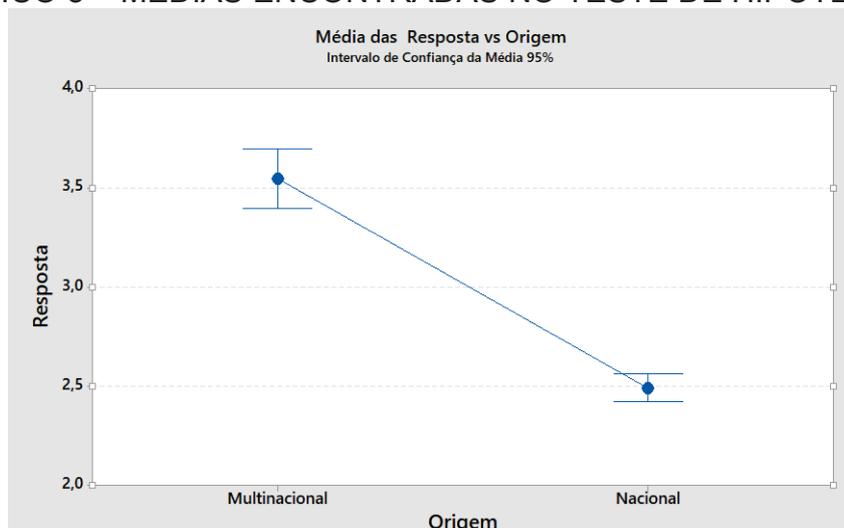
FIGURA 17 – TESTE DE HIPÓTESE H_{03}

One-way ANOVA: Resposta versus Origem					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Origem	2	Multinacional; Nacional			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Origem	1	254,1	254,056	153,78	0,000
Error	1522	2514,4	1,652		
Total	1523	2768,4			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para a origem das empresas. O gráfico 3 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 3 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{03}



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 3 pode-se afirmar que as empresas de origem multinacional têm uma utilização maior das metodologias e ferramentas de qualidade aplicadas à manutenção do que as empresas nacionais.

- H₀₄: Não existe diferença significativa na utilização das metodologias e ferramentas da qualidade aplicada à manutenção em relação aos ramos de atividade.

A figura 18 apresenta os resultados do teste de hipótese H₀₄.

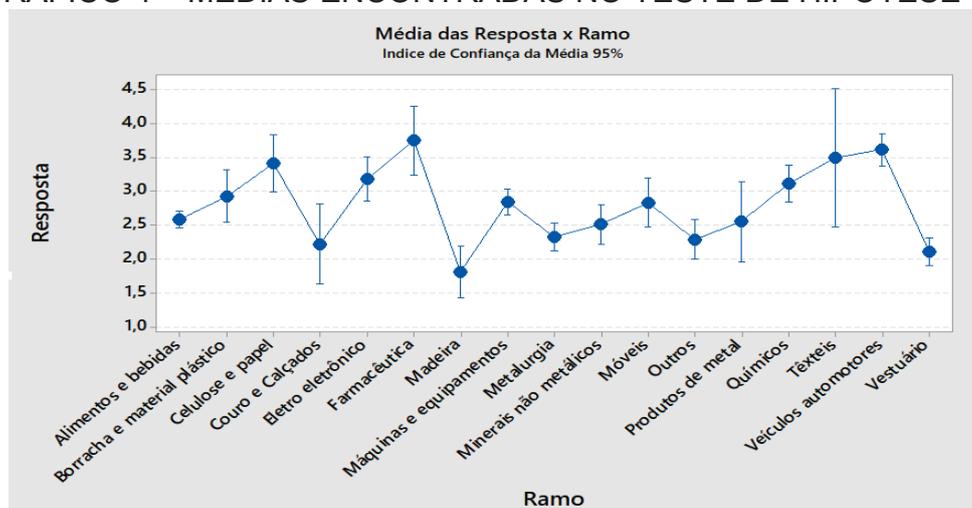
FIGURA 18 – TESTE DE HIPÓTESE H₀₄

One-way ANOVA: Resposta versus Ramo					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Ramo	17	Alimentos e bebidas; Borracha e material plástico; Celulose e papel; Couro e Calçados; Eletro eletrônico; Farmacêutica; Madeira; Máquinas e equipamentos; Metalurgia; Minerais não metálicos; Móveis; Outros; Produtos de metal; Químicos; Têxteis; Veículos automotores; Vestuário			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ramo	16	311,4	19,463	11,94	0,000
Error	1507	2457,0	1,630		
Total	1523	2768,4			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para empresas de ramos diferentes. O gráfico 4 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 4 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₀₄



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 4 pode-se afirmar que as empresas do ramo farmacêutico, veículos automotores e celulose e papel destacam-se das demais, pois possuem uma utilização maior das metodologias e ferramentas de qualidade aplicadas à manutenção. Já as indústrias madeireiras, vestuário e calçadista possuem a utilização mais baixa.

A seção 3 do questionário exploratório perguntou a importância com que as empresas consideram os pilares do sistema de gestão de manutenção apresentados por Marquez e Gupta (2006). As respostas têm sua pontuação variando de 1 a 5, sendo 1 – Nada Importante e 5 – Extremamente Importante.

Para a seção 3, relacionada à importância dos Pilares do sistema de gestão da manutenção, foram testadas as seguintes hipóteses:

- H₀₅: Não existe diferença significativa na importância entre os pilares aplicados à manutenção.

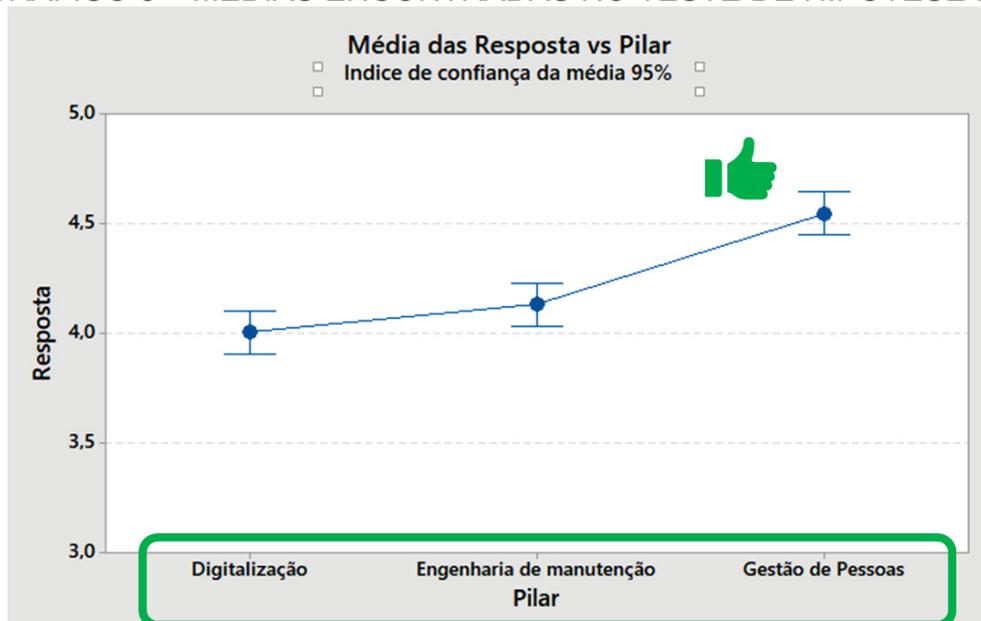
A figura 19 apresenta os resultados do teste de hipótese H₀₅.

FIGURA 19 – TESTE DE HIPÓTESE H₀₅

One-way ANOVA: Resposta versus Pilar					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Pilar	3	Digitalização; Engenharia de manutenção; Gestão de Pessoas			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Pilar	2	41,08	20,5407	31,65	0,000
Error	759	492,64	0,6491		
Total	761	533,72			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para os pilares do sistema de gestão da manutenção. O gráfico 5 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 5 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₀₅

Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 5 pode-se afirmar que os três pilares são considerados muito importantes. O pilar com maior importância é o relacionado à gestão de pessoas.

- H₀₆: Não existe diferença significativa na importância dos pilares aplicados à manutenção em relação ao porte da empresa;

A figura 20 apresenta os resultados do teste de hipótese H₀₆.

FIGURA 20 – TESTE DE HIPÓTESE H₀₆

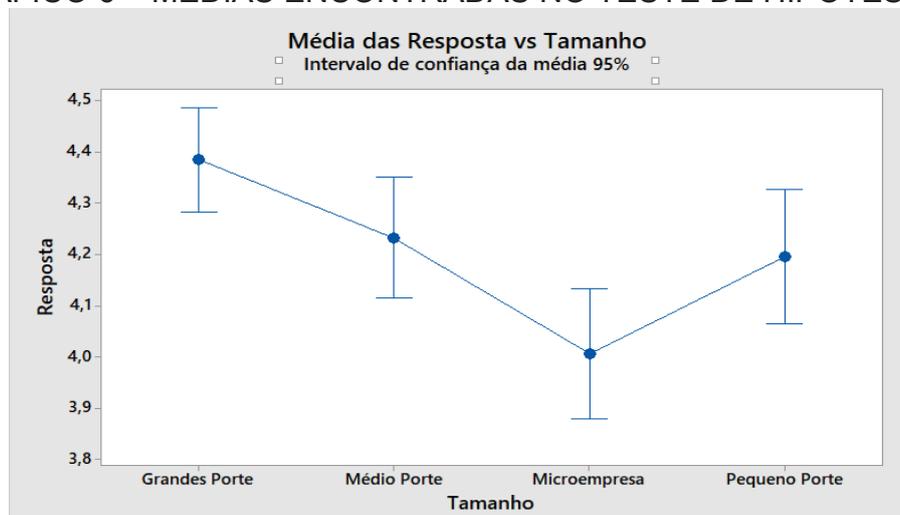
One-way ANOVA: Resposta versus Tamanho					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Tamanho	4	Grandes Porte; Médio Porte; Microempresa; Pequeno Porte			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tamanho	3	14,52	4,8392	7,06	0,000
Error	758	519,21	0,6850		
Total	761	533,72			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as

médias das respostas para empresas de tamanhos diferentes. O gráfico 6 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 6 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₀₆



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 6, pode-se afirmar que todas as empresas pontuaram com alta importância todos os pilares, pois a média delas ficou acima de 4. O destaque são as empresas de grande e médio porte, que tiveram as maiores pontuações.

- H₀₇: Não existe diferença significativa na importância dos pilares aplicados à manutenção em relação à origem da empresa;

A figura 21 apresenta os resultados do teste de hipótese H₀₇.

FIGURA 21 – TESTE DE HIPÓTESE H₀₇

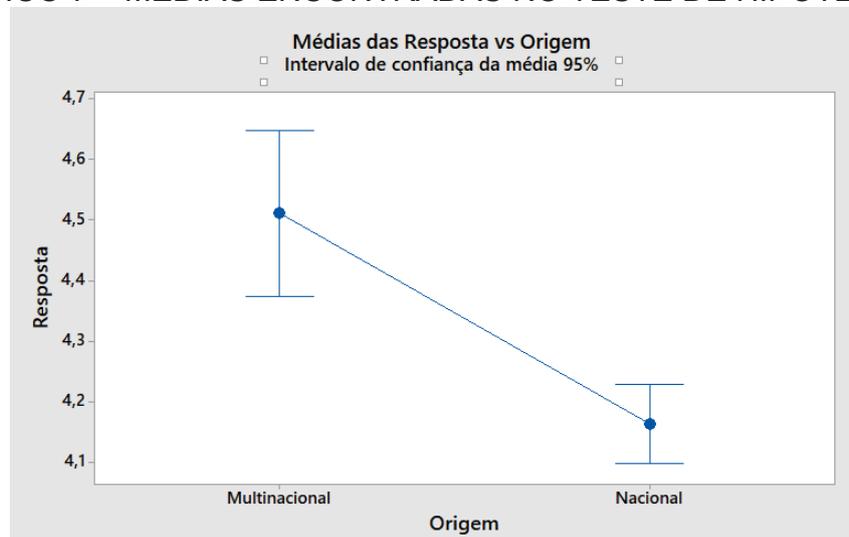
One-way ANOVA: Resposta versus Origem						
Method						
Null hypothesis	All means are equal					
Alternative hypothesis	At least one mean is different					
Significance level	$\alpha = 0,05$					
Equal variances were assumed for the analysis.						
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
Origem	2	Multinacional; Nacional				
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Origem	1	13,92	13,9158	20,35	0,000	
Error	760	519,81	0,6840			
Total	761	533,72				

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as

médias das respostas para empresas de origens diferente. O gráfico 7 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 7 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₀₇



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 7 pode-se afirmar que as empresas multinacionais pontuaram os pilares com maior importância que as nacionais.

- H₀₈: Não existe diferença significativa na importância dos pilares aplicados à manutenção em relação aos ramos de atividade.

A figura 22 apresenta os resultados do teste de hipótese H₀₈.

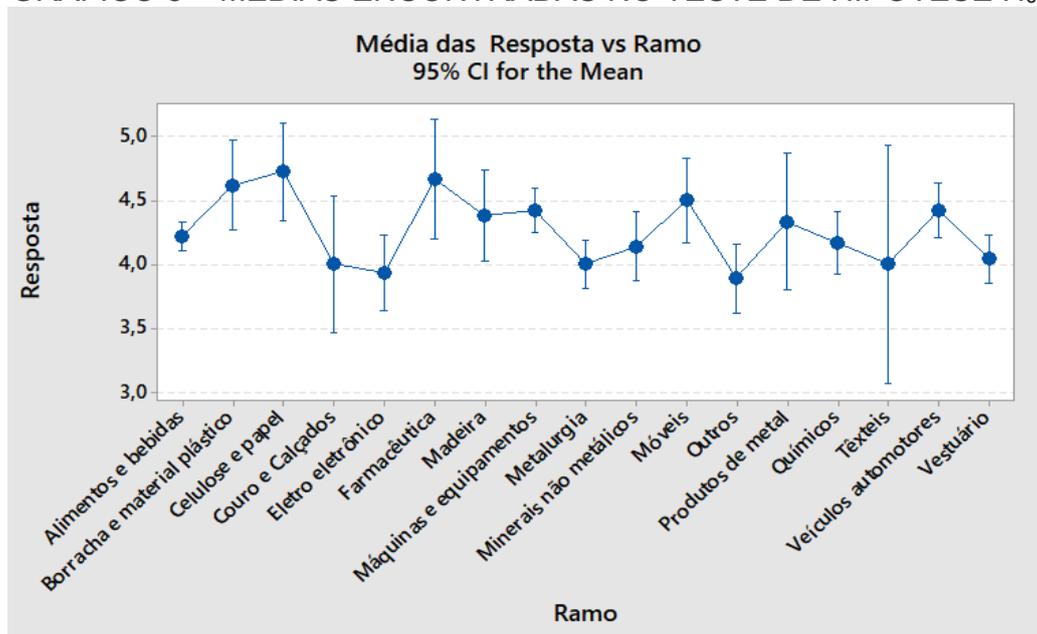
FIGURA 22 – TESTE DE HIPÓTESE H₀₈

One-way ANOVA: Resposta versus Ramo						
Method						
Null hypothesis	All means are equal					
Alternative hypothesis	At least one mean is different					
Significance level	$\alpha = 0,05$					
Equal variances were assumed for the analysis.						
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
Ramo	17	Alimentos e bebidas; Borracha e material plástico; Celulose e papel; Couro e Calçados; Eletro eletrônico; Farmacêutica; Madeira; Máquinas e equipamentos; Metalurgia; Minerais não metálicos; Móveis; Outros; Produtos de metal; Químicos; Têxteis; Veículos automotores; Vestuário				
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Ramo	16	32,16	2,0102	2,99	0,000	
Error	745	501,56	0,6732			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para empresas de ramos diferente. O gráfico 8 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 8 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₀₈



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 8 pode-se afirmar que, apesar de todos os ramos considerarem alta a importância dos pilares, as empresas do ramo papel e celulose, farmacêutica e plásticos e borrachas destacam-se das demais pelo fato de que apresentaram as respostas mais altas.

A segunda parte da seção 3 do questionário exploratório tem como objeto a importância dos elementos do sistema de manutenção. Assim como na parte relacionada aos pilares, as respostas têm sua pontuação variando de 1 a 5, sendo 1 – Nada Importante e 5 – Extermamente Importante. Para os elementos do sistema de gestão foram testadas as seguintes hipóteses:

- H₀₉: Não existe diferença significativa entre a importância dos elementos do sistema de manutenção.

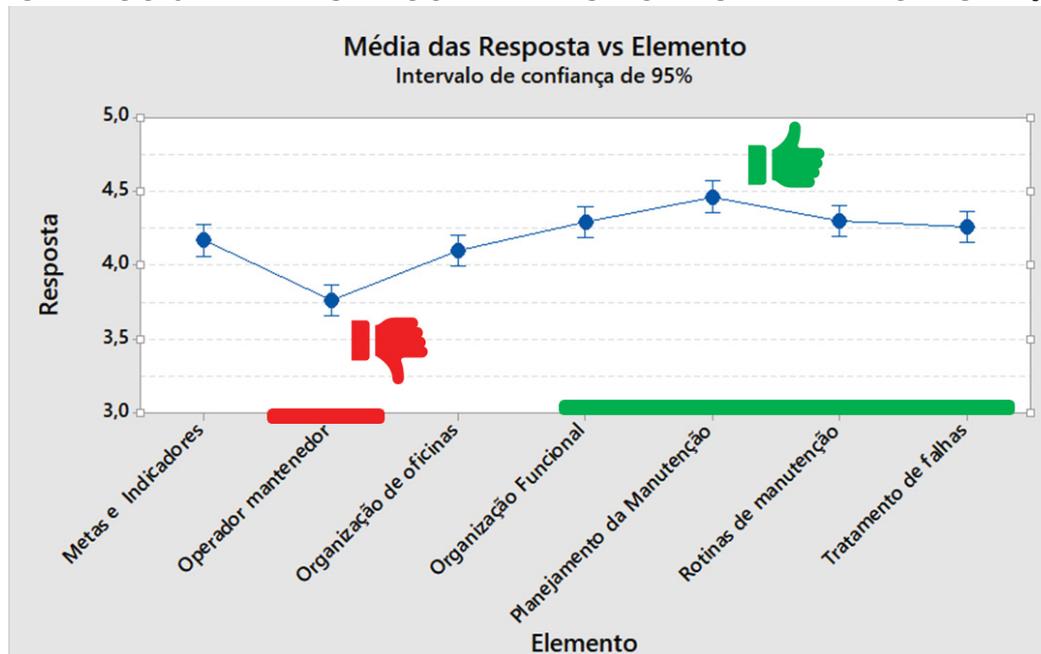
A figura 23 apresenta os resultados do teste de hipótese H₀₉.

FIGURA 23 - TESTE DE HIPÓTESE H₀₉

One-way ANOVA: Resposta versus Elemento					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Elemento	7	Metas e Indicadores; Operador mantenedor; Organização de oficinas; Organização Funcional; Planejamento da Manutenção; Rotinas de manutenção; Tratamento de falhas			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Elemento	6	74,21	12,3688	16,66	0,000
Error	1771	1314,62	0,7423		
Total	1777	1388,83			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para os elementos dos sistema de gestão. O gráfico 9 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese H₀₉.

GRÁFICO 9 – MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₀₉

Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 9 pode-se afirmar que, apesar de todas os elementos, Planejamento de Manutenção, Rotinas de PCM e Organização funcional das equipes de manutenção têm importância maior que os demais. O

elemento de relacionado ao operador mantenedor e a participação das equipes de produção nas atividades de manutenção teve a menor média.

- H_{10} : Não existe diferença significativa na importância dos elementos do sistema de manutenção em relação ao porte da empresa;

A figura 24 apresenta os resultados do teste de hipótese H_{10} .

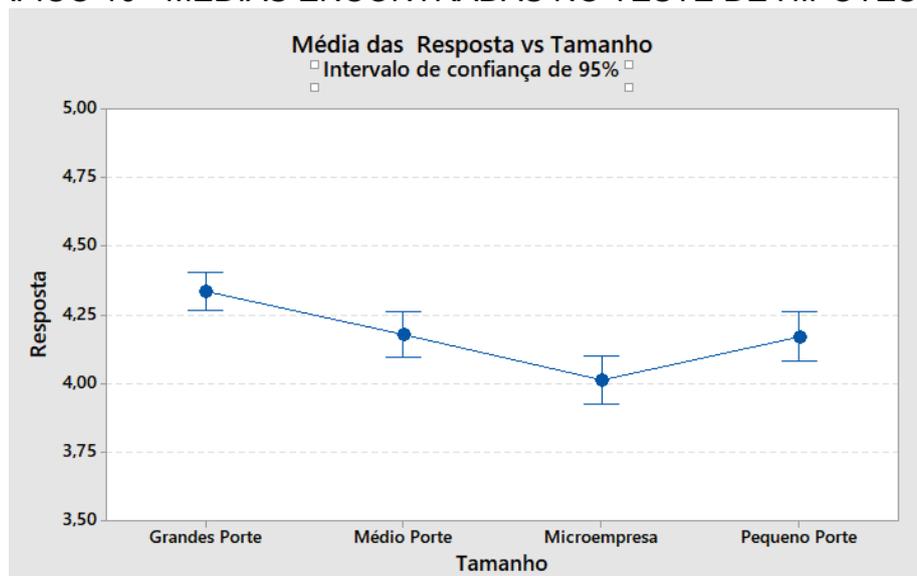
FIGURA 24 - TESTE DE HIPÓTESE H_{10}

One-way ANOVA: Resposta versus Tamanho					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Tamanho	4	Grandes Porte; Médio Porte; Microempresa; Pequeno Porte			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tamanho	3	25,00	8,3345	10,84	0,000
Error	1774	1363,83	0,7688		
Total	1777	1388,83			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para empresas de portes diferente. O gráfico 10 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese H_{10} .

GRÁFICO 10 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H_{10}



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 10 observa-se que os pilares da gestão da manutenção de Gupta tem alta importância para todos os porte de empresa. As grandes empresas apresentam a média mais alta e as micro empresas apresentaram média mais baixa.

- H₁₁: Não existe diferença significativa na importância dos elementos do sistema de manutenção em relação à origem da empresa;

A figura 25 apresenta os resultados do teste de hipótese H₁₁.

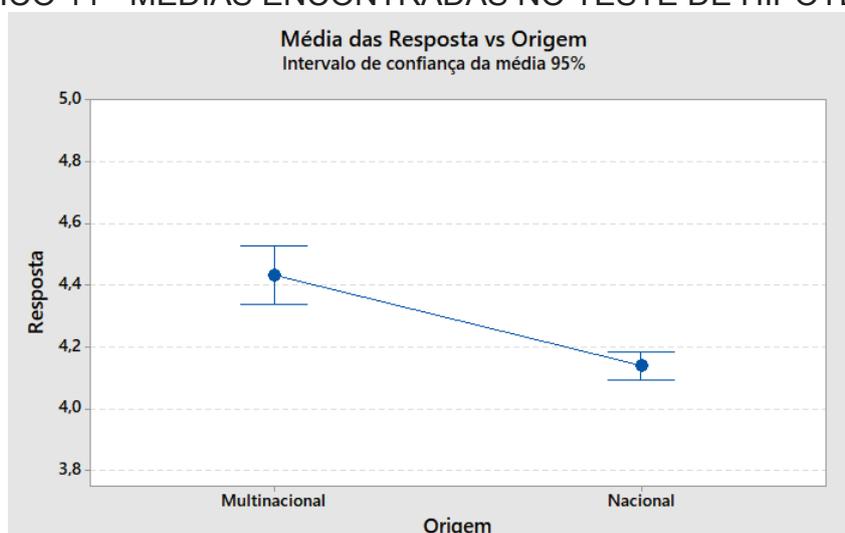
FIGURA 25 – TESTE DE HIPÓTESE H₁₁

One-way ANOVA: Resposta versus Origem					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Origem	2	Multinacional; Nacional			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Origem	1	23,00	23,0015	29,91	0,000
Error	1776	1365,83	0,7690		
Total	1777	1388,83			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para empresas de origens diferente. O gráfico 11 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 11 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₁₁



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 11 pode-se afirmar que ambas as empresas consideram os elementos do sistema de gestão muito importantes, mas as empresas multinacionais consideram mais alta a importância dos elementos do que as nacionais.

- H₁₂: Não existe diferença significativa na importância dos elementos do sistema de manutenção em relação aos ramos de atividade.

A figura 26 apresenta os resultados do teste de hipótese H₁₂.

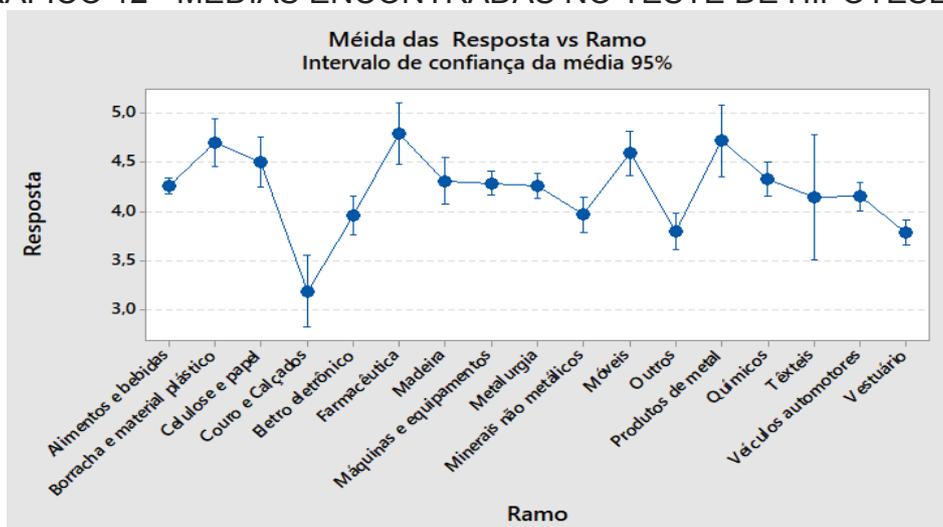
FIGURA 26- TESTE DE HIPÓTESE H₁₂

One-way ANOVA: Resposta versus Ramo					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Ramo	17	Alimentos e bebidas; Borracha e material plástico; Celulose e papel; Couro e Calçados; Eletro eletrônico; Farmacêutica; Madeira; Máquinas e equipamentos; Metalurgia; Minerais não metálicos; Móveis; Outros; Produtos de metal; Químicos; Têxteis; Veículos automotores; Vestuário			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ramo	16	118,8	7,4249	10,30	0,000
Error	1761	1270,0	0,7212		
Total	1777	1388,8			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para empresas de ramos diferentes. O gráfico 12 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 12 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₁₂



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 12 pode-se afirmar que os setores de plásticos, farmacêutico e protudos de metal consideram alta a importância dos elementos do sistema de gestão. Já os ramos de vestuário, couro e calçados entendem que os elementos do sistema de gestão apresentam importância média.

Para o resultado dos testes de hipóteses da seção 4, foram encontradas as seguintes respostas:

- H₁₃: Não existe diferença significativa entre as tecnologias da indústria 4.0 aplicadas nos processos de manutenção.

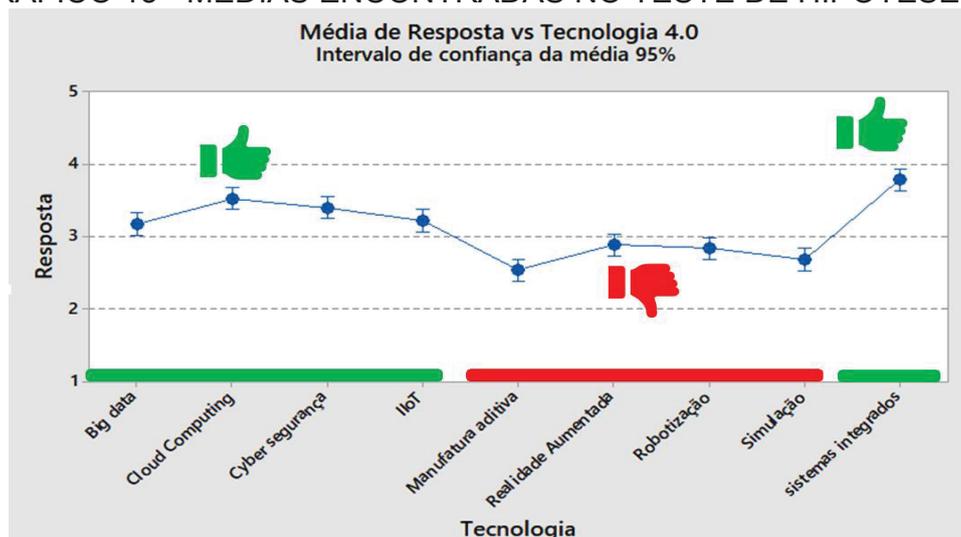
A figura 27 apresenta os resultados do teste de hipótese H₁₃.

FIGURA 27 - TESTE DE HIPÓTESE H₁₃

One-way ANOVA: Resposta versus Tecnologia					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Tecnologia	9	Big data; Cloud Computing; Cyber segurança; IIoT; Manufatura aditiva; Realidade Aumentada; Robotização; Simulação; sistemas integrados			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tecnologia	8	350,6	43,820	27,75	0,000
Error	2277	3595,3	1,579		
Total	2285	3945,8			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para perspectiva de utilização das nove tecnologias de indústria 4.0 nos processos de manutenção. O gráfico 13 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 13 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₁₃

Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 13, pode-se afirmar que os sistemas integrados possuem maior perspectiva de utilização na manutenção seguidos da computação em nuvem, *cyber* segurança, internet das coisas e *big data*. Já as tecnologias de manufatura aditiva, realidade aumentada, robotização e simulação possuem menor perspectiva de utilização.

- H₁₄: Não existe diferença significativa na aplicação das tecnologias da indústria 4.0 nos processos de manutenção em relação ao porte da empresa.

A figura 28 apresenta os resultados do teste de hipótese H₁₄.

FIGURA 28 - TESTE DE HIPÓTESE H₁₄

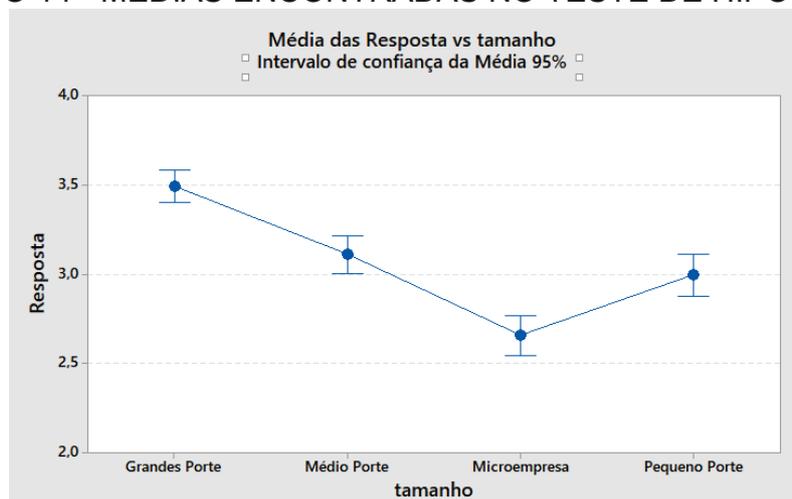
One-way ANOVA: Resposta versus tamanho					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
tamanho	4	Grandes Porte; Médio Porte; Microempresa; Pequeno Porte			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
tamanho	3	219,8	73,259	44,87	0,000
Error	2282	3726,0	1,633		
Total	2285	3945,8			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para empresas de tamanhos diferentes.

O gráfico 14 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 14 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₁₄



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 14 pode-se afirmar que a perspectiva de utilização das tecnologias da indústria 4.0 são maiores nas indústrias de grande e médio porte.

- H₁₅: Não existe diferença significativa na aplicação das tecnologias da indústria 4.0 nos processos de manutenção em relação à origem da empresa;

A figura 29 apresenta os resultados do teste de hipótese H₁₅.

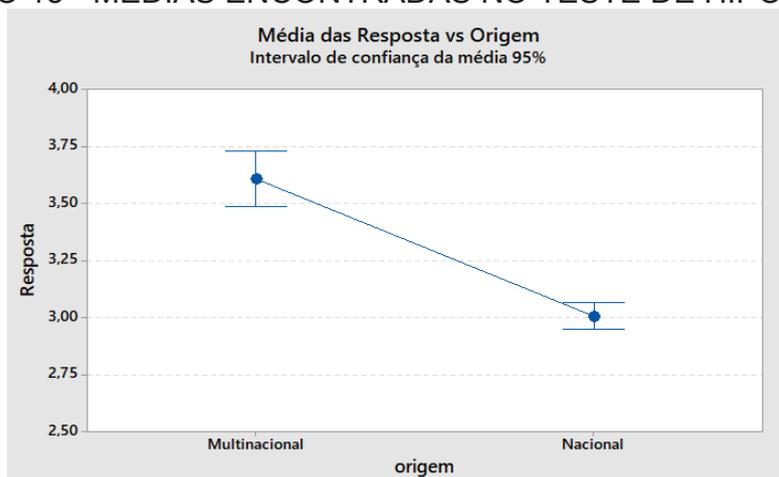
FIGURA 29 - TESTE DE HIPÓTESE H₁₅

One-way ANOVA: Resposta versus origem					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
origem	2	Multinacional; Nacional			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
origem	1	125,0	125,013	74,73	0,000
Error	2284	3820,8	1,673		
Total	2285	3945,8			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para empresas de origens diferentes. O gráfico 15 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 15 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₁₅



Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 15 pode-se afirmar que as empresa de origem internacional apresentam maior perspectiva de utilização das tecnologias 4.0 do que as empresas nacionais.

- H₁₆: Não existe diferença significativa na aplicação das tecnologias da indústria 4.0 nos processos de manutenção em relação aos setores.

A figura 30 apresenta os resultados do teste de hipótese H₁₆.

FIGURA 30 - TESTE DE HIPÓTESE H₁₆

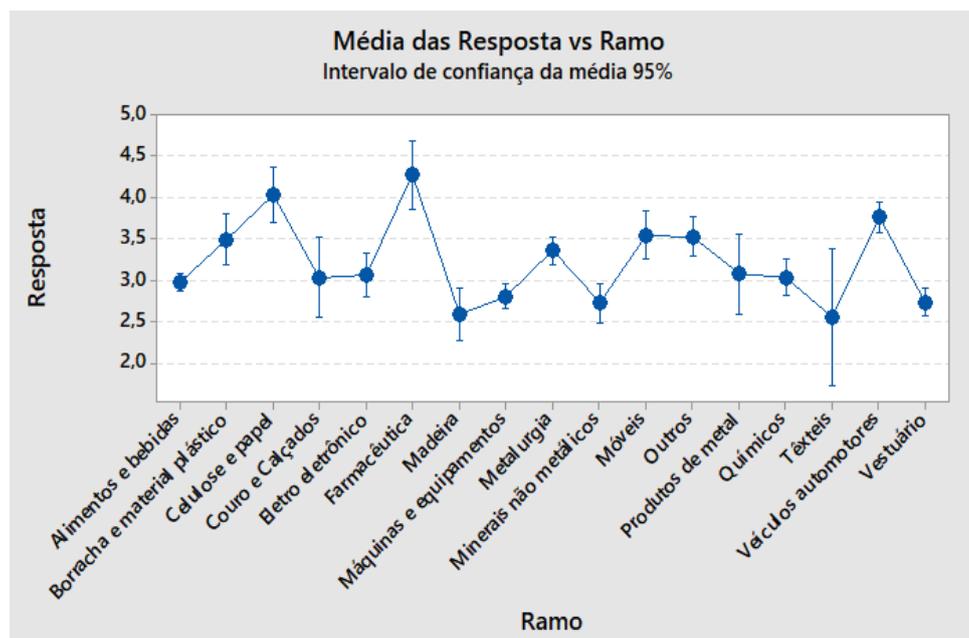
One-way ANOVA: Resposta versus Ramo					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0,05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Ramo	17	Alimentos e bebidas; Borracha e material plástico; Celulose e papel; Couro e Calçados; Eletro eletrônico; Farmacêutica; Madeira; Máquinas e equipamentos; Metalurgia; Minerais não metálicos; Móveis; Outros; Produtos de metal; Químicos; Têxteis; Veículos automotores; Vestuário			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ramo	16	327,5	20,470	12,84	0,000
Error	2269	3618,3	1,595		
Total	2285	3945,8			

Fonte: O autor (2020)

Como o resultado do teste apontou P-valor = 0,00 menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, conclui-se que existe diferença significativa entre as médias das respostas para empresas de ramos diferentes.

O gráfico 16 apresenta as médias calculadas para o teste de hipótese.

GRÁFICO 16 - MÉDIAS ENCONTRADAS NO TESTE DE HIPÓTESE H₁₆



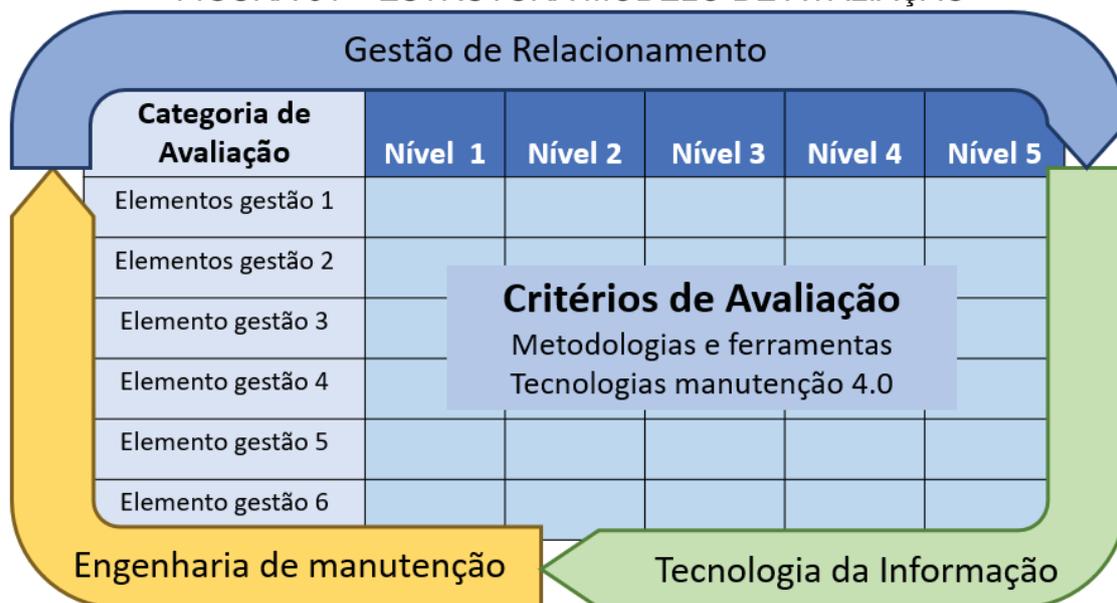
Fonte: O autor (2020)

Observando o gráfico 16 pode-se afirmar que a perspectiva de utilização das tecnologias da indústria 4.0 é maior nos ramos farmacêutico, celulose e papel e veículos automotores, já os ramos de madeira, têxteis e vestuário possuem perspectiva de utilização mais baixa.

5 . CONSTRUÇÃO DO MODELO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE

A construção da estrutura do modelo de diagnóstico do grau de maturidade é composta por categorias de avaliação, 5 níveis de maturidade seguindo a mesma estrutura encontrada nos modelos de Crosby (1979), Fernandez, Labib e Petty (2003), Oliveira (2017) e CMMI (2019). A estrutura está representada na figura 31.

FIGURA 31 – ESTRUTURA MODELO DE AVALIAÇÃO



Fonte: O autor (2020)

A nomenclatura dada aos 5 níveis de maturidade difere entre os autores. Crosby (1979) e Fernandez (2003) usam as nomenclaturas: Incerteza; Despertar, Esclarecimento; Sabedoria e Certeza. Já a CMMI (2019) utiliza: Inicial, Gerenciado, Definido, Gerenciamento Quantitativo e Otimizado. Por fim, Oliveira (2017) não nomeia os níveis de avaliação. Para definir os níveis de avaliação e construção do modelo orientado para indústria 4.0, considerou-se o conceito de evolução da manutenção de Kardec (2013) e os autores anteriormente citados, deste forma adotou-se os seguintes níveis: Nível 1 – Inicial; Nível 2 – Estabelecido; Nível 3 – Gerenciado; Nível 4 – Otimizado e Nível 5 – Digitalizado e Conectado

Para a definição das categorias de avaliação adotou-se os elementos do sistema de gestão da pesquisa exploratória, que são: Metas e Gestão de Indicadores; Organização Funcional e da Equipe de Manutenção; Planejamento da Manutenção; Rotinas de PCM (planejamento e Controle de Manutenção) e Programação da Manutenção; Tratamento de Falhas e Melhoria Contínua e Organização de Oficinas e Ferramentas. O elemento relacionado Participação do Operador Mantenedor foi desconsiderado como categoria de avaliação por ter sido avaliação com menor importância na pesquisa

exploratória e por corroborar com os modelos de avaliação de Crosby (1979), Fernandez (2003) e Oliveira (2017).

O quadro 13 apresenta o modelo para a categoria de avaliação Metas e Gestão de Indicadores.

QUADRO 13 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - METAS E GESTÃO DE INDICADORES

Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Não existem indicadores e metas definidos. • Desperdícios e perdas geradas pela manutenção são controlados informalmente
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • Existem alguns indicadores técnicos e de custos de manutenção. • Metas são estabelecidas principalmente de controle de custos. • Sistemática de check de metas informal e desvios tratados sob demanda
Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores técnicos e de custos calculados e monitorados regularmente. • Metas baseadas na eficiência da fábrica, redução de custos e indicadores técnicos dos equipamentos e processos. • Sistemática de check de indicadores formal, com responsabilidades definidas e plano de ação para correção de desvios
Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores técnicos, econômicos e organizacionais confiáveis calculados e analisados periodicamente, apoiando a tomada de decisão a projetos de melhoria contínua estabelecido. • Metas compartilhadas entre as áreas com planos de melhoria estabelecidos.
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores monitorados e controlados em tempo real. • Metas flexíveis definida com auxílio da simulação de processos. • Uso de ferramentas de <i>maintenance analytics</i> e <i>big data</i>.

Fonte: Adaptado de Fernandez (2003) e Oliveira (2017)

O Quadro 14 apresenta o modelo para a categoria de avaliação Organização Funcional e da equipe de manutenção.

QUADRO 14 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL E DA EQUIPE DE MANUTENÇÃO

(continua)

Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Alta administração não demonstra preocupação com a manutenção. • Equipe de manutenção com baixo conhecimento e não existem ações de desenvolvimento das pessoas.
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • A alta manutenção reconhece a importância da manutenção. • Sistema de manutenção baseado principalmente na experiência e conhecimento das pessoas. • Nenhum envolvimento de outras áreas nas atividades de manutenção.

(conclusão)

Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> Alta administração considera a manutenção como uma função estratégica e fornece todos os recursos necessários para as equipes de manutenção. Organograma e funções da equipe bem definidas. Habilidades técnicas e comportamentais são desenvolvidas nas equipes. Funções das equipes conhecidas e seguidas no dia a dia.
Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> Liderança ativa e focada em ações de desenvolvimento das pessoas. Equipes participativas, polivalentes e conhecedoras das rotinas do trabalho e da manutenção dos equipamentos Manutenção e produção atuam em conjunto para manter a performance dos processos
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> Necessidades de treinamento definidas por ferramentas analíticas. Plano de treinamento das equipes orientado para a melhoria dos processos. Uso de simulação e realidade aumentada na realização dos treinamentos.

Fonte: Adaptado de Fernandez (2003) e Oliveira (2017)

O quadro 15 apresenta o modelo para a categoria de avaliação Planejamento de manutenção.

QUADRO 15 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO

(continua)

Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> Nenhum CMMS é utilizado. Portfólio de equipamentos desconhecido e documentação técnica incompleta. Não existe definição da criticidade de equipamentos. Nenhum planejamento de custos para a manutenção. Planos de manutenção informais. Não existem planos de manutenção definidos para os equipamentos.
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> Utilização CMMS não integradas com os demais sistemas. Portfólio de equipamentos conhecido e documentos técnicos disponíveis Manutenção atua corretivamente, mas reconhece-se a necessidade em atuar de forma preventiva. Planejamento não é rotina, existem atrasos e ações programadas não concluídas. Equipamentos com criticidade (ABC) definido, porém, não existe política de manutenção definida. Orçamento definido com base em gastos históricos. Existem planos de lubrificação e preventivas baseados em tempo.

(continua)

(conclusão)

Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • CMMS completo com todas as necessidades da manutenção, porém não amplamente utilizado. • Portfólio de equipamento completo com lista de peças e documentação técnica disponível. • Manutenção planejada é considerada importante para atingir os objetivos da organização. • Todos os equipamentos avaliados criticamente, existe uma política de manutenção definida orientando a criação de planos de manutenção. • Planejamento realizado com base na experiência da equipe e recomendações do fabricante dos equipamentos. • Orçamento da manutenção definido com base em drives por tipo de processo e atividade. • O CMMS contém os planos de manutenção e gera ordens de manutenção periodicamente.
Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • CMMS com todas as funções disponíveis e adequadamente utilizados. • Documentação técnica disponível "on-line" • Manutenção é considerada importante para atingir os objetivos da organização. • Planejamento da manutenção atua de forma proativa, planejamento, melhoria nos equipamentos com vistas ao aumento da produtividade, redução de custos e melhoria da qualidade. • Planejamento das atividades revisto em função da taxa de falhas e da monitorização do equipamento. • Orçamento definido e gerenciado exclusivamente em drives por tipo de processo e atividade. • Planos de manutenção de equipamentos críticos elaborado com auxílio de metodologias como RCM e FMEA de acordo com a política de manutenção. • Funções requeridas e parâmetros de operação do equipamento conhecido e monitorado com técnicas de manutenção preditiva. • CMMS gera programações de atividades de manutenção planejada e é usado para apoiar o processo de tomada de decisão. • Análise e revisão sistêmica dos planos com foco nos desperdícios <i>Lean Maintenance</i>.
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • CMMS apoia todas as funções da gestão da manutenção, é totalmente integrado e ligado à nuvem. • Monitoramento <i>on-line</i> para detecção de falha. • Acesso à documentação técnica disponível em nuvem e com uso da realidade aumentada. • Planejamento da manutenção é apoiado por <i>maintenance analytics e Big data</i>.

Fonte: Adaptado de Fernandez (2003) e Oliveira (2017)

O quadro 16 apresenta o modelo para a categoria de avaliação Rotinas de PCM e Execução da Manutenção.

QUADRO 16 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - ROTINAS DE PCM E EXECUÇÃO DA MANUTENÇÃO

(continua)

Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Execução de manutenções corretivas é mais valorizada que ações preventivas • Atividades de manutenção preventiva são executadas de forma volutária pela equipe de manutenção. • Não são geradas ordens de manutenção. • Materiais necessários são providenciados pelos próprios manutenedores pouco antes ou até mesmo durante a manutenção.
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • Atendimento imediato de manutenções corretivas é visto como um mal necessário. • Existe documentação técnica e procedimentos operacionais somente para a execução de tarefas críticas. • Geração de ordem planejadas impressas pelo CMMS de acordo com planos de manutenção. • Principais materiais utilizados para a manutenção são planejados antecipadamente. • Existe uma programação de data para execução da manutenção, porém, alterações são frequentes.
Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenções preventivas são uma prioridade da manutenção • Equipes treinadas nas Instruções de Trabalho, análise crítica e revisão sistêmica dos padrões de execução. • A geração de ordens é monitorada, analisada e existe tratamento dos erros na geração de ordens. • Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada em função das ações planejadas e, para as atividades corretivas, baseada no histórico de consumo. • Programação de datas e materiais com validade e gerenciada pela manutenção e produção com gestão a vistas das programações • Plano dos trabalhos com avaliação analítica de capacidade da equipe feita pelo PCM com utilização integral da mão de obra. • Controle de execução baseada em qualidade, tempos, retrabalhos e custos. • Controles visuais para gerenciamento das execuções.
Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção predominantemente planejadas. A ocorrência de manutenção corretivas praticamente inexistente. • Registro on-line das paradas imprevistas de manutenção interligado com programa de eficiência de operacional e controles operacionais de smart factory. • A equipe de manutenção tem acesso on-line à documentação técnica e vídeos com instrução técnicas. • Sistema de geração de ordens automático pelo CMMS com alerta on-line de novas ordens. • Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada em função das ações planejadas e, para as atividades corretivas, baseada na confiabilidade e custos. • Programação on-line de serviços obedecendo a restrições de produção, materiais e mão de obra. • Controle visual com atualização on-line.

(conclusão)

Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada utilizando IOT • Documentação técnica disponível na nuvem acessado por dispositivos móveis. • Execução da manutenção com suporte on-line e utilizando realidade aumentada. • Sistema integrado que permite a consulta da lista de material e disponibilidade on-line de estoques de fornecedores com auxílio de dispositivos móveis.
----------------	---------------------------------	---

Fonte: adaptado de Fernandez (2003) e Oliveira (2017).

O quadro 17 apresenta o modelo para a categoria de avaliação Tratamento de Falhas.

QUADRO 17 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - TRATAMENTO DE FALHAS

Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Os problemas são combatidos à medida que ocorrem. • Foco na remoção do sintoma.
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento de falha reativa, mas com peças de reposição disponíveis quando ocorrem falhas. • Análise de falhas sem método definido, realizada esporadicamente e quando ocorrem falhas com impacto significativo.
Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas resolvidos pela entrada da manutenção, operações, engenharia e controle de qualidade. • Análise de falhas periódica, realizada em função de gatilhos estabelecidos e baseada num método definido. • Planos de manutenção ajustados conforme análise de falhas.
Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas são prevenidos, aumento da disponibilidade e, portanto, da produtividade. • Conhecimento e identificação de equipamentos críticos e falhas críticas. • utilização de metodologias de tratamento de falhas como análise de causa raiz e FMEA. • Plano de ação formal e gerenciado das ações preventivas de bloqueio causas raiz das falhas. • Revisão sistemática das ações corretivas e preventivas pela engenharia de manutenção e confiabilidade.
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de maintenance analytics para gerenciamento e tomadas de ações corretivas e ações preventivas. • Machine Learning e monitoramento on-line da performance para previsão de falhas.

Fonte: Adaptado de Fernandez (2003) e Oliveira (2017).

O quadro 18 apresenta o modelo para a categoria de avaliação Oficinas e ferramentas.

QUADRO 18 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO - OFICINAS E FERRAMENTAS

Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Falta ferramentas e dispositivos básicos para a execução dos serviços de manutenção. Às vezes faltam ferramentas. • Oficinas com organização básica e layout sem observar tamanho adequado e proximidade do processo.
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • Ferramentas e dispositivos disponíveis e em bom estado de conservação. • Layout de oficinas adequados e próximos do processo produtivo. • Princípios de 5s são conhecidos pela equipe de manutenção.
Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • Ferramentas e dispositivos disponíveis e em bom estado. • Princípios do 5S praticados com autodisciplina pela equipe de manutenção. • Oficinas de localização próxima aos processos e com infraestrutura de comunicação de disponível.
Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de equipamentos sofisticados e modernos para execução e controle das manutenção. • Infraestrutura de TI e conexão com todos os sistemas de gestão e monitoramento de processo da planta.
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestrutura de TI e conexão com internet de alta velocidade disponível em toda a planta. • Dispositivos de mobilidade e equipamentos de manufatura aditiva disponíveis para toda a equipe de manutenção.

Fonte: O autor (2020)

5.1 TESTE DE APLICAÇÃO DO MODELO

Para a realização do estudo de caso, uma planilha eletrônica foi criada com um *check-list* contendo as categorias de avaliação e níveis de maturidade do modelo. Este *check-list* que está no Apêndice 2, foi aplicado em uma empresa de papel e celulose e respondido pelo gerente de manutenção da planta em conjunto com o autor deste trabalho.

Os resultados individuais do teste de aplicação do modelo estão representados na tabela 9 e no gráfico 17.

TABELA 9 – RESULTADOS DO TESTE DE APLICAÇÃO

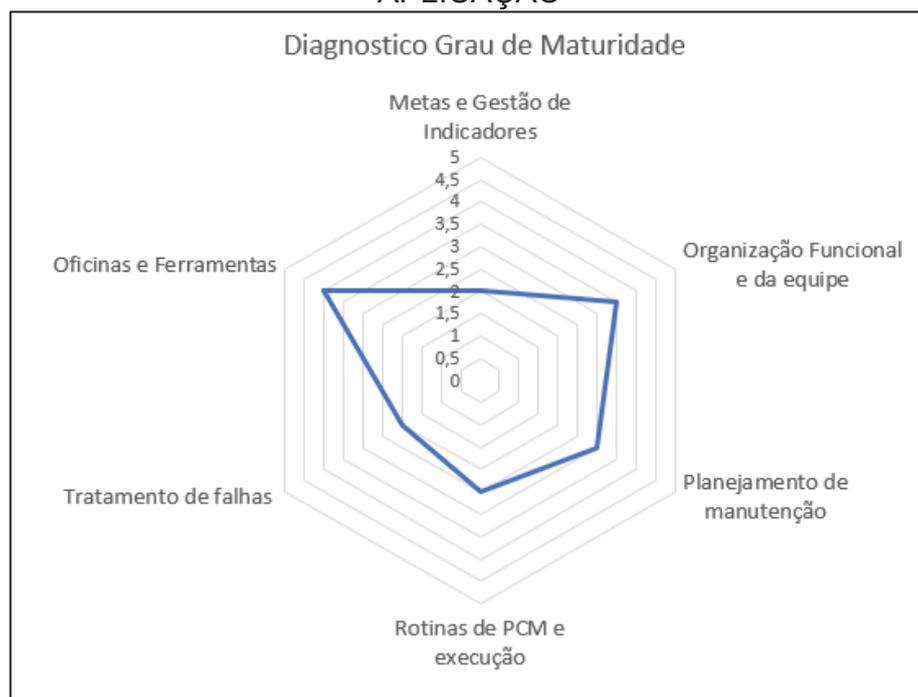
Categoria de avaliação	Avaliador 1	Avaliador 2	Média
Metas e Gestão de Indicadores	2	2	2
Organização Funcional e da equipe	4	3	3,5
Planejamento de manutenção	3	3	3
Rotinas de PCM e execução	2	3	2,5
Tratamento de falhas	2	2	2
Oficinas e Ferramentas	4	4	4

Fonte: O autor (2020).

A análise dos resultados demonstra as categorias de avaliação Metas e Gestão de de Indicadores e tratamento de falhas com o mais baixo resultado e estão classificados e nível 2 - Estabelecido. A categoria oficinas e ferramentas apresentaram resultados mais baixo. Com base nestas informações pode-se afirmar que a equipe de manutenção está adequada e possui as ferramentas adequadas para a gestão da manutenção. Por outro lado as atividades relacionadas a controle, planos, rotinas de execução e tratamento de falhas, apresentam um resultado inferior. Estas categoria estão relacionadas a organização do sistema de gestão da manutenção e ao ciclo PDCA.

A percepção da situação atual dos dois avaliadores foi bastante semelhante. Apenas as categorias Organização funcional e equipe e Rotinas de PCM apresentaram pequena divergência na avaliação. Os avaliadores não relataram dificuldades em realizar o check-list.

GRÁFICO 17 – REPRESENTAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DO TESTE DE APLICAÇÃO



Fonte: O autor (2020)

O resultado da aplicação do diagnóstico do grau de maturidade deu origem a uma meta de evolução do grau de maturidade e a um plano de ação para alcançar a meta estabelecida. A meta e o plano de ação respondem a uma das perguntas de pesquisa, que é: Como o diagnóstico do grau de maturidade pode contribuir para o desenvolvimento do sistema de manutenção?

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de gestão da manutenção vêm sofrendo alterações ao longo do tempo. Esta evolução deve continuar e ser impactada com a consolidação das tecnologias da indústria 4.0. O objetivo principal deste trabalho foi o de propor um modelo de diagnóstico do grau de maturidade orientado à manutenção 4.0 que contribua com o desenvolvimento da manutenção das empresas.

Para realizar este objetivo foi realizada uma revisão bibliográfica dos modelos atuais. Esta revisão mostrou que existe forte semelhança entre os modelos de avaliação da maturidade encontrados independentemente da área onde este é aplicado. Como exemplo pode-se mencionar os modelos de Cosby (1979) e os modelos de CMMI (2019). Todos os modelos de avaliação possuem 5 níveis de maturidade e categorias de avaliação de acordo com as características de cada processo.

Com relação aos modelos de maturidade aplicados a manutenção tem-se o modelo proposto por Fernandez (2003) que foi desenvolvido com a finalidade de avaliar a maturidade do sistema informatizado de gerenciamento da manutenção CMMS e também a liderança para a sua implantação. Uma análise crítica deste modelo demonstra uma lacuna com relação aos temas relacionados à gestão e planejamento da manutenção, Indicadores de manutenção. O modelo de Pintelon (2013) está baseado exclusivamente em indicadores de nível estratégico e tático, este modelo remete a uma avaliação exclusivamente numérica. O modelo de avaliação da maturidade apresentado por Oliveira (2017) é mais abrangente que os anteriores e considera em seu modelo três temas relevantes que são: pessoas, procedimentos e métodos de manutenção e por fim o uso de tecnologia da informação com a avaliação do sistema informatizado de gestão da manutenção. Todos os modelos pesquisados apresentam lacunas em relação a estas tecnologias.

A revisão bibliográfica também procurou identificar as metodologias e ferramentas aplicadas nos processos de gestão de manutenção. Nesta etapa observou-se uma relação forte entre o uso de metodologias e ferramentas da qualidade nos processos de manutenção. Dentre esta metodologia e ferramentas destaca-se o ciclo PDCA e SDCA, o 5S e a gestão de indicadores.

Com o objetivo de validar as entendimento do tema obtido com a revisão bibliográfica, realizou-se uma pesquisa exploratória. A análise desta pesquisa apresentou divergências no entendimento dos temas relacionados ao sistema de gestão da manutenção entre empresas de diferente portes e origens. Constatou-se através de testes de hipóteses que empresas multinacionais já estão aplicando as tecnologias da indústria 4.0. Estas empresas multinacionais tem a percepção que o uso das nove tecnologias de indústria 4.0 será mais frequente em seu dia a dia do que as empresas nacionais. Estas empresas multinacionais também possuem sistemas de gestão da manutenção mais robustos, aplicando mais as ferramentas e metodologias comuns a manutenção. e também consideram mais importante as categorias de avaliação do sistema de gestão valorizando categorias como gestão de indicadores, planejamento e controle da manutenção entre outros. De mesma forma as empresas de grande e médio porte também apresentam uma maior aderencia aos itens avaliados na pesquisa exploratória. Por fim a pesquisa exploratória demonstrou que existe uma tendência de utilização das nove tecnologias da indústria 4.0 nos processos de manutenção nos próximos anos.

A revisão bibliográfica e a pesquisa exploratória fundamentaram a construção de um modelo de avaliação do grau de maturidade para sistemas de gestão da manutenção orientado para a manutenção 4.0. A construção deste modelo é um dos objetivos deste trabalho.

O modelo proposto, além de trazer os elementos de avaliação dos modelos estudados, apresenta as tecnologias aplicadas na manutenção incorporadas aos critérios de avaliação. Com isto, tecnologias como *internet of thing*, computação em nuvem, dispositivos moveis, manutenção analítica e *big data*, sistemas integrados, realidade aumentada e manufatura aditiva, estão inseridas no nível mais alto de maturidade. Este nível foi denominado de “Conectado e Digitalizado”.

Os benefícios práticos trazidos pela aplicação do modelo pode ser comprovado no teste aplicado. Neste teste evidenciou-se que a empresa possui desequilíbrio entre as categoria de avaliação. Os piores níveis de maturidade estão relacionados a gestão de indicadores e ao tratamento de falhas. Também é possível observar que nenhuma das categoria de avaliação

apresenta nível 5 de maturidade, ou seja, as tecnologias da manutenção 4.0 ainda não estão presentes no dia a dia dos processos de manutenção da empresa.

Os resultados obtidos na aplicação do modelo, representado no gráfico 17, permite ao gestor de manutenção entender os pontos fortes e pontos a melhorar no sistema de gestão da manutenção. Conhecer estes pontos de melhoria permitem às empresas aprimorar seus sistemas, definir estratégias de ação, aprimorar os métodos de gestão e otimizar o desempenho operacional da empresa. O modelo proposta possibilitar aos gestores da manutenção conhecer sua situação atual do sistema de gestão da manutenção e por consequência definir estratégias para atingir resultados superior. Este é o objetivo geral deste trabalho de “propor modelo para avaliação do grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção orientado à manutenção 4.0, que permita a definição de estratégias para melhorar a gestão e, conseqüentemente, o desempenho operacional em indústrias de transformação no estado do Paraná”. Desta forma conclui-se que o objetivo foi atingido.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros, indica-se um estudo detalhado da aplicação das nove tecnologias principais da indústria 4.0 nos processos de manutenção, uma pesquisa com o objetivo de entender quais os motivos da divergência encontradas entre empresas de porte, origem e ramo de atividade. Também sugere-se aplicar o modelo de avaliação da maturidade em a empresas de diferentes regiões do país e fazer uma pesquisa com especialistas para incluir sua precepção de sucesso em relação ao modelo de maturidade.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5462** - Manutenibilidade e Confiabilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 55000** – Gestão de ativos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014

ARTS, R. H. P. M.; KNAPP, G. M.; MANN, L. Some aspects of measuring maintenance performance in process industry. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 4, n. 1, 1998.

AUGELLI, C. **ERP: o que é e para que serve**. Exame, 21 mar. 2017. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/blog/mundo-do-dinheiro/erp-o-que-e-e-para-que-serve/>>. Acesso em: 28 dez. 2019.

BCG. Boston Consulting Group. **Nine Technologies Transforming Industrial Production**. 20 jan. 2018. Disponível em: www.bcg.com/pt-br/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx. Acesso em: 25 set. 2019.

BESSANT, J.; CAFFYN, S.; GALLAGHER, M. An evolutionary model of continuous improvement behavior. **Technovation**, v. 21, p. 1-12, 2001.

BEVILACQUA, M.; BRAGLIA, M. The analytical hierarchy process applied to maintenance strategy selection. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 70, n. 4, 2000.

BRAGLIA, M.; FROSOLINI, M.; ZAMMORI, F. Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML) - an integrated approach to assess systems performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 20, n. 1, p. 8-29, 2009.

BUSSOL, C. M.; MIYAKEII, D. I. An analysis of the application of indicators alternative to Overall Equipment Effectiveness (OEE) in the management of a plant's overall performance. **Production**, v. 23, n. 2, p. 205-225, 2012.

CARDOSO, M. A. **Simplificando o gerenciamento da manutenção usando o MMS**. Rio de Janeiro: Atlas, 2009.

CHRYSSOLOURIS, G. **Manufacturing Systems: Theory and Practice**. New York: Springer, 2006.

CMMI INSTITUTE. **CMMI SCAMPI Appraisal Services**. Primvis, 5 mar. 2019. Disponível em: <http://www.primvis.com/service-1/>. Acesso em: 10 out. 2019.

CROSBY, P. B. **Quality is free: The art of making quality certain**. New York : McGraw-Hill, 1979.

DRESCH, A. **Design Science: Método de pesquisa para avanço da ciencia e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

FALCONI, V. **Gerenciamento pelas Diretrizes**. Belo Horizonte: INDG, 2004.

FERNANDEZ, A. W. et al. A decision support maintenance management system: Development an Implantacion. **Journal of Quality and reliability**, v. 4, p. 695-979, 2003.

FOGLIATO, F. S.; DUARTE, J. L. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FUENTES, F. F. E. **Metodologia para Inovação da Gestão de Manutenção Industrial**. Florianópolis: UFSC, 2006.

- HAARMAN, M.; DELAHAY, G. **VDM: New faith in maintenance**. Dordrecht: Mainnovation, 2012.
- HAWKE, M. et al. **The return of zero-base budgeting**. New York: McKinsey's , 2015.
- HORENBEEK, A. V.; PINTELON, L. Development of a maintenance performance measurement framework—using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. **Omega**, v. 3, n. 7, 2013.
- JURAN, L. **Planejando para a Qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1988.
- KARDEC, A. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- KARDEC, A. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Quality mark, 2013.
- KELLY, A. **Maintenance strategy, business centered maintenance**. Londres: Butterworth-Heinemann, 1997.
- KEVIN, F. G.; PENLESKY, R. J. A framework for developing maintenance strategies. **Journal Production and Inventory Management**, v. 1, p. 85-92, 1988.
- LABIB, A. W. A framework for benchmarking appropriate productive maintenance. **Management Decision**, v. 37, p. 10-25, 1999.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenção e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- LEVITT, J. **The Handbook of Maintenance Management**. New York: Industrial Press, 1997.
- MARQUES, J. M. **Estatística básica para cursos de engenharia**. Curitiba: Domínio do Saber, 2005.
- MARQUEZ, A. C.; GUPTA, J. N. D. **Contemporary maintenance management process, framework and supporting pillars**. New York: Omega. 2006.
- MIGUEL, P. A.G. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- MIROSLAV, F. Basic of designing maintenance Processes in industry 4.0. **Modern machinery Science Journal**, v. 2, p. 34-40, 2018.
- MONOSTORI, L. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 9-13, 2014.
- MOUBRAY, J. **Manutenção centrada em Confiabilidade - RCMII**. Lutterworth : Aladon, 2000.
- MURÇA, V. A. **Aplicação da filosofia Lean na área da Manutenção**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.
- NACHIAPPAN, R. M.; ANANTHARAMAN, N. Evaluation of Overall Line Effectiveness (OLE) in a continuous product lline manufacturing system. **Journal of Manufacturing Technology**, v. 17, n. 7, 2006.
- NADOLNY, I. **Teoria da Maturidade de Argyris**. 30 set. 2014. Disponível em: www.duomoeducacao.com.br. Acesso em: 20 set. 2019.
- NAKAJIMA, I. **Introduction to TPM**. San Diego: Productive Process, 1988.
- OLIVEIRA, M. A. **Sistema de gestão da manutenção baseada no grau de maturidade da organização no ambito da manuteção**. 2017. 275f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial e Sistemas) - Universidade de Minho, Braga, 2017.
- PALADY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: Instituto IMAN, 1997.

- PARIDA, A. U. K. **Maintenance Performance measurement (MPM): issues and challenges**. New York: Productive Process, 2006.
- PEREIRA, M. J. **Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.
- PINTELON, L.; HORENBEEK, A. V.; CHEMWENO, P. **Asset maintenance maturity model as a structured guide to maintenance process maturity**. *lirias kuleuven*, 28 mar. 2013. Disponível em: https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/415635/1/MPMM_2013_conference_paper.pdf. Acesso em: 04 abr. 2019.
- PINTELON, L.; PINJALA, S. K.; VEREECKE, A. Evaluating the effectiveness of maintenance strategies. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 12, p. 34-40, 2006.
- PINTO, J. P. **Manutenção Lean**. Lisboa: Lidel Edições Técnicas, 2013.
- SELEME, R. **Manutenção Industrial, mantendo da fabrica em funcionamento**. Curitiba: Intersaberes, 2015.
- SHARMA, R. K.; KUMAR, D.; KUMAR, P. Manufacturing excellence through TPM implementation: a practical analysis. **Industrial Management & Data Systems**, v. 106, n. 2, 2006.
- SHERWIN, D. J. A review of overall models for maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 6, p. 138-164, 2000.
- SILVEIRA, V. N. S. Os Modelos Multiestágios de Maturidade: um Breve Relato de sua História, sua Difusão e sua Aplicação na Gestão de Pessoas por meio do People Capability Maturity Model (P-CMM). **Revista de Administração Contemporânea**, v. 4, n. 1, p. 228-246, 2009.
- SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada em Confiabilidade: Manual de implantação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, R. G. **RCM: Gateway to world class manufacturing**. New York: SAGE, 2004.
- SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do planejamento e controle da manutenção (PCM) com as finalidades e funções do planejamento e controle da produção (PCP): uma abordagem analítica**. 2008. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2008.
- SOUZA, V. C. **Organização e gerência da manutenção: planejamento, programação e controle da manutenção**. São Paulo: All print, 2007.
- STENSTRÖM, C. et al. Performance indicators and terminology for value driven maintenance. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 19, n. 3, 2013.
- STRUTT, J. E. et al. Capability maturity models for offshore organisational management. **Environment International**, v. 10, n. 7, 2006.
- SWANSON, L. 2001. Linking maintenance strategies to performance. **Journal of Production Economics**, v. 70, n. 3, 2001.
- TSANG, A. Strategic dimensions of maintenance management. **Journal of Quality and Maintenance Engineering**, v. 8, n. 1, 2002.
- TSANG, A. A strategic approach to managing maintenance performance. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 4, n. 2, 1998.
- VERWEIRE, K.; VAN DEN BERGHE, L. **Integrated performance management: a Guide to Strategy Implementation**. New York: SAGE, 2004.

WENDLER, R. **The maturity of maturity model research**: A systematic mapping study. Information and Software Technology, v. 1, p. 7-20, 2012.

WITTEN, I. H.; FRANK, E.; HALL, M. A. **Data Mining**: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Kaufmann: Elsevier, 2011.

YANG, W. et al. **An method for maintenance waiting time considering support equipments failure**. Beijing: International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing, 2010.

ZAIONS, D. **Consolidação da metodologia da manutenção centrada em confiabilidade**. Porto alegre: UFRGS, 2003.

APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO PESQUISA EXPLORATÓRIA



ESTUDO EXPLORATÓRIO DE METODOLOGIAS E PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO

Universidade Federal do Paraná
 Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção
 Prof Orientador: Dr. Robson Seleme
 Mestrando Eng. Mec. Fernando Gressler

O departamento de engenharia de produção da Universidade Federal do Paraná através do Prof Dr Robson Seleme e do Eng. Mecânico Fernando Gressler, mestrando deste programa, estão realizando um pesquisa exploratório relacionando os temas: gestão da manutenção e as tecnologias 4.0.

Esta pesquisa servirá como base para a elaboração da dissertação de mestrado com o título "Diagnóstico da Maturidade do sistema de gestão da manutenção orientado para a indústria 4.0." São apenas questões de múltipla.

O tempo estimado para responder e colaborar com nossa pesquisa é de 4 minutos.

É de nossa responsabilidade garantir que os dados serão tratados com a máxima confidencialidade e, em nenhum momento, o nome da empresa, ou qualquer outra informação que possa identificá-la, serão mencionados.

Em caso de dúvida se quiser receber os resultados da pesquisa por e-mail não deixe de nos contatar através de um dos e-mail:

fernando.gressler@yahoo.com.br

fernando.gressler@ufpr.br

Desde já agradecemos a sua participação.

Mestrando Eng. Mec. Fernando Gressler

Seção 1 - Qualificação da empresa respondente

Nas próximas perguntas precisaremos conhecer melhor a empresa que está sendo representada

1

Qual o número de funcionários de sua empresa:

Não considere funcionários terceirizados

- Microempresa (ME) - até 19 funcionários
- Empresa de Pequeno Porte (EPP) - de 20 a 99 empregados
- Empresa de médio porte - de 100 a 499 empregados
- Grandes empresas - 500 ou mais empregados

2

Selecione um ramo de atividade que melhor representa a sua empresa:

- Alimentos e Bebidas
- Borracha e material plástico
- Celulose e papel
- Couros e calçados
- Farmacêuticos
- Madeira

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="radio"/> Máq. e equipamentos | <input type="radio"/> Metalurgia | <input type="radio"/> Minerais não metálicos |
| <input type="radio"/> Móveis | <input type="radio"/> Produtos de metal | <input type="radio"/> Químicos |
| <input type="radio"/> Têxteis | <input type="radio"/> Veículos automotores | <input type="radio"/> Vestuário |
| <input type="radio"/> Eletro Eletrônico | <input type="radio"/> Outros <input type="text"/> | |

3

Qual a origem empresa?

Sua empresa é?

- Nacional
- Multinacional

Seção 2 – Metodologias e ferramentas aplicadas a manutenção

Indique a frequência com que são utilização as seguintes metodologias e ferramentas na área de manutenção de sua empresa, assinalando a opção mais adequada.

4

Indique a frequência com que são utilização as seguintes metodologias e ferramentas na área de manutenção de sua empresa, assinalando a opção mais adequada.

	Nunca	Raramente	Ocasionalmente	Frequentemente	Muito frequentemente
Manutenção Produtiva Total (TPM)	<input type="radio"/>				
Total Quality Control - Controle de Qualidade Total - Ex. PDCA, SDCA,...	<input type="radio"/>				
RCM - Manutenção Centrada em confiabilidade	<input type="radio"/>				
Lean Maintenance	<input type="radio"/>				
FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)	<input type="radio"/>				
RCA (Root Cause Analysis)	<input type="radio"/>				

Seção 3 – Princípio dos sistema de Gestão de Manutenção

Com relação aos pilares e elementos organizacionais do sistema de gestão da manutenção, como voce classifica a importância de cada um deles

5

[Pilares do sistema de gestão da manutenção] Com relação aos pilares e elementos organizacionais do sistema de gestão da manutenção, como você classifica a importância de cada um deles?

Considerando 1 - Nada importante e 5 - Extremamente importante

	1	2	3	4	5
Gestão e qualificação de Pessoas	<input type="radio"/>				
Rotinas e métodos de engenharia de manutenção e PCM	<input type="radio"/>				
Digitalização, conectividade e software gestão da manutenção	<input type="radio"/>				

6

[Elementos dos sistema de gestão da manutenção] Com relação aos pilares e elementos organizacionais do sistema de gestão da manutenção, como você classifica a importância de cada um deles?

Considerando 1 - Nada importante e 5 - Extremamente importante

	1	2	3	4	5
Metas e Gestão de Indicadores	<input type="radio"/>				
Organização Funcional e da equipe de manutenção	<input type="radio"/>				
Planejamento da Manutenção	<input type="radio"/>				
Rotinas de PCM e programação da manutenção	<input type="radio"/>				
Tratamento de falhas e melhoria contínua	<input type="radio"/>				
Organização de oficinas, disponibilidade de ferramentas e EPI	<input type="radio"/>				
Participação do Operador Mantenedor	<input type="radio"/>				

Seção 4 – Manutenção na indústria 4.0

7

Com relação as Tecnologias da indústria 4.0. aplicados aos processos de manutenção, classifique sua expectativa quanto a aplicação nos próximos 5 anos.

Fonte: BCG, as nove tecnologias da indústria 4.0

	Nunca	Raramente	Ocasionalmente	Frequentemente	Muito frequentemente
Big data ou maintenance	<input type="radio"/>				

Nunca Raramente Ocasionalmente Frequentemente Muito frequentemente

analytics	Nunca	Raramente	Ocasionalmente	Frequentemente	Muito frequentemente
Integração de sistemas integrados, ERPs e outros sistemas	<input type="radio"/>				
Industrial Internet of Things (IoT)	<input type="radio"/>				
Realidade Aumentada	<input type="radio"/>				
Robotização e sistemas Cyber Físicos	<input type="radio"/>				
Impressora 3D e manufatura aditiva	<input type="radio"/>				
Simulação (digital twins)	<input type="radio"/>				
Cloud Computing, softwares em nuvem, uso de dispositivos moveis	<input type="radio"/>				
Cyber segurança	<input type="radio"/>				

Agradecimentos

Muito obrigado pela sua colaboração.

Obrigado

É de nossa responsabilidade garantir que os dados serão tratados com a máxima confidencialidade e, em nenhum momento, o nome da empresa, ou qualquer outra informação que possa identificá-la, serão mencionados.

APÊNDICE 2 - CHECK LIST DIAGNOSTICO DE MATURIDADE

Categorias de Avaliação		Metas e Gestão de Indicadores	Avaliação
Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Não existem indicadores e metas definidos. • Desperdícios e perdas geradas pela manutenção são controlados informalmente 	
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • Existem alguns indicadores técnicos e de custos de manutenção. • Metas são estabelecidas principalmente de controle de custos. • Sistemática de check de metas informal e desvios tratados sob demanda 	X
Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores técnicos e de custos calculados e monitorados regularmente. • Metas baseadas na eficiência da fábrica, redução de custos e indicadores técnicos dos equipamentos e processos. • Sistemática de check de indicadores formal, com responsabilidades definidas e plano de ação para correção de desvios 	
Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores técnicos, econômicos e organizacionais confiáveis calculados e analisados periodicamente, apoiando a tomada de decisão com a projetos de melhoria contínua estabelecido. • Metas compartilhadas entre as áreas com planos de melhoria estabelecidos. 	
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores monitorados e controlados em tempo real. • Metas flexíveis definida com auxílio da simulação de processos. • Uso de ferramentas de maintenance analytics e big data. 	

Categorias de Avaliação		Organização Funcional e da equipe de manutenção	Avaliação
Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Alta administração não demonstra preocupação com a manutenção. • Equipe de manutenção com baixo conhecimento e não existem ações de desenvolvimento das pessoas. 	
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • A alta manutenção reconhece a importância da manutenção. • Sistema de manutenção baseado principalmente na experiência e conhecimento das pessoas. • Nenhum envolvimento de outras áreas nas atividades de manutenção. 	
Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • Alta administração considera a manutenção como uma função estratégica e fornece todos os recursos necessários para as equipes de manutenção. • Organograma e funções da equipe bem definidas. • Habilidades técnicas e comportamentais são desenvolvidas nas equipes. • Funções das equipes de conhecidas e seguidas no dia a dia. 	

Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • Liderança ativa e focada em ações de desenvolvimento das pessoas. • Equipes participativas, polivalentes e conhecedoras das rotinas do trabalho e da manutenção dos equipamentos • Manutenção e produção atuam em conjunto para manter a performance dos processos 	X
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidades de treinamento só definidas por ferramentas analíticas. • Plano de treinamento das equipes orientado para a melhoria dos processos. • Uso de simulação e realidade aumentada na realização dos treinamentos. 	

Categorias de Avaliação		Planejamento de manutenção	Avaliação
Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhum CMMS é utilizado. • Portfolio de equipamentos desconhecido e documentação técnica incompleta. • Não existe definição da criticidade de equipamentos • Nenhum planejamento de custos para a manutenção. • Planos de manutenção informais. • Não existem planos de manutenção definido para os equipamentos. 	
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização CMMS não integradas com os demais sistemas. • Portfolio de equipamentos conhecido e documentos técnicos disponíveis • Manutenção atua corretivamente, mas reconhece-se a necessidade em atuar de forma preventiva. • Planejamento não é rotina existem atrasos e ações programadas não concluídas. • Equipamentos com criticidade (ABC) definido, porém não existe política de manutenção definida. • Orçamento definido com base em gastos históricos • Existem planos de lubrificação e preventivas baseada em tempo. 	
Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • CMMS completo com toda a necessidades da manutenção, porém não amplamente utilizado. • Portfólio de equipamento completo com lista de peças e documentação técnica disponível. • Manutenção planejada é considerada importante para atingir os objetivos da organização. • Todos os equipamentos avaliados criticamente, existe uma política de manutenção definida orientando a criação de planos de manutenção. • Planejamento realizado com base na experiencia da equipe e recomendações do fabricante dos equipamentos. • Orçamento da manutenção definido com base em drives por tipo de processo e atividade. • O CMMS contém os planos de manutenção e gera ordens de manutenção periodicamente 	X

Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • CMMS com todas as funções disponíveis e adequadamente utilizados. • Documentação técnica disponível "on-line" • Manutenção é considerada importante para atingir os objetivos da organização. • Planejamento da manutenção atua de forma proativa, planejamento melhoria nos equipamento com vistas ao aumento da produtividade, redução de custos e melhoria da qualidade • Planejamento das atividades revisto em função da taxa de falhas e da monitorização do equipamento. • Orçamento definido e gerenciado exclusivamente em drives por tipo de processo e atividade. • Planos de manutenção de equipamentos críticos elaborado com auxílio de metodologias como RCM e FMEA de acordo com a política de manutenção. • Funções requeridas e parâmetros de operação do equipamento conhecido e monitorado com técnicas de manutenção preditiva • CMMS gera programações de atividades de manutenção planejada e é usado para apoiar o processo de tomada de decisão. • Análise e revisão sistêmica dos planos com foco nos desperdícios Lean Maintenance. 	
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • CMMS apoia todas as funções da gestão da manutenção, é totalmente integrado e ligado a nuvem. • Monitoramento on-line para da detecção de falha. • Acesso a documentação técnica disponível em nuvem e com uso da realidade aumentada • Planejamento da manutenção é apoiado por maintenance analytics e Big data 	

Categorias de Avaliação		Rotinas de PCM e execução da Manutenção	Avaliação
Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Execução de manutenções corretivas é mais valorizada que ações preventivas • Atividades de manutenção preventiva são executadas de forma voluntaria pela equipe de manutenção. • Não são geradas ordens de manutenção. • Materiais necessários são providenciados pelos próprios mantenedores pouco antes ou até mesmo durante a manutenção. 	
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • Atendimento imediato de manutenções corretivas é visto como um mal necessário. • Existe documentação técnica e procedimentos operacionais somente para a execução de tarefas críticas. • Geração de ordem de planejadas impressas pelo CMMS de acordo com planos de manutenção. • Principais materiais utilizados para a manutenção são planejados antecipadamente • Existe uma programação de data para execução da manutenção, porem alteração são frequentes. 	X

Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenções preventivas são uma prioridade da manutenção • Equipe treinadas nas Instruções de Trabalho, análise crítica e revisão sistêmica dos padrões de execução. • A geração de ordens é monitorada, analisada e existe tratamento erros na geração de ordens. • Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada em função das ações planejadas e, para as atividades corretivas, baseada no histórico de consumo. • Programação de datas e materiais validade e gerenciada pela manutenção e produção com gestão a vistas das programações • Plano dos trabalhos com avaliação analítica de capacidade da equipe feita pelo PCM com utilização integral da mão de obra. • Controle de execução baseada em qualidade, tempos, retrabalhos e custos. • Controles visuais para gerenciamento das execuções 	
Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção predominantemente planejadas. A ocorrência de manutenção corretivas praticamente inexistente. • Registro on-line das paradas imprevistas de manutenção interligado com programa de eficiência de operacional e controles operacionais de smart factory • A equipe de manutenção tem acesso on-line a documentação técnica e vídeos com instrução técnicas • Sistema de geração de ordens automático pelo CMMS com alerta on-line de novas ordens. • Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada em função das ações planejadas e, para as atividades corretivas, baseada na confiabilidade e custos. • Programação on-line de serviços obedecendo restrições de produção, materiais e mão de obra. • Controle visual com atualização on-line 	
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada utilizando IOT • Documentação técnica disponível na nuvem acessado por dispositivos moveis • Execução da manutenção com suporte on-line e utilizando realidade aumentada. • Sistema integrado que permite a consulta da lista de material e disponibilidade on-line de estoques de fornecedores com auxílio de dispositivos móveis 	

Categorias de Avaliação		Tratamento de falhas e melhoria contínua	Avaliação
Nível 1	Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Os problemas são combatidos à medida que ocorrem. • Foco na remoção do sintoma 	
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento de falha reativa, mas com peças de reposição disponíveis quando ocorrem falhas. • Análise de falhas sem método definido, realizada esporadicamente e quando ocorrem falhas com impacto significativo. 	X

Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas resolvidos pela entrada da manutenção, operações, engenharia e controle de qualidade. • Análise de falhas periódica, realizada em função de gatilhos estabelecidos e baseada num método definido. • Planos de manutenção ajustados conforme análise de falhas 	
Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas são prevenidos, aumento da disponibilidade e, portanto, da produtividade • Conhecimento e identificação de equipamentos críticos e falhas críticas • utilização de metodologias de tratamento de falhas como Análise de causa raiz e FMEA. • Plano de ação formal e gerenciado das ações preventivas de bloqueio causas raiz das falhas. • Revisão sistemática das ações corretivas e preventivas pela engenharia de manutenção e confiabilidade 	
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de maintenance analytics para gerenciamento e tomadas de ações corretivas e ações preventivas. • Machine Learning e monitoramento on-line da performance para previsão de falhas 	

Categorias de Avaliação		Organização de Oficinas e Ferramentas	Avaliação
Nível 1	Incial	<ul style="list-style-type: none"> • Falta ferramentas e dispositivos básicas para a execução dos serviços de manutenção. As vezes faltam ferramentas • Oficinas com organização básica e layout sem observar tamanho adequado e proximidade do processo 	
Nível 2	Estabelecido	<ul style="list-style-type: none"> • Ferramentas e dispositivos disponíveis e em bom estado de conservação • Layout de oficinas adequados e próximos do processo produtivo • Princípios de 5s são conhecidos pela equipe de manutenção 	
Nível 3	Gerenciado	<ul style="list-style-type: none"> • Ferramentas e dispositivos disponíveis e em bom estado • Princípios do 5S praticados com autodisciplina pela equipe de manutenção • Oficinas localização próxima aos processos e com infraestrutura de comunicação de disponível. 	
Nível 4	Otimizado	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de equipamentos sofisticados e modernos para execução e controle das manutenção. • Infraestrutura de TI e conexão com todos os sistemas de gestão e monitoramento de processo da planta. 	X
Nível 5	Digitalizado e Conectado	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestrutura de TI e conexão com internet de alta velocidade disponível em toda a planta. • Dispositivos de mobilidade e equipamentos de manufatura aditiva disponíveis para toda a equipe de manutenção. 	