



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MANUTENÇÃO 4.0 NO CONTEXTO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

FERNANDO DA SILVA MELLO DOCKHORN

Brasília, agosto de 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA

Fernando da Silva Mello Dockhorn

Dissertação de Mestrado:

Manutenção 4.0 no contexto da Universidade de Brasília - UnB

Dissertação submetida ao
Departamento de Engenharia Mecânica da
Faculdade de Tecnologia da Universidade de
Brasília como requisito parcial para obtenção
do grau de Mestre Engenheiro em Sistemas
Mecatrônicos.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Sanderson Cesar Barbalho - EPR/UnB e PPMEC/UnB
Orientador

Prof. Dr. Jones Yudi Mori Alves da Silva - PPMEC/UnB
Examinador Interno

Prof.^a Dr.^a Viviane Vasconcelos Ferreira Grubisic
Examinador Externo

Brasília, DF

2019

Dedicatória

À minha esposa e filhas pela paciência e compreensão durante o período deste trabalho.

Aos meus pais, pelos exemplos de vida e dedicação.

Agradecimentos

Agradeço inicialmente a Deus, por ter me concedido saúde, força e disposição para chegar até este momento. Ao meu Professor Orientador, Sanderson Cesar Barbalho, pelo conhecimento transmitido e por ser paciente e conselheiro. Sem ele, não seria possível desenvolver esse trabalho. Aos demais professores também pelo conhecimento transmitido. Aos colegas e chefias da DIMEQ/PRC pelo apoio e incentivo, bem como aos demais Servidores Técnicos e Docentes da UnB que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Esta pesquisa busca analisar a produção acadêmica internacional relacionada à Manutenção na Indústria 4.0, também conhecida como *Smart Maintenance*, a fim de compreender a sua evolução ao longo do tempo, além dos artigos mais citados na literatura e ainda a relação entre as palavras chaves mais recorrentes. Os dados utilizados foram coletados nas Bases de Dados Scopus e Web of Science, sendo analisados através de uma pesquisa bibliométrica. Foi possível demonstrar que o campo do conhecimento relacionado à Manutenção 4.0 tem crescido significativamente, especialmente a partir de 2011. Tendo sido constatada que a evolução das palavras chave relacionadas ao tema é compatível com a evolução da Indústria 4.0. Também foi analisado o contexto onde se encontra a manutenção dos equipamentos da UnB, através das percepções dos servidores responsáveis pelos laboratórios e também dos servidores do setor de manutenção de equipamentos, no que tange aos aspectos da manutenção e aquisição de equipamentos, bem como os seus conhecimentos relacionados às Indústria 4.0 e Manutenção 4.0. Foi constatado que mesmo com diferentes graus de conhecimento acerca dos temas Indústria e Manutenção 4.0 tanto os responsáveis pelos laboratórios demonstraram interesse na sua implementação, principalmente nas tecnologias relacionadas ao monitoramento on-line de equipamentos. Além disso, foram identificadas oportunidades de pesquisas posteriores no desenvolvimento de soluções da própria UnB no campo da Manutenção 4.0.

Palavras chave: **análise bibliométrica; smart maintenance; manutenção 4.0, indústria 4.0, manutenção na UnB**

Abstract

This research aim is to analyze the international academic production related to Maintenance in Industry 4.0, also known as Smart Maintenance, in order to understand its evolution along the time, the articles most cited in the literature and also the relation between the most recurrent key words. The data used were collected in the Scopus and Web of Science databases, and analyzed through a bibliometric survey. It was possible to demonstrate that the field of knowledge related to Maintenance 4.0 has grown significantly, especially since 2011. It has been verified that the evolution of the key words related to the theme is compatible with the evolution of the Industry 4.0. It was also analyzed the context where the maintenance of the UnB equipment is, through the perceptions of the servers responsible for the laboratories and also of the workers of the equipment maintenance sector, regarding aspects of equipment maintenance and their acquisition, as well as their knowledge related to Industry 4.0 and Maintenance 4.0. It was found that even with different degrees of knowledge about the subjects Industry and Maintenance 4.0, the responsible for the laboratories showed an interest in their implementation, especially in the technologies related to the online monitoring of equipment. In addition, opportunities for further research on the development of UnB's own solutions in the field of Maintenance 4.0 have been identified.

Keywords: bibliometric analysis; smart maintenance; maintenance 4.0, industry 4.0, maintenance at UnB

Lista de Figuras

Figura 1 - Coleta e análise de vibrações - fonte: internet.....	28
Figura 2 - Arquitetura 5C para implementação de um CPS – Fonte: Lee, et al (2015)	32
Figura 3 - Aplicações e técnicas associadas a cada nível da arquitetura 5C – Fonte: Lee, et al (2015)	34
Figura 4 - Estrutura da Manutenção Inteligente Preditiva (Intelligent Predictive Maintenance (IPdM)) fonte: Marhaug, et al. (2016).....	37
Figura 5 - Rede de palavras chave com a pesquisa aberta – Base: Scopus - Fonte: Autor	47
Figura 6 - Rede de palavras chave com a pesquisa aberta – Base: Web of Science - Fonte: Autor.....	48
Figura 7 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada – Base: Scopus - Fonte: Autor	49
Figura 8 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada – Base: Web of Science - Fonte: Autor..	50
Figura 9 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada até 2001 – Base: Scopus - Fonte: Autor.	51
Figura 10 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada até 2001 – Base: Web of Science - Fonte: Autor	52
Figura 11 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada entre 2002 e 2011 – Base: Scopus - Fonte: Autor	53
Figura 12 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada entre 2002 e 2011 – Base: Web of Science - Fonte: Autor.....	54
Figura 13 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada a partir de 2012 – Base: Scopus - Fonte: Autor	55
Figura 14 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada a partir de 2012 – Base: Web of Science - Fonte: Autor	56

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Evolução das publicações relacionadas ao tema entre 2011 e 2019 - fonte: autor	30
Gráfico 2 - Tecnologias Complementares à Indústria 4.0 – valores em % de ocorrência na pesquisa realizada por Liao (2015) – Fonte: adaptado de Liao (2015)	31
Gráfico 3 - Evolução das publicações ao longo do tempo – pesquisa aberta - fonte: autor	39
Gráfico 4 - Evolução das publicações ao longo do tempo, em percentuais – pesquisa aberta - fonte: autor	40
Gráfico 5 - Evolução das publicações ao longo do tempo – pesquisa truncada - fonte: autor	41
Gráfico 6 - Evolução das publicações ao longo do tempo, em percentuais – pesquisa truncada - fonte: autor	41
Gráfico 7 - Grau de Escolaridade e Cargo dos responsáveis pelos laboratórios - Fonte: Autor.....	70
Gráfico 8 - Local de trabalho - fonte: autor.....	70
Gráfico 9 - Tipos de manutenção do equipamentos - fonte: autor.....	72
Gráfico 10 - Responsáveis pela manutenção dos equipamentos - fonte: autor	73
Gráfico 11 - Previsão de aquisição de novos equipamentos - fonte: autor.....	75
Gráfico 12 - Envolvimento de outras áreas na aquisição dos equipamentos - fonte: autor	76
Gráfico 13 - Conhecimento sobre Indústria 4.0 - fonte: autor.....	77
Gráfico 14 - Oportunidade no uso das Tecnologias da Indústria 4.0 - Fonte: Autor.....	79
Gráfico 15 - Dificuldades e obstáculos no uso das Tecnologias da Indústria 4.0 - Fonte: Autor.....	80
Gráfico 16 - Conhecimentos sobre Manutenção 4.0	81
Gráfico 17 - Previsão dos equipamentos possuírem interface IoT - fonte: autor	82
Gráfico 18 - Grau de Escolaridade dos responsáveis pela manutenção dos equipamentos - Fonte: Autor	84
Gráfico 19 - Seção de Trabalho - fonte: autor	85
Gráfico 20 - Tipo de Manutenção Efetuada - fonte: autor.....	87
Gráfico 21 - Participação na aquisição de equipamentos - fonte: autor	88
Gráfico 22 - Conhecimentos sobre Indústria 4.0 - fonte: autor	90
Gráfico 23 - Oportunidade no uso das Tecnologias da Indústria 4.0 na perspectiva da DIMEQ - Fonte: Autor.....	91
Gráfico 24 - Dificuldades na implementação de tecnologias da Indústria 4.0 - fonte: autor	92
Gráfico 25 - Conhecimentos sobre Manutenção 4.0 - fonte: autor.....	93
Gráfico 26 - Previsão de interface IoT/Sensoreamento remoto - fonte: autor.....	94
Gráfico 27 - Interesse na participação de projetos relacionados à Manutenção 4.0 - fonte: autor	95

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Quantidades de publicações, por base de dados e tipo de pesquisa. Fonte: Autor.....	39
Tabela 2 - Publicações por periódico – fonte: autor.....	42
Tabela 3 - Distribuição dos artigos e publicações – fonte: autor	43
Tabela 4 - Quantidades de citações e artigos das principais publicações da base Scopus – fonte: autor	43
Tabela 5 - Quantidades de citações e artigos das principais publicações da base Web of Science – fonte: autor	44
Tabela 6 - Quantidades de publicações por país, para as duas bases de dados – fonte: autor.....	45
Tabela 7 - Listagem dos artigos mais citados nas bases de dados Scopus e Web of Science – fonte: autor.....	46
Tabela 8 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Web of Science, com destaque para as palavras chave em comum com a base Scopus – fonte: autor.....	50
Tabela 9 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Scopus, para o período até 2011 – fonte: autor.....	52
Tabela 10 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Web of Science, para o período até 2011 – fonte: autor	52
Tabela 11 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Scopus, para o período para o período entre 2002 e 2011 – fonte: autor.....	53
Tabela 12 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Web of Science, para o período entre 2002 e 2011 – fonte: autor.....	54
Tabela 13 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Scopus, para o período a partir de 2012 – fonte: autor	55
Tabela 14 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Web of Science, para o período a partir de 2012 – fonte: autor	56
Tabela 15 - Evolução das palavras chave nos três períodos de tempo – base de dados Scopus – fonte: autor.....	57
Tabela 16 - Equipamentos críticos dos laboratórios – fonte: autor	71
Tabela 17 - Comparativo entre as respostas dadas às Perguntas 13 e 10 - fonte: autor	82

Lista de Abreviaturas e Siglas

acatech: *Deutsche Akademie der Technikwissenschaften* – Academia Alemã de Ciências da Engenharia

CBM: *Condition Based Maintenance* – Manutenção Baseada em Condições

CMM: Capability Maturity Model - Modelo de Maturidade em Capacitação

CPS: *Ciber-Physical Systems* – Sistemas Ciber Físicos

DIMEQ: Diretoria de Manutenção de Equipamentos

ERP: Enterprise Resource Planning - Sistema de Gestão Empresarial

FAV: Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade de Brasília

FDM: Fused Deposition Modeling – Modelagem por Fusão e Deposição

FS: Faculdade de Saúde da Universidade de Brasília

FT: Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília

IB: Instituto de Biologia da Universidade de Brasília

ICT: *Info and Communication Technology* – Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC)

ICTs: Instituições de Ciência e Tecnologia

IG: Instituto de Geociências da Universidade de Brasília

IoS: *Internet of Services* – Internet dos Serviços

IoT: *Internet of things* – Internet das Coisas

IPdM: *Intelligent Predictive Maintenance* – Manutenção Preditiva Inteligente

MES: Manufacturing Execution Systems - Sistemas de Execução da Manufatura

MTBF: Mean Time Between Failures – Tempo médio entre falhas (TMEF)

MTTR: Mean Time to Repair – Tempo Médio para Reparo (TMPR)

Quant.: Quantidade

SCM: Supply Chain Management – Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

UnB: Universidade de Brasília

WoS: Web of Science

Sumário

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE GRÁFICOS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMÁTICA	15
1.2. OBJETIVOS	15
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	16
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2. METODOLOGIA	17
2.1. DELIMITAÇÕES.....	17
2.2. METODOLOGIA.....	17
2.2.1 <i>Abordagem da Pesquisa</i>	17
2.2.2 <i>Natureza da Pesquisa</i>	17
2.2.3 <i>Objetivos da Pesquisa</i>	18
2.2.4 <i>Delineamento da Pesquisa</i>	18
2.2.5 <i>Revisão de Literatura</i>	19
2.2.6 <i>Aplicação do Questionário</i>	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1. MANUTENÇÃO: DEFINIÇÕES E MODELOS	24
3.1.1. <i>Indicadores de manutenção</i>	24
3.1.2. <i>Manutenção Corretiva</i>	26
3.1.3. <i>Manutenção Preventiva</i>	26
3.1.4. <i>Manutenção Preditiva</i>	27
3.2. INDÚSTRIA 4.0.....	28
3.3 SISTEMAS CIBER FÍSICOS (CPS – CYBER PHYSICAL SYSTEMS).....	31
3.4 IOT - INTERNET OF THINGS (INTERNET DAS COISAS)	34

3.4.1.	<i>Internet dos Serviços (IoS – Internet of Service)</i>	35
3.4.2.	<i>Smart Maintenance</i>	36
3.5	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	39
3.5.1.	<i>Revisão Sistemática de Literatura (SLR)</i>	39
3.5.2.	<i>Publicações por ano</i>	39
3.5.3.	<i>Redes de palavras chave</i>	47
3.5.4.	<i>Discussões</i>	58
3.6.	POTENCIAIS DA MANUTENÇÃO 4.0	61
3.6.1.	<i>Manutenção remota</i>	62
3.6.2.	<i>Manutenção Cooperativa ou Colaborativa</i>	62
3.6.3.	<i>Manutenção imediata / on-line</i>	62
3.6.4.	<i>Manutenção Preditiva ou Manutenção Baseada em Condição (CBM)</i>	63
3.7.	DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	64
4.	ESTUDO DE CASO	66
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA DIRETORIA DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS (DIMEQ) DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	66
4.2	PESQUISA QUANTITATIVA	69
4.2.1	PERFIL 1 – RESPONSÁVEIS PELOS LABORATÓRIOS DA UNB.	69
4.2.2	PERFIL 2 – SERVIDORES RESPONSÁVEIS PELA MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA UNB	84
4.3.	DISCUSSÃO	96
4.4.	ANÁLISE QUALITATIVA DOS DADOS E SUGESTÕES DE INCORPORAÇÃO DE CONCEITOS DE INDÚSTRIA 4.0 NA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	100
5.	CONCLUSÕES	101
	BIBLIOGRAFIA	103
	ANEXOS	109
	ANEXO 1 – LISTAGEM LABORATÓRIOS DA UNB	109
	ANEXO 2 – LISTAGEM DOS ARTIGOS COMUNS ÀS BASES DE DADOS SCOPUS E WEB OF SCIENCE	119
	ANEXO 3 – QUESTIONÁRIO ENVIADO AOS RESPONSÁVEIS PELOS LABORATÓRIOS DA UNB – PERFIL 1	121
	ANEXO 4 – QUESTIONÁRIO ENVIADO AOS SERVIDORES DA DIMEQ – PERFIL 2	127

1. Introdução

A manutenção é de suma importância para a indústria moderna. Segundo Peng, Dong, e Zuo (2010) “A indústria moderna está cada vez mais exigindo que se trabalhe com alta confiabilidade, baixos riscos ambientais e segurança humana enquanto opera seus processos com rendimento máximo”. Grande parte das empresas ainda se utiliza das manutenções corretiva e preventiva. Sendo que a corretiva é a troca de uma peça, componente ou equipamento quando este deixa de funcionar da maneira para a qual foi projetado e a preventiva se caracteriza pela revisão, lubrificação ou substituição periódica para evitar uma parada do equipamento e consequente perda na produção.

Estamos vislumbrando o início da 4ª Revolução Industrial. As revoluções industriais têm sido identificadas pelo conjunto de inovações e avanços tecnológicos que as caracterizam. Segundo Hermann, Pentek e Otto (2016):

A primeira revolução industrial foi a introdução de instalações de produção mecânica a partir da segunda metade do século XVIII e foi intensificada ao longo de todo o século XIX. A partir da década de 1870, a eletrificação e a divisão do trabalho (ou seja, o taylorismo) levaram à segunda revolução industrial. A terceira revolução industrial, também chamada de “revolução digital”, surgiu na década de 1970, quando a eletrônica avançada e a tecnologia da informação desenvolveram ainda mais a automação dos processos de produção.

O que é reafirmado por Strozzi, F. et al. (2017):

A primeira Revolução Industrial (a partir de 1784: Henry Cort inventou uma maneira melhor de fazer ferro forjado) foi caracterizada pelo tear mecânico, água e vapor, equipamentos de produção mecânica. A segunda revolução (a partir de 1870 a 1915) foi caracterizada pela produção em massa, linhas de montagem utilizando energia elétrica. A terceira revolução (começando por volta de 1970) foi caracterizada por computadores e automação, a aparência do primeiro controlador lógico programável (PLC); e o quarto (começando em torno de 2010) é baseado em sistemas ciberfísicos, ou seja, o link de objetos reais com objetos virtuais através das redes de informação, e está reunindo sistemas digitais, físicos e biológicos.

A 4ª Revolução Industrial também é conhecida como Indústria 4.0 (*Industrie 4.0* em alemão ou *Industry 4.0* em inglês), Manufatura Avançada (*Advanced Manufacturing* em inglês) e *Smart Manufacturing*, *Smart Factory*, *Smart Industry* ou *Integrated Industry*. Segundo Kagermann et al. (2011) o termo Indústria 4.0 foi apresentado em 2011 na Feira de Hannover (Alemanha).

A Indústria 4.0, como toda revolução industrial, acarreta impactos na forma de produção nas empresas, na economia e na sociedade, possuindo caráter disruptivo, ou seja, cria novos mercados desestabilizando a forma tradicional de realizar negócios. Ela traz consigo desafios e oportunidades, sejam eles científicos, tecnológicos, econômicos, sociais ou políticos. (ZHOU, et al. 2015).

Segundo Marhaug e Schjøllberg (2016), a *Smart Maintenance* ou *e-Maintenance* ou *Intelligent Predictive Maintenance* (IPdM) pode ser considerada um subconjunto da Indústria 4.0, sendo composta por quatro componentes principais: Sistemas Ciber-Físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT), *Data Mining* (DM) e Internet de Serviços (IoS). Estes autores complementam que “os Sistemas Ciber-Físicos são descritos como tecnologias transformadoras para gerenciar sistemas interconectados entre seus ativos físicos e recursos computacionais”; já a IoT “refere-se à conexão de coisas físicas à Internet, o que possibilita acessar dados remotos do sensor e controlar o objeto físico à distância. A novidade da IoT não está em nenhuma nova tecnologia disruptiva, mas na implantação generalizada dos sistemas ciber-físicos”; “*Data Mining* é o processo de extrair conhecimento de diferentes fontes e grandes quantidades de dados”. E consideram Internet de Serviços (IoS) como o cálculo de dados e informações como um serviço, em oposição ao modelo tradicional de considerá-lo como um produto”. A *Smart Maintenance* tem apresentado diversos potenciais de aplicação, citados por Muller, et al., (2008): a Manutenção Remota, a Cooperativa ou colaborativa, a Imediata / on-line e a Preditiva ou Manutenção Baseada em Condição (CBM).

A Universidade de Brasília (UnB) possui 404 Laboratórios de Ensino, Pesquisa e Extensão distribuídos em 26 Faculdades, Institutos e Centros; bem como salas de aula, salas de secretarias e demais ambientes administrativos, e ainda uma série de equipamentos utilizados para dar suporte às atividades, tais como centrais telefônicas e de *racks* de internet, geradores, no-breaks, aparelhos de ar condicionado, freezers, refrigeradores, etc. que necessitam ser devidamente mantidos. Essa estrutura está distribuída em quatro *campi* dispersos no Distrito Federal e contando com uma área total de 4.787.449,13 m². (UnB, 2018)

A manutenção dos equipamentos de propriedade da UnB está a cargo da Diretoria de Manutenção de Equipamentos (DIMEQ), subordinada à Prefeitura do Campus Universitário (PRC). Para realizar as manutenções corretivas e preventivas, a DIMEQ conta com técnicos do quadro de servidores da UnB e também realiza a contratação de serviços terceirizados para execução de manutenções que requeiram mão de obra específica. Há uma crescente demanda no aumento da disponibilidade dos equipamentos bem como na redução dos custos operacionais atrelados à manutenção, para o atendimento desta demanda é necessário um profundo planejamento do serviço de manutenção dos equipamentos.

Barbalho, et al. (2017) argumentam que qualquer operação produz bens ou serviços, ou um misto dos dois faz isso por um processo de transformação. Posteriormente, tais autores apresentam um estudo e proposição de melhorias dos processos administrativos de um

programa de mobilidade estudantil em uma Instituição Federal de Ensino Superior. Este estudo realizou o mapeamento do processo, avaliando as atividades por meio de conceitos do *Lean Office*. Os autores reforçam que proposta foi aplicada nesse contexto e que o resultado se aplica a essa instituição em específico, entretanto sugerem que esse tipo de pesquisa e trabalho possam ser “utilizados em outros contextos do serviço público” (BARBALHO, et al (2017).

Neste contexto se delineou a problemática a seguir.

1.1. Problemática

As técnicas que caracterizam a Indústria 4.0 e a Manutenção 4.0 podem ser utilizadas em um ambiente de manutenção de equipamentos dentro de uma Universidade Pública Federal, considerando as características inerentes ao Serviço Público Brasileiro e ao ambiente organizacional existente?

A Universidade Pública Federal, assim como as demais instituições e órgãos mantidos com recursos do Poder Executivo Federal segue a Lei 8.666 de 21 de junho de 1993, bem como outras leis e instruções normativas que as complementam. Estabelecendo “normas gerais sobre licitações e contratos administrativos pertinentes a obras, serviços, inclusive de publicidade, compras, alienações e locações no âmbito dos Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios”, complementando que:

“Subordinam-se ao regime desta Lei, além dos órgãos da administração direta, os fundos especiais, as autarquias, as fundações públicas, as empresas públicas, as sociedades de economia mista e demais entidades controladas direta ou indiretamente pela União, Estados, Distrito Federal e Municípios. (...) As obras, serviços, inclusive de publicidade, compras, alienações, concessões, permissões e locações da Administração Pública, quando contratadas com terceiros, serão necessariamente precedidas de licitação”. (BRASIL, 1993)

A legislação vigente é apontada como responsável pela má qualidade das obras e compras públicas, segundo informado por Motta (2005) esses problemas são visualizadas pela população brasileira como intrínsecos às licitações públicas; complementando que a má qualidade é justificada em função das aquisições a partir do “menor preço”. Entretanto este mesmo autor aponta para os problemas apontados através da interpretação desta legislação na elaboração dos projetos e execução de obras públicas.

1.2. Objetivos

Os objetivos desta pesquisa estão classificados em Objetivo Geral e Objetivo específico e são descritos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o cenário onde se encontra a manutenção dos equipamentos da UnB sob o enfoque da nova revolução industrial, em especial dos seus laboratórios, com o objetivo de verificar as necessidades e oportunidades de desenvolvimento de soluções próprias.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para se alcançar o objetivo geral é necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a bibliografia científica relacionada à Indústria 4.0 e à Manutenção 4.0;
- Investigar a percepção dos servidores de UnB, tanto responsáveis pelos laboratórios como os responsáveis pela manutenção dos equipamentos da UnB, em relação envolvidos na aquisição à manutenção dos equipamentos, aos conceitos de Indústria 4.0 e Manutenção 4.0 bem como em relação aos desafios do uso de técnicas da Manutenção 4.0 na manutenção dos equipamentos da UnB mantidos pela DIMEQ;

1.3. Estrutura do Trabalho

Este estudo foi organizado em capítulos, descritos nos próximos parágrafos.

O Capítulo 1 é a introdução ao trabalho, contextualizando a relevância da pesquisa.

O Capítulo 2 aborda a Problemática, os Objetivos, a Metodologia e a Estrutura da Pesquisa.

No Capítulo 3 foi abordada aspectos da evolução da Manutenção Industrial, bem como a Revisão Bibliográfica relativa à Indústria 4.0, descrevendo também a Manutenção 4.0, sendo que para esta foi utilizada uma análise bibliométrica.

O Capítulo 4 descreve a Diretoria de Manutenção de Equipamentos da Universidade de Brasília, suas atividades e limitações, bem como os equipamentos mantidos por ela. E apresenta o estudo de caso relacionado à uso das tecnologias da Indústria 4.0 nos laboratórios de Ensino, Pesquisa e Extensão da UnB, realizado por meio de pesquisas quantitativas conduzidas com os servidores responsáveis pelos laboratórios e com os responsáveis pela manutenção dos equipamentos da UnB.

O Capítulo 5 traz as considerações finais e proposições de novas pesquisas relacionadas ao assunto.

2. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados na elaboração desta pesquisa, bem como as questões que originaram este trabalho.

Segundo Gil (2008) método é “caminho para se chegar a determinado fim. Método científico é o conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos adotados para se atingir o conhecimento”. Gerhardt e Silveira (2009) complementam que “metodologia é o estudo do método, ou seja, é o corpo de regras e procedimentos estabelecidos para realizar uma pesquisa” e prosseguem que a “complexidade do objeto a ser conhecido determina o nível de abrangência da apropriação. Assim, a apreensão simples da realidade cotidiana é um conhecimento popular ou empírico, enquanto o estudo aprofundado e metódico da realidade enquadra-se no conhecimento científico”.

Para Gil (2002) pesquisa é “o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”.

2.1. Delimitações

Este trabalho se delimita em explorar a manutenção dos equipamentos da UnB mantidos pela DIMEQ. Com enfoque nos equipamentos utilizados nos laboratórios científicos, de ensino pesquisa e extensão.

2.2. Metodologia

Este item descreve o método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento do trabalho.

2.2.1 Abordagem da Pesquisa

Este trabalho pode ser enquadrado como um estudo de caso quantitativo, pois conforme Prodanov e Freitas (2013), a Pesquisa Quantitativa “considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas”. Havendo a análise de dados numéricos.

2.2.2 Natureza da Pesquisa

Quanto à Natureza da Pesquisa, este estudo pode ser considerado como uma pesquisa aplicada, pois conforme Prodanov e Freitas (2013) “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses

locais”. Gil (2008) complementa afirmando que as pesquisas com esse tipo de natureza estão voltadas mais para a aplicação imediata de conhecimentos em uma realidade circunstancial.

2.2.3 Objetivos da Pesquisa

Este estudo é definido como uma pesquisa exploratória e descritiva, pois segundo Gil (2002) pesquisas exploratórias tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses, incluindo levantamento bibliográfico. Ele complementa que o estudo descritivo tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno.

2.2.4 Delineamento da Pesquisa

O delineamento se refere à concepção da pesquisa em seu aspecto mais abrangente, Prodanov e Freitas (2013) detalham: “O delineamento refere-se ao planejamento da pesquisa em sua dimensão mais ampla, envolvendo diagramação, previsão de análise e interpretação de coleta de dados, considerando o ambiente em que são coletados e as formas de controle das variáveis envolvidas”; complementando que “o elemento mais importante para a identificação de um delineamento é o procedimento adotado para a coleta de dados”.

Na definição de Prodanov e Freitas (2013), esta pesquisa é em parte bibliográfica, pois o embasamento se dá através da análise de artigos e livros publicados, e em parte com dados fornecidos por pessoas, através de um Levantamento (*survey*), que segundo eles “esse tipo de pesquisa ocorre quando envolve a interrogação direta das pessoas cujo comportamento desejamos conhecer através de algum tipo de questionário”.

Gil (2010) complementa que na maioria dos levantamentos:

[...] não são pesquisados todos os integrantes da população estudada. Antes selecionamos, mediante procedimentos estatísticos, uma amostra significativa de todo o universo, que é tomada como objeto de investigação. As conclusões obtidas a partir dessa amostra são projetadas para a totalidade do universo, levando em consideração a margem de erro, que é obtida mediante cálculos estatísticos.

Nesta pesquisa foi realizado levantamento através de questionários destinados a dois perfis distintos de servidores da UnB: o primeiro deles formado pelos responsáveis pelos laboratórios científicos da UnB, tanto Servidores Técnicos de Laboratórios como Docentes; num total de 404 laboratórios, distribuídos em 26 Faculdades, Institutos e Centros que representam todas as áreas de atuação desta Universidade: Ciências Biológicas, Ciências Naturais e Exatas, Ciências Sociais Aplicadas e Artes e Letras. O objetivo deste questionário

foi compreender a percepção destes acerca da manutenção realizada atualmente e também sobre as Indústria 4.0 e Manutenção 4.0, bem como das suas tecnologias facilitadoras.

O segundo grupo é formado pelos servidores lotados da DIMEQ, responsáveis pela manutenção dos equipamentos da UnB, sendo que estes servidores são responsáveis pela manutenção de todos os equipamentos, não somente os dos laboratórios. O objetivo deste segundo questionário também foi compreender a percepção destes acerca da manutenção realizada atualmente e também sobre as Indústria 4.0 e Manutenção 4.0, bem como das suas tecnologias facilitadoras.

2.2.5 Revisão de Literatura

A revisão bibliográfica foi complementada com uma pesquisa bibliométrica enfocada no tema Manutenção 4.0, de modo a utilizar as contribuições de vários autores para a fundamentação do tema investigado, seu contexto e tendências.

Segundo Oliveira, et al. (2013) bibliometria é:

Um recurso fundamental na difusão da produção científica, alcançando sua finalidade através de uma técnica capaz de medir a influência de pesquisadores ou periódicos, tornando possível traçar o perfil dos mesmos e suas tendências, assim como evidenciar áreas temáticas, entre outros.

Sendo que o método escolhido para extrair e analisar os artigos é a Análise Sistemática da Rede de Literatura (em inglês *Systematic Literature Network Analysis – SLNA*), utilizado por Strozzi, et al. (2017).

Na primeira fase da SLNA é realizada a Revisão Sistemática de Literatura (em inglês: *Systematic Literature Review – SLR*), onde a definição do escopo do estudo é identificada, através dos três passos seguintes; cujo resultado será o conjunto de artigos a serem avaliados:

a) Escopo da Análise: Denyer e Tranfield (2009) propuseram, como método para formular a pesquisa e delimitar a revisão de literatura, responder questões relacionadas ao Contexto, Intervenção, Mecanismo e Resultado (CIMO – em inglês *Context, Intervention, Mechanism and Outcome*).

b) Definir as palavras chave, período de tempo, tipo de documento e idioma.

c) Seleção e avaliação do estudo.

Já na segunda fase serão realizadas a visualização e análise das redes bibliográficas. Nesta pesquisa foram utilizados o software VOSviewer, versão 1.6.10 bem como da planilhas eletrônicas do Microsoft Excel.

Na primeira parte da pesquisa bibliométrica foi delimitado o escopo da análise, em qual contexto a pesquisa será delimitada. Para compreender os conceitos de *Smart Maintenance*, que é uma parte da Indústria 4.0, foram utilizadas as seguintes palavras chave: “*Smart Maintenance*”, “*Smarter Maintenance*”, “*Intelligent Maintenance*”, “*Real Time Maintenance*”, “*Ubiquitous Maintenance*”, “*e-Maintenance*” e “*Maintenance 4.0*”, que são outras nomenclaturas utilizadas para *Smart Maintenance*, como consequência destas palavras chave somente artigos na língua inglesa foram analisados e não foi feita restrição de período de tempo.

Deste modo feitas pesquisas em duas Bases de Dados, a Scopus e a Web of Science. Conforme a ELSEVIER (2019) é o maior banco de dados de resumo e citação da literatura revisado por pares do mundo e considera revistas científicas, livros, processos de congressos e publicações do setor. Esta base é atualizada diariamente e considera conteúdo das áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais, artes e humanidades (ELSEVIER, 2019). Já a Web of Science é, conforme o *Web of Science Group*, o maior e mais abrangente índice de citações de publicação neutra do mundo para descoberta, acesso e avaliação de pesquisas (*Web of Science Group*, 2019).

As pesquisas foram realizadas tanto com as palavras chaves aberta (ou não truncadas), isto é, utilizando as citações em que apenas uma ou ambas as palavras são utilizadas; bem como com as palavras truncadas, isto é, utilizando as citações em que há a correspondência exata das palavras. Sendo que devido às características de pesquisa de cada base de dados para a pesquisa truncada na base de dados Scopus os termos forma colocados entre colchetes: {...} e na Web of Science entre aspas: “...”. Em ambas as bases de dados foi aplicado filtro para que retornassem apenas artigos já publicados, isto é, as pesquisas não deveriam retornar Anais de Eventos, Congressos ou Encontros, por exemplo.

As avaliações das palavras chave dos artigos foram feitas utilizando o software VOSviewer. Foram feitas análises com os dados das duas bases de dados, tanto com a pesquisa aberta como com a truncada. Para uma uniformização da análise em todas as pesquisas o software foi mantido na configuração de modo a apresentar sua análise utilizando cinco ou mais ocorrências das palavras chave nos campos título e resumo, independente da quantidade de artigos analisada, exceto quando a quantidade de palavras chave identificada era menor que cinco.

Na pesquisa aberta na base de dados Scopus o software identificou, nos 2.000 artigos com maior quantidade de citações, um total de 17.318 palavras chave, sendo que 1.110 palavras chave com cinco ou mais ocorrências, sendo que para gerar o gráfico com os

relacionamentos o software limita um máximo de 1.000 palavras-chave. Foi identificado que, mesmo com um dos filtros de pesquisa sendo relacionado à engenharia muitos artigos relacionados à pesquisas na área da saúde foram apresentados, direcionando para uma pesquisa mais detalhada com as palavras chave truncadas. Segundo Van Eck e Waltman (2010) a importância de um item é demonstrada pelo tamanho do seu círculo representativo bem como pelo tamanho da suas letras; já a relação entre as palavras é identificada na medida em que são mais próximas umas das outras.

Na pesquisa aberta na base de dados Web of Science o software identificou um total de 2.627 palavras chave e com cinco ou mais ocorrências 92 palavras chave nos 500 artigos,

2.2.6 Aplicação do Questionário

Com o estudo bibliométrico foram constatadas as tendências do tema e foi possível identificar o cenário das publicações internacionais e também nacionais. Além das tendências foram identificados assuntos relevantes para a compreensão deste estudo. Foi identificado também que a situação vivenciada pela UnB está muito distante do retratado na análise do estado da arte relacionado ao tema e que uma análise quanto ao nível de maturidade apenas confirmaria o nível incipiente em relação à implantação das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

Para estas etapas da pesquisa: formulação e aplicação dos questionários, bem como na análise dos dados foram utilizadas técnicas da Observação Participante, já que o autor desta pesquisa é servidor da DIMEQ.

Segundo Gil (2008):

A observação participante, ou observação ativa, consiste na participação real do conhecimento na vida da comunidade, do grupo ou de uma situação determinada. Neste caso, o observador assume, pelo menos até certo ponto, o papel de um membro do grupo. Daí por que se pode definir observação participante como a técnica pela qual se chega ao conhecimento da vida de um grupo a partir do interior dele mesmo.

Sendo complementado por Mónico, et. al (2017):

O método da Observação Participante é especialmente apropriado para estudos exploratórios, estudos descritivos e estudos que visam a generalização de teorias interpretativas. Habitualmente recorre-se à Observação Participante com o propósito de elaborar, após cada sessão de observação, descrições “qualitativas”, de tipo “narrativo” (i.e., sem recorrer a grelhas de observação estandardizadas), que permitem obter informação relevante para a investigação em causa (exemplificando, formulação de hipóteses de investigação, auxílio à elaboração ou adaptação de teorias explanatórias, concepção de escalas de medida dos constructos em análise).

De modo a verificar a realidade na qual se encontra a manutenção dos equipamentos da UnB foi realizada uma pesquisa exploratória descritiva, através da aplicação de um questionário para explorar os fatos e percepções relacionadas tanto à Indústria 4.0 e Manutenção 4.0 como à manutenção dos equipamentos da UnB.

Yin (2001) explica que “como esforço de pesquisa, o estudo de caso contribui, de forma inigualável, para a compreensão que temos dos fenômenos individuais, organizacionais, sociais e políticos”. Sendo complementado por Triviños (1987): “O pesquisador parte de uma hipótese e aprofunda seu estudo nos limites de uma realidade específica, buscando antecedentes, maior conhecimentos para, em seguida, planejar uma pesquisa descritiva ou de tipo experimental”.

Foi realizada Pesquisa Quantitativa utilizando questionário estruturado com questões abertas e fechadas, com o objetivo de verificar o conhecimento e interesse de usuários do serviço de manutenção bem como dos profissionais que trabalham com manutenção em relação ao tema investigado. Estes dois grupos foram divididos conforme os seus perfis: Perfil 1 – responsáveis pelos laboratórios de ensino, pesquisa e extensão e Perfil 2 – servidores da DIMEQ que trabalham diretamente com a manutenção dos equipamentos da UnB, não somente com equipamentos de laboratório.

O objetivo do questionário destinado ao Perfil 1 foi compreender a percepção dos membros deste grupo em relação ao modo em que é realizada a manutenção dos equipamentos, o envolvimento de outras áreas da Universidade na ocasião da compra de novos equipamentos, e o seu entendimento em relação aos temas Indústria 4.0 e Manutenção 4.0. Este questionário contém um total de 15 perguntas, com 5 questões de resposta aberta onde o entrevistado pode escrever livremente e 10 perguntas de múltipla escolha, sendo que estas possuem campos para que os entrevistados possam explicar a sua resposta e opinar sobre o tema.

O questionário destinado ao Perfil 2 teve como objetivo compreender a percepção dos membros deste grupo em relação ao modo em que é realizada a manutenção dos equipamentos, o envolvimento da sua seção e outras áreas da Universidade na ocasião da compra de novos equipamentos, e o seu entendimento em relação aos temas Indústria 4.0 e Manutenção 4.0. Este questionário contém um total de 12 perguntas, com 3 questões de resposta aberta onde o entrevistado pode escrever livremente e 9 perguntas de múltipla escolha, sendo que estas possuem campos para que os entrevistados possam explicar a sua resposta e opinar sobre o tema.

A UnB possui 404 Laboratórios de Ensino, Pesquisa e Extensão distribuídos em 26 Faculdades, Institutos e Centros. Descontados os laboratórios de informática, de música, ateliês e outros cujos equipamentos são computadores, estabilizadores e aparelhos de ar condicionado, a quantidade é reduzida para 262 laboratórios. A lista com a relação dos laboratórios e institutos aos quais estão ligados está no Anexo I.

O envio do questionário considerou que a população desse estudo são todos responsáveis pelos laboratórios da UnB que possuem equipamentos científicos. Dessa forma, conforme Mattar (1996) o envio dos questionários deveria ser feito para um subconjunto dessa população, ou seja, uma amostra. Levine, Stephan e Szabat (2008) afirmam que quando essa amostra é probabilística

seus participantes são escolhidos de acordo com as probabilidades conhecidas, já a não-probabilística conta com uma escolha deliberada da sua composição.

Os questionários foram enviados por meio eletrônico (*e-mail*) para os servidores responsáveis pelos laboratórios de ensino, pesquisa e extensão. Para um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 5% seriam necessárias 157 respostas, quantidade considerada por SurveyMonkey (2019) como representativa. Entretanto apenas 18 respostas foram obtidas, fazendo com que fosse feita amostragem não probabilística, onde a aleatoriedade da amostra foi dada pelos que responderam à pesquisa.

O mesmo ocorreu com o questionário enviado aos servidores da DIMEQ, onde foram recebidas 11 respostas dentre um total de 38 servidores. Para um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 5% seriam necessárias 35 respostas. Também fazendo com que fosse feita amostragem não probabilística, onde a aleatoriedade da amostra foi dada pelos que responderam à pesquisa.

As respostas aos questionários foram apresentadas com a seguinte ordem: a pergunta, o gráfico com as respostas e, se houverem, as respostas abertas e comentários dos entrevistados.

Salienta-se que as respostas dos questionários serão discutidas com a Direção da DIMEQ para que esta procure sanar alguma falha que seja identificada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta pesquisa trata da aplicabilidade de novas tecnologias à manutenção, deste modo se faz necessário revisar os fundamentos e definições aplicados à manutenção de equipamentos.

3.1. Manutenção: definições e modelos

A primeira Revolução Industrial trouxe a mecanização do trabalho e com isso surgiu a necessidade da manutenção destes maquinários, Kardec e Nascif (2006) descrevem esta manutenção como baseada em limpeza, lubrificação e reparo após quebra, muitas vezes realizada pelo próprio operador. Estes autores descrevem a Manutenção em três fases: essa primeira, até 1940. A segunda fase entre 1940 e 1970, surgida durante a Segunda Guerra Mundial devido à necessidade de maior disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos que já atendiam uma produção em massa, surgida no final do século 19 e acentuada com a necessidade da produção para atender a guerra, veio com a necessidade de que os equipamentos e seus componentes fossem estudados e foram desenvolvidos sistemas que não apenas consertassem as quebras, mas que as evitassem. Esta nova metodologia, denominada Manutenção Preventiva, tem como principal característica a substituição sistemática de peças e itens, em intervalos fixos e predeterminados (SIQUEIRA, 2006).

A terceira fase surge na década de 70, em paralelo com as novas tecnologias computacionais na indústria, que além da crescente demanda por confiabilidade e disponibilidade, buscava maior qualidade e redução nos custos. Com a utilização de computadores verifica-se o aprimoramento da Manutenção Preventiva. Segundo Lima e Castilho (2006), com a chegada das novas tecnologias a equipe de manutenção começa a colher e analisar os dados sobre as causas e efeitos das falhas dos equipamentos, levando ao aprimoramento da Manutenção Preventiva, revendo os métodos de trabalho, aumentando a eficiência das equipes de manutenção e reduzindo os tempos de reparo. Esta metodologia foi denominada Manutenção Preditiva, que “busca identificar o final da vida útil dos componentes dos equipamentos com base na medição da sua degradação”. (LUCATELLI, 2002).

3.1.1. Indicadores de manutenção

Toda evolução relacionada à manutenção tem como objetivo aumentar a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos. “O que não se mede, não se gerencia”. Essa frase é atribuída W. Edward Deming, que ecoa no meio empresarial. Partindo desses

pressupostos, são necessários indicadores para medir os processos produtivos e em específico o desempenho relacionado ao funcionamento dos equipamentos para quantificar e monitorar e corrigir desvios no seu desempenho.

3.1.1.1. *Confiabilidade*

A confiabilidade diz respeito ao funcionamento de um sistema, produto ou serviço conforme o especificado e durante um determinado intervalo de tempo (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002). Esta definição é muito ampla, podendo ser empregada em diversas esferas, podendo ser facilmente empregada no setor industrial ou de serviços, onde a produção ou prestação de serviços prescinde da disponibilidade dos equipamentos. Segundo a NBR-5462 (1994), “Confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”, sendo usada como medida de desempenho.

Kardec e Nascif (2009) complementam que pode ser calculada pela com a seguinte fórmula:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Onde:

R (t) = confiabilidade a qualquer tempo;

e = base dos logaritmos neperianos (e=2,718);

λ = taxa de falhas (número total de falhas por período de operação);

t = tempo previsto de operação.

A taxa de falhas (λ) é determinada como o número de falhas por unidade de tempo. Frequentemente, é expressa em unidades de falha por milhão de horas (KARDEC; NASCIF, 2009). Kardec e Nascif (2009) representam a taxa de falhas pela seguinte equação:

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas}}{\text{número de horas de operação}}$$

3.1.1.2. *Disponibilidade*

Segundo a NBR-5462 (1994) Disponibilidade é:

Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), o índice de disponibilidade técnica pode ser calculado por meio da fórmula:

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Onde:

MTBF (Mean Time Between Failures) = Tempo médio entre falhas (TMEF);

MTTR (*Mean Time to Repair*) = Tempo Médio para Reparo (TMPR) – corretivos e preventivos.

O cálculo do MTBF e MTTR é dado pela relação entre os valores de tempo observados em um determinado período de tempo e o número de observações (KARDEC; NASCIF, 2009).

O Tempo médio entre falhas (MTBF) é geralmente obtido através de ensaios laboratoriais realizados com os componentes ou equipamentos completos. O MTBF é definido como o inverso da Taxa de Falhas:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Já o MTTR (Tempo médio para reparo) é o tempo consumido na reparação de uma falha, manutenção corretiva; ou de uma manutenção preventiva.

3.1.2. Manutenção Corretiva

Segundo Kardec e Nascif (2006) Manutenção Corretiva é o ato de corrigir uma falha ou desempenho inferior ao esperado. Lucatelli (2002) complementa que Manutenção Corretiva é o tipo de manutenção mais antigo e utilizado, sendo usado por qualquer empresa que possua itens físicos sem que haja necessidade de planejamento de manutenção.

Esta abordagem é geralmente utilizada nas seguintes situações: quando o modo de falha não justifique o custo da prevenção, como por exemplo, dificilmente uma empresa trocará as lâmpadas antes de estas deixarem de funcionar. Também é utilizada quando o modo da falha não é previsível, como por exemplo, em falhas devido às condições climáticas.

3.1.3. Manutenção Preventiva

Kardec e Nascif (2006) definem Manutenção Preventiva como intervenção realizada para reduzir ou evitar a falha, ou queda no desempenho, conforme planejamento prévio. Complementados por Lima e Castilho (2010), que definem como a substituição de peças ou componentes antes de atingirem o tempo de vida útil, que poderiam causar risco de falha.

Esta metodologia considera que as falhas seguem uma lógica temporal ou em função do uso do equipamento, não sendo aleatórias. A Manutenção Preventiva requer planejamento das atividades, com base nos manuais dos fabricantes e no histórico do equipamento e programação, em consonância com as atividades produtivas da empresa.

3.1.4. Manutenção Preditiva

Esta modalidade de manutenção é definida por Kardec e Nascif (2006) como “a atuação realizada com base em modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática”. O acompanhamento destes parâmetros não interfere no funcionamento dos equipamentos, pois as medições e verificações são realizadas com o equipamento em funcionamento. A decisão da intervenção é tomada quando se identifica que a degradação se aproxima de um limite pré-estabelecido. (KARDEC; NASCIF, 2006).

Os parâmetros medidos dependem das características equipamentos, podem ser destacados a análise das vibrações, nos mancais de rolamento ou deslizamento; análise dos lubrificantes, para identificar desgaste acentuado de algum componente; temperatura de trabalho do equipamento e variações na corrente elétrica que podem indicar falhas não perceptíveis por outras técnicas. E também pela análise dos gráficos de controle das peças ou produtos produzidos pelo equipamento.

A coleta destes dados muitas vezes é realizada manualmente em intervalos estabelecidos por uma rotina de inspeções, conforme ilustrado na figura 1.



Figura 1 - Coleta e análise de vibrações - fonte: internet

Como principais vantagens tem-se a eliminação de Manutenções Preventivas desnecessárias, eliminando custos diretos desta manutenção e aumentando a disponibilidade dos equipamentos. Bem como reduzir as paradas por falha nos equipamentos.

As fases da Manutenção Industrial andam em paralelo com as revoluções industriais. Elas são decorrentes das tecnologias vigentes à época destas revoluções, sempre com o objetivo de produzir mais, com qualidade maior e com custos menores.

Da mesma maneira as tecnologias oriundas da Indústria 4.0 são aplicadas à manutenção tanto em relação à evolução da coleta de dados, através de sensores e dispositivos IoT; como na análise e tratamento dos dados coletados, usando de Big Data; havendo a possibilidade do acompanhamento remoto dos equipamentos e até a utilização da realidade virtual para auxiliar nas tarefas de manutenção e treinamento.

Com esta revisão dos fundamentos de manutenção é possível partir para o referencial teórico focado nas Indústria 4.0 e Manutenção 4.0.

3.2. Indústria 4.0

Muitos pesquisadores afirmam que está acontecendo o início da 4ª Revolução Industrial – as revoluções industriais têm sido identificadas pelo conjunto de inovações e avanços tecnológicos que as caracterizam: a 1ª Revolução é caracterizada pelo tear mecânico e demais equipamentos mecânicos para produção de bens, inicialmente acionado pela força

d'água e posteriormente a vapor, no final do século 18; a 2ª Revolução é caracterizada pela linha de produção que evoluiu para a produção em massa, alimentada por energia elétrica, no início do século 20 e a 3ª Revolução, a partir dos anos 70, é caracterizada pela automação das operações de manufatura, com o uso da eletrônica – Comandos Lógicos Programáveis (CLPs) – e posteriormente com uso da Tecnologia da Informação (IT – *Information Technology*).

Yokoyama (2015) afirma que:

No modelo do século XX, os produtos que são o centro de serviços são objetos físicos, como automóveis, telefones e eletroeletrônicos domésticos. As tecnologias que os suportam são motores de combustão interna e energia elétrica, que surgiram da revolução industrial. Em contraste, “produtos” no centro da inovação do século 21 não são objetos. Em vez disso, elas são estruturas (plataformas) e as tecnologias que as suportam incluem ICT [*Information and Communications Technology*] e biotecnologia, que surgiram após a revolução industrial.

Carvalho e Duarte Filho (2018) complementam que a “indústria 4.0 não é simplesmente um novo conceito, mas sim um conjunto de definições e tecnologias que em sinergia, podem proporcionar diversos benefícios na área industrial”.

Segundo Kagermann, et al. (2011), o termo Indústria 4.0 foi apresentado em 2011 na Feira de Hannover (Alemanha), sendo utilizado também pelo governo alemão em 2012 no plano de ação “High-Tech Strategy 2020”, Kagermann, et al. (2013); entretanto os outros termos foram definidos de modo contemporâneo em diversos países: *Advanced Manufacturing* começou a ser utilizado com o significado de Indústria 4.0 a partir de 2011 pelo governo dos Estados Unidos, conforme o *President's Council of Advisors on Science and Technology* (2014).

Todas as Revoluções Industriais impactam na forma de produção nas empresas, na economia e na sociedade, sendo assim disruptivas, ou seja, alterando o modo de realizar negócios.

Para Kagermann, et al. (2013), “em essência, a Indústria 4.0 envolverá a integração técnica da CPS [*CPS: Cyber Physical Systems – Sistemas Ciber Físicos*] na fabricação e logística e o uso da Internet das Coisas e Serviços nos processos industriais. Isso terá implicações na criação de valor, modelos de negócios, serviços derivado e organização do trabalho”. Já Maynard (2015) advoga que não há entendimento universal no que constitui uma Revolução Industrial e que essa revolução pode vir a ser somente uma promessa, sem que os benefícios prometidos sejam alcançados caso não haja um esforço para assegurar o seu desenvolvimento benéfico.

Mesmo com essa dúvida a Indústria 4.0 está em desenvolvimento: existe um crescente interesse das instituições de pesquisa, universidades e empresas neste assunto. Em uma

pesquisa na base de dados Scopus, realizada em 24 de janeiro de 2019, apenas com as palavras chave *Industry 4.0* e *Industrie 4.0* foi identificado um total de 4.407 documentos, entre artigos apresentados em congressos e conferências, artigos publicados, capítulos de livros, anais de congressos e conferências e artigos a serem publicados. Apresentando um crescimento anual significativo, conforme mostrado no Gráfico 1.

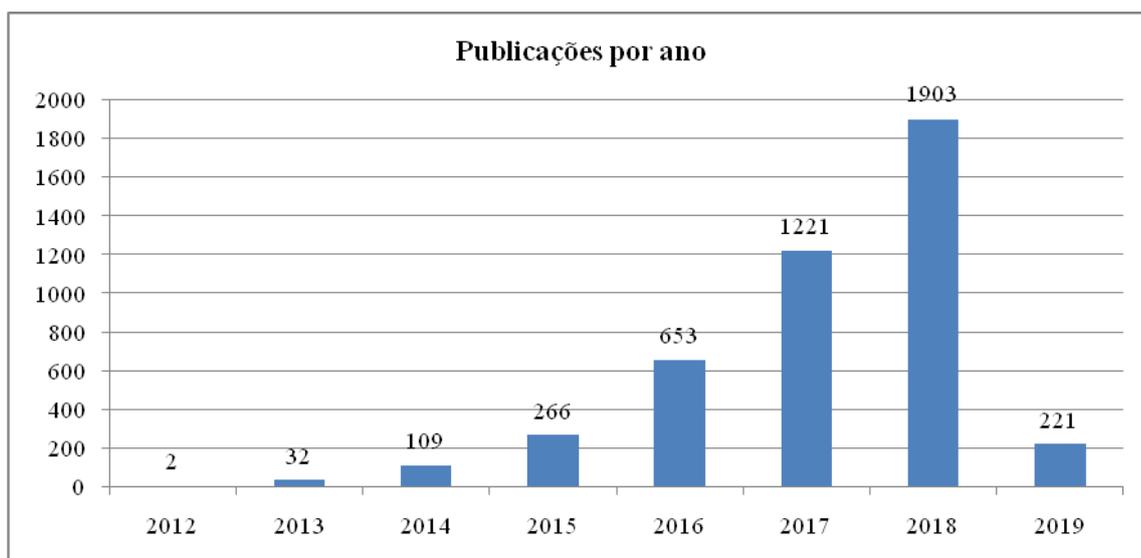


Gráfico 1 - Evolução das publicações relacionadas ao tema entre 2011 e 2019 - fonte: autor

Maynard (2015) complementa que “em sua essência, a quarta revolução industrial representa uma fusão sem precedentes entre e através de tecnologias digitais, físicas e biológicas, e uma resultante transformação antecipada em como os produtos são feitos e usados”. Mostrando que além dos CPS e IoT esta indústria está agregando novas áreas de conhecimento e tecnologias. Em sua pesquisa bibliométrica, Liao et al. (2017) identificaram diversas tecnologias que estão sendo utilizadas de maneira complementar, sustentando o desenvolvimento da indústria 4.0, como mostrado no Gráfico 2.

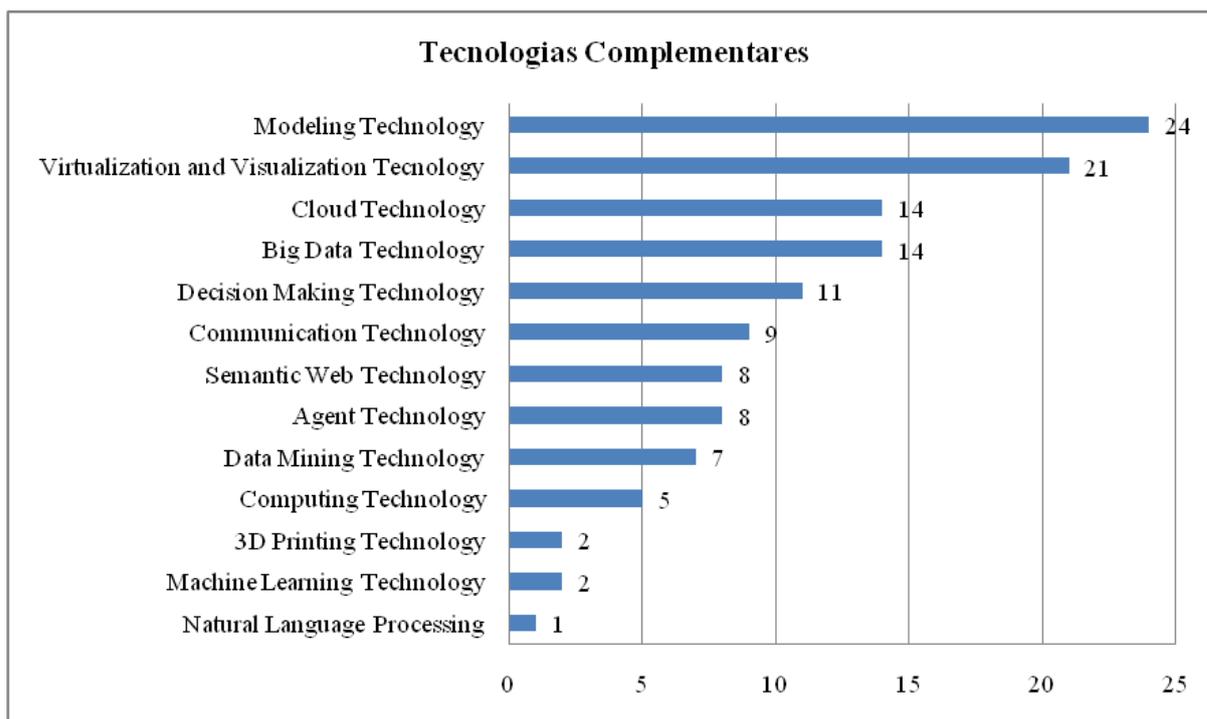


Gráfico 2 - Tecnologias Complementares à Indústria 4.0 – valores em % de ocorrência na pesquisa realizada por Liao (2015) – Fonte: adaptado de Liao (2015)

Os ganhos esperados na Indústria 4.0 são listados por Ferreiro, et al. (2016) são:

Otimização do processo de produção; o monitoramento e avaliação da integridade do equipamento para definir e executar ações de manutenção antes que alguma falha ocorra; otimização dos parâmetros operacionais visando redução no consumo de energia; lidar com eventos inesperados e conectar-se não apenas com outras máquinas e recursos de produção, mas também com a equipe envolvida na produção, aproveitando a quantidade de informações e dados disponíveis.

Ferreiro, et al. (2016) no seu estudo no setor fabricação de máquinas ferramentas cita como maior desafio para este setor o sensoamento e monitoramento das máquinas ferramentas, a criação de modelos preditivos baseados nos dados adquiridos, uso de soluções baseadas em nuvem para o gerenciamento das informações das máquinas em diversos consumidores. Bem como a interface para a comunicação entre as máquinas ou CPS com a nuvem.

3.3 Sistemas Ciber Físicos (CPS – Cyber Physical Systems)

Os CPS são, conforme Maynard (2015), “a união entre tecnologias digitais e físicas ao longo da cadeia de valor do produto, na tentativa de transformar a produção de bens e serviços”. Lee (2008) complementa “Sistemas Ciber-Físicos (CPS) são integrações de computação com processos físicos. Computadores e redes incorporados monitoram e controlam os processos físicos, geralmente com *loops de feedback* onde os processos físicos afetam a computação e vice-versa”. Já para Baheti e Gill (2011) CPS é definido “como

tecnologias transformadoras para gerenciar sistemas interconectados entre seus ativos físicos e recursos computacionais”.

Aplicações de CPS têm, sem dúvida, o potencial para ultrapassar a revolução de TI do século XX. Eles incluem sistemas e dispositivos médicos de alta confiança, vida assistida, controle de tráfego e segurança, sistemas automotivos avançados, controle de processo, conservação de energia, controle ambiental, aviação, instrumentação, controle de infra estrutura crítica (energia elétrica, recursos hídricos e sistemas de comunicações, por exemplo), robótica distribuída (tele presença, tele medicina), sistemas de defesa, fabricação e estruturas inteligentes. LEE (2008)

Os CPS são uma evolução dos sistemas embarcados provenientes da 3ª Revolução Industrial, para Lee (2008) “a integração de processos físicos e computação não é nova. O termo “sistemas embarcados” tem sido usado há algum tempo para descrever sistemas projetados que combinam processos físicos com computação”. E completa que “aplicações bem-sucedidas incluem sistemas de comunicação, sistemas de controle de aeronaves, eletrônicos automotivos, eletrodomésticos, sistemas de armas, jogos e brinquedos, por exemplo”.

Lee, et al. (2015) considera que “em geral, um CPS consiste em dois componentes funcionais principais: (1) a conectividade avançada que garante a aquisição de dados em tempo real do mundo físico e o feedback de informações do ciberespaço; e (2) gerenciamento inteligente de dados, análise e capacidade computacional que constrói o ciberespaço”. Como estes requerimentos são abstratos ele propõe uma estrutura de 5 níveis para a implementação passo a passo de um CPS, conforme ilustrado na Figura 1 e descrito a seguir.

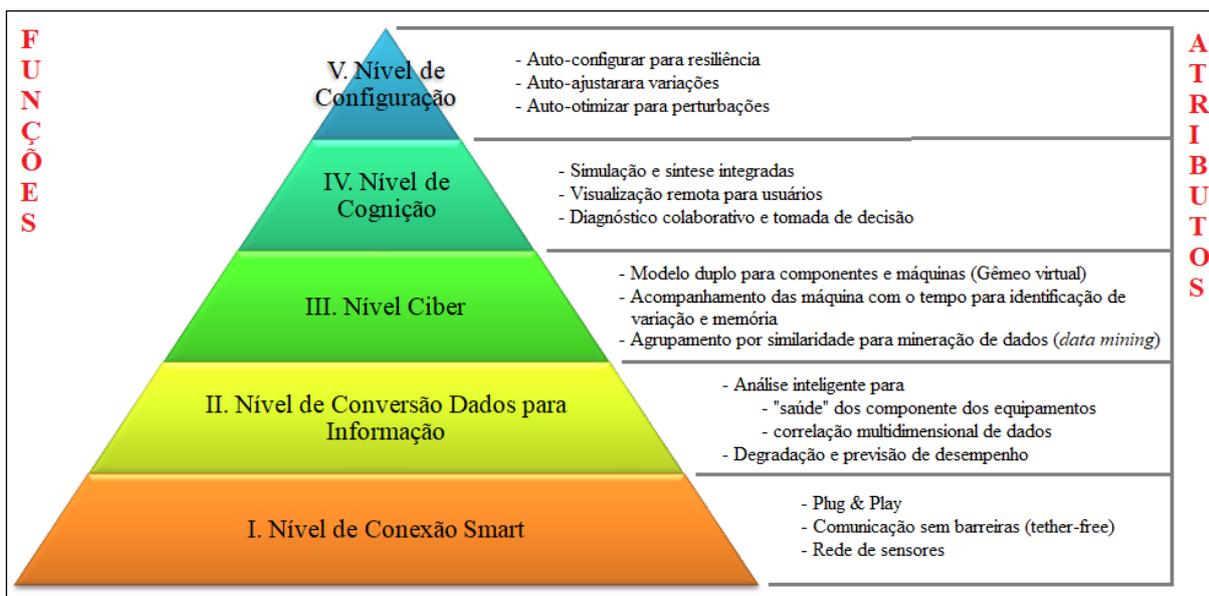


Figura 2 - Arquitetura 5C para implementação de um CPS – Fonte: Lee, et al (2015)

O Nível de Conexão *Smart* consiste na aquisição de dados precisos e confiáveis das máquinas e seus componentes e é o primeiro passo no desenvolvimento de um aplicativo do sistema cibernético. Os dados podem ser medidos diretamente por sensores ou obtidos de sistemas de manufatura controladora ou corporativa tais como ERP, MES, SCM e CMM.

O Nível de Conversão de Dados para Informação consiste na introdução das informações significativas, obtidas pelos sensores ou sistemas através de algoritmos específicos para prognóstico e gerenciamento da saúde dos componentes e das máquinas. Segundo Lee, et al. (2015) ao calcular o valor de saúde, a vida útil remanescente estimada e etc., o segundo nível de arquitetura do CPS traz autoconsciência às máquinas.

Já o Nível Cyber atua como *hub* central de informações nessa arquitetura. As informações estão sendo enviadas para ele de todas as máquinas conectadas para formar a rede de máquinas. Com informações massivas coletadas, análises específicas precisam ser usadas para extrair informações adicionais que forneçam melhor insight sobre o status de máquinas individuais entre a frota. Essas análises fornecem às máquinas uma capacidade de autocomparação, na qual o desempenho de uma única máquina pode ser comparado e classificado entre as demais. Por outro lado, as semelhanças entre o desempenho da máquina e os ativos anteriores (informações históricas) podem ser medidas para prever o comportamento futuro do maquinário. Lee et al. (2015).

No Nível de Cognição a implementação do CPS gera um conhecimento profundo do sistema monitorado. A apresentação adequada do conhecimento adquirido a usuários experientes apóia a decisão correta a ser tomada. Como a informação comparativa, bem como o status individual da máquina, está disponível, a decisão sobre a prioridade das tarefas para otimizar o processo de manutenção pode ser tomada. Lee. et al. (2015).

O Nível de Configuração traz o *feedback* do ciberespaço ao espaço físico e atua como controle de supervisão para tornar as máquinas autoconfiguradas e auto-adaptáveis. Esta etapa atua como um sistema de controle de resiliência (SCR) para aplicar as decisões corretivas e preventivas, que foram tomadas em nível de cognição, ao sistema monitorado. Lee. et al. (2015).

A Figura 2 mostra as aplicações e técnicas associadas entre os níveis da arquitetura 5C.

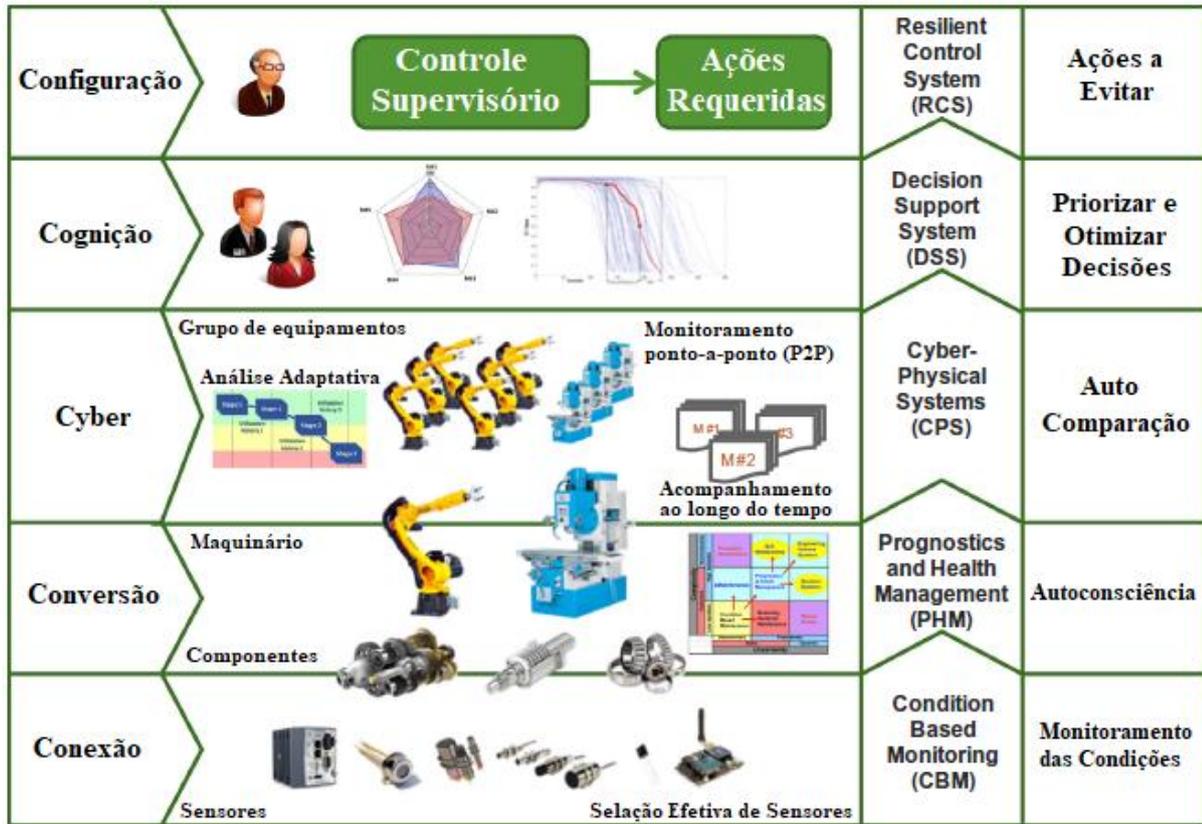


Figura 3 - Aplicações e técnicas associadas a cada nível da arquitetura 5C – Fonte: Lee, et al (2015)

3.4 IoT - Internet of Things (Internet das Coisas)

Nos últimos anos, os contínuos avanços no campo da eletrônica, assim como o desenvolvimento de novos sistemas de comunicação sem fio de alto desempenho e custo efetivo, fomentaram a chamada visão da Internet das Coisas (IoT), (CIVERCHIA, et al., 2017). Estes autores complementam que:

A possibilidade de conectar dispositivos ou objetos, ao mesmo tempo em que oferece a possibilidade de compartilhar informações relacionadas ao ambiente circundante, é mais um passo na direção da criação de Sistemas Ciber-físicos (CPS) eficazes, nos quais o monitoramento e controle tarefas podem ser executadas. Seguindo essa visão, aplicações avançadas baseadas em objetos da IoT têm sido propostas em vários domínios de aplicação, lançando as bases para a criação de Smart Cities, Smart Homes e, mais recentemente, Smart Factories.

Gubbi, et al. (2013) afirmam que “A detecção onipresente, possibilitada pelas tecnologias Wireless Sensor Network (WSN), atua em muitas áreas da vida moderna. Isso oferece a capacidade de medir, inferir e compreender indicadores ambientais”, complementando que “a proliferação desses dispositivos em uma rede de comunicação ativa cria a Internet das Coisas (IoT), na qual sensores e atuadores se combinam perfeitamente com o ambiente ao nosso redor, e as informações são compartilhadas entre plataformas para desenvolver uma imagem operacional comum”.

A evolução dos sistemas embarcados tem crescido exponencialmente, segundo Stankovic (2014), muitos edifícios possuem sensores visando economia de energia, há uma crescente automação residencial, fábricas estão conectadas na internet, serviços médicos utilizam sensoriamento residencial como forma de medicina remota, existem pesquisas para o desenvolvimento de ônibus, taxis e automóveis autônomos, etc. Este autor cita as linhas de pesquisas proeminentes “à Internet das Coisas (IoT), Computação Móvel (MC), Computação Pervasiva (PC), Redes de Sensores Sem fio (WSNs) e, mais recentemente, sistemas ciber físicos (CPS)”. Apontando que “à medida que a tecnologia e as soluções avançam em cada um desses campos, há uma crescente sobreposição e fusão de princípios e questões de pesquisa”.

Como visão de futuro da IoT Stankovic (2014) conclui que “a IoT se torna uma utilidade com maior sofisticação em detecção, atuação, comunicações, controle e na criação de conhecimento a partir de grandes quantidades de dados. Isso resultará em estilos de vida qualitativamente diferentes a partir de hoje”. Hofmann e Rüsçh (2017) complementam que “espera-se que a IoT abra inúmeras oportunidades econômicas e possa ser considerada uma das tecnologias mais promissoras com um enorme potencial disruptivo”.

A literatura científica mostra um grande potencial na utilização de soluções de monitoramento sem fio do ambiente industrial baseadas em IoT.

3.4.1. Internet dos Serviços (IoS – Internet of Service)

Dos impactos advindos das novas tecnologias cabe ressaltar um subgrupo da IoT que é a Internet dos Serviços (IoS). Hofmann, et al. (2017) explicam que como os serviços são disponibilizados facilmente por meio de tecnologias da Web, permitem que empresas e usuários combinem, criem e ofereçam novos tipos de serviços de valor agregado, evoluindo de apenas *Smart Things* (“Coisas Espertas”) ligadas à internet para equipamentos e fábricas inteligentes (“*Smart Factorys*”).

Silva, Santos Filho e Miyagi, (2015) complementam que “a Indústria 4.0 prevê a integração entre humanos e máquinas, mesmo que em posições geográficas distantes, formando grandes redes e fornecendo produtos e serviços de forma autônoma”.

A literatura científica tem apresentado soluções da IoS aplicadas no campo da manutenção industrial. Lee et al. (2006) exemplificam usos da CBM – Manutenção Baseada em Condições em diversas aplicações: análise da assinatura das vibrações, análise dos lubrificantes, etc. em diversos equipamentos, desde industriais até transmissões de helicópteros. Bangermann, et al. (2006) mostram o resultado do projeto PROTEUS, iniciativa

européia que consiste numa “arquitetura e conceitos básicos de uma plataforma de integração, que constitui o framework de sistemas que implementam as tarefas dedicadas à manutenção remota, bem como outras aplicações”, patrocinada pelo Ministério da Economia, Finanças e Indústria da França e pelo Ministério Federal de Educação e Pesquisa da Alemanha sob o rótulo de Iniciativa da Comissão Europeia ITEA. Ferrero et al. (2016) mostram a aplicação da sensorização e monitoramento no setor de máquinas-ferramentas de alta precisão, em especial do fabricante GORATU; desde os requerimentos de projeto até os testes de bancada para calibração dos algoritmos e implementação das soluções encontradas.

3.4.2. Smart Maintenance

A manutenção industrial não é um tema recente, surgiu junto com a própria indústria e evoluiu com ela. Para Muller, Marquez e Jung, (2007) “A importância da função de manutenção aumentou devido ao seu papel na manutenção e melhoria da disponibilidade e segurança do sistema, bem como da qualidade do produto”.

Em grande parte das empresas a manutenção está nos seus estágios iniciais, trabalhando com um “quebra e conserta” que é característico da manutenção corretiva e também da manutenção seguindo um cronograma estabelecido pelo fabricante do equipamento. Lee, et al. (2006) explicam que “muita manutenção de máquinas hoje é reativa (consertando ou substituindo equipamentos depois de falharem) ou cegamente proativa (assumindo um certo nível de degradação do desempenho, sem informações da própria máquina, seguindo um cronograma de rotina, sem saber se o serviço é realmente necessário ou não)”. Complementando que em ambos cenários ocorre desperdício de recursos.

Tais autores afirmam que no mercado global e competitivo, existe uma “grande pressão para que as indústrias manufatureiras reduzam continuamente e eliminem paralisações dispendiosas e não programadas e quebras inesperadas” e que “a manutenção eletrônica atende às necessidades fundamentais das ferramentas de inteligência preditiva para monitorar a degradação em vez de detectar as falhas em um ambiente de rede e, por fim, otimizar a utilização de ativos na instalação”.

Explicam que mesmo que uma falha em um equipamento dê impressão de ser repentina, máquinas geralmente passam por um processo mensurável de degradação antes de falharem. Complementando que “quando as máquinas inteligentes são conectadas em rede e remotamente monitoradas, e quando seus dados são modelados e continuamente analisados com sofisticados sistemas embarcados, é possível ir além da mera ‘manutenção preditiva’ e ‘prognósticos inteligentes’”.

O prognóstico inteligente é, segundo Lee et al. (2006):

... uma abordagem sistemática que pode rastrear continuamente a degradação da saúde e extrapolar o comportamento temporal de indicadores de saúde para prever riscos de comportamento inaceitável ao longo do tempo, bem como identificar exatamente quais componentes de uma máquina provavelmente falharão. Essa percepção contínua da saúde presente e futura das máquinas e seus componentes, bem como a infra-estrutura do fluxo de informações, permite a migração para a e-manutenção baseada em prognósticos inteligentes, onde as ações de manutenção são sincronizadas com a operação geral do sistema e com a recursos de manutenção necessários e peças de reposição. Essa sincronização de ações de manutenção e infra-estrutura de fluxo de informações deve permitir o acionamento autônomo de serviços e o pedido de peças sobressalentes, gerando operação do sistema com tempo de inatividade próximo de zero por meio de manutenção proativa e econômica, a menos intrusiva à função normal do sistema.

Marhaug e Schjøllberg (2016) consideram a *Smart Maintenance* como um subconjunto da Indústria 4.0, propondo a estrutura mostrada na Figura 3, a seguir. Eles complementam que “*Data Mining* é o processo de extrair conhecimento de diferentes fontes e grandes quantidades de dados”. E consideram Internet de Serviços (IoS) como o cálculo de dados e informações como um serviço, em oposição ao modelo tradicional de considerá-lo como um produto”.

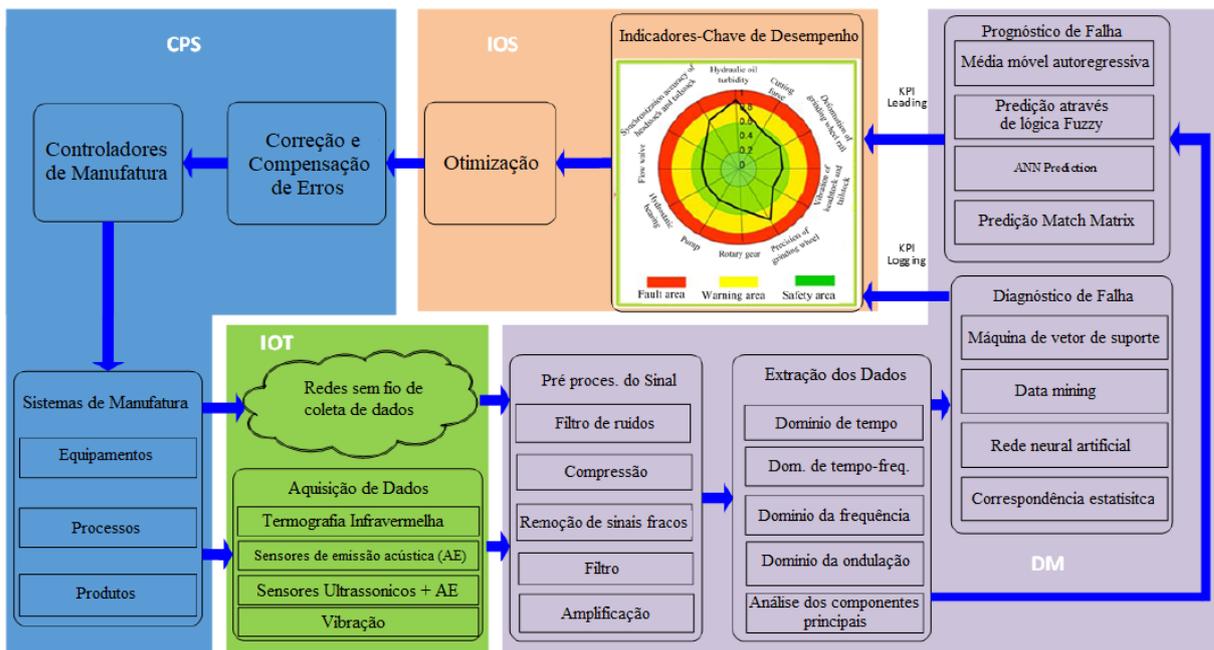


Figura 4 - Estrutura da Manutenção Inteligente Preditiva (Intelligent Predictive Maintenance (IPdM)) fonte: Marhaug, et al. (2016)

Esta figura mostra a estrutura de uma Manutenção Inteligente Preditiva, com a integração entre os seus principais componentes: CPS – Sistemas Ciber-físicos; IoT – Internet das Coisas; IoS – Internet dos Serviços e DM – Data Mining.

Marhaug et al. (2016) detalham que:

Sistemas ciber-físicos são descritos como tecnologias transformadoras para o gerenciamento de sistemas interconectados entre seus ativos físicos e recursos computacionais. Em geral, o CPS consiste em dois componentes principais: 1) conectividade avançada que garante a aquisição de dados em tempo real a partir de sistemas físicos, 2) gerenciamento inteligente de dados, análise e capacidade computacional.

Internet das Coisas é a conexão de coisas físicas com a internet, o que torna possível acessar dados de sensores remotos e controlar o objeto físico à distância. A novidade da IoT não está em nenhuma nova tecnologia disruptiva, mas na implantação difundida de sistemas ciber-físicos.

Data Mining é o processo de extrair conhecimento de diferentes fontes e grandes quantidades de dados

Internet de serviços é considerar o cálculo de dados e informações como um serviço, em oposição ao modelo tradicional de considerá-lo como um produto.

Corroborando com o exposto acima, Lee, et al. (2006) detalham que com a chegada da internet e demais tecnologias que estão alicerçando a Indústria 4.0 as empresas precisam de mudanças drásticas na modificação das tradicionais práticas de manutenção corretiva em uma metodologia de prever e prevenir. Complementa que “a manutenção eletrônica atende às necessidades fundamentais das ferramentas de inteligência preditiva para monitorar a degradação em vez de detectar as falhas em um ambiente de rede e, por fim, aprimorando a utilização de ativos na instalação”. Ou seja, haverá uma alteração das manutenções corretiva e preventiva, que são as mais utilizadas na maioria das empresas para uma manutenção preditiva e proativa. Civerchia, et al. (2017) destacam que a sensorização acarreta na redução das falhas nos equipamentos por meio da capacidade rápida na detecção de eventos, complementando que “considerando os dispositivos de IoT capazes de se comunicar e interoperar entre eles, possíveis atrasos devido a interações humanas no ciclo podem ser evitados, e uma reação rápida a eventos críticos pode ser alcançada”.

Muller, et al. (2008) sintetizam que e-maintenance é:

Suporte de manutenção que inclui os recursos, serviços e gerenciamento necessários para permitir a execução proativa do processo de decisão. Esse suporte inclui tecnologias eletrônicas (ou seja, tecnologias de informática, baseadas na Web, sem fio, sem fio, infotrônicas), mas também atividades de manutenção eletrônica (operações ou processos), como monitoramento eletrônico, diagnóstico eletrônico, prognóstico eletrônico, etc”.

O surgimento da e-maintenance pode, segundo Muller, et al. (2008), ser atribuído a dois fatores: “O aparecimento de tecnologias eletrônicas permitindo o aumento da eficiência de manutenção, velocidade, proatividade e assim por diante para otimizar o fluxo de trabalho relacionado à manutenção” e à “necessidade de integrar o desempenho do negócio, que impõe à área de manutenção os seguintes requisitos: abertura, integração e colaboração com os demais serviços do e-enterprise”.

3.5 Análise Bibliométrica

Diante deste cenário esta parte do trabalho tem como objetivo analisar a produção acadêmica internacional a fim de compreender o seu comportamento em relação aos seguintes tópicos: período de tempo, autores e periódicos com maior número de publicações, além dos artigos mais citados na literatura e ainda a relação entre as palavras chaves mais recorrentes.

3.5.1. Revisão Sistemática de Literatura (SLR)

A Tabela 1 mostra as quantidades de publicações identificadas nas pesquisas abertas e truncada realizadas nas Bases de Dados Scopus e Web of Science.

Base de Dados	Scopus		Web os Science	
	Aberta	Truncada	Aberta	Truncada
Tipo de Pesquisa				
Total de Documentos	30.015	715	15.582	555
Artigos relacionados à Engenharia	5.210	212	1.641	119

Tabela 1 - Quantidades de publicações, por base de dados e tipo de pesquisa. Fonte: Autor

3.5.2. Publicações por ano

Nas pesquisas nas duas bases de dados não foram feitas limitações de período de tempo. Assim nos universos pesquisados dos 5.210 artigos da base de dados Scopus o mais antigo foi publicado em 1970 e os mais recentes em 2019, já na base Web of Science, dos 1.641 artigos o mais antigo foi publicado em 1988 e os mais recentes também em 2019. O Gráfico 3 mostra a evolução das publicações ao longo dos anos. Salienta-se que as bases de dados limitam a quantidade de documentos quando da exportação destes para arquivos utilizados nas análises bibliométricas, deste modo dos 5.210 artigos da base de dados Scopus foram analisados os 2.000 com maior número de citações e dos 1.641 da Web of Science, 500 artigos.

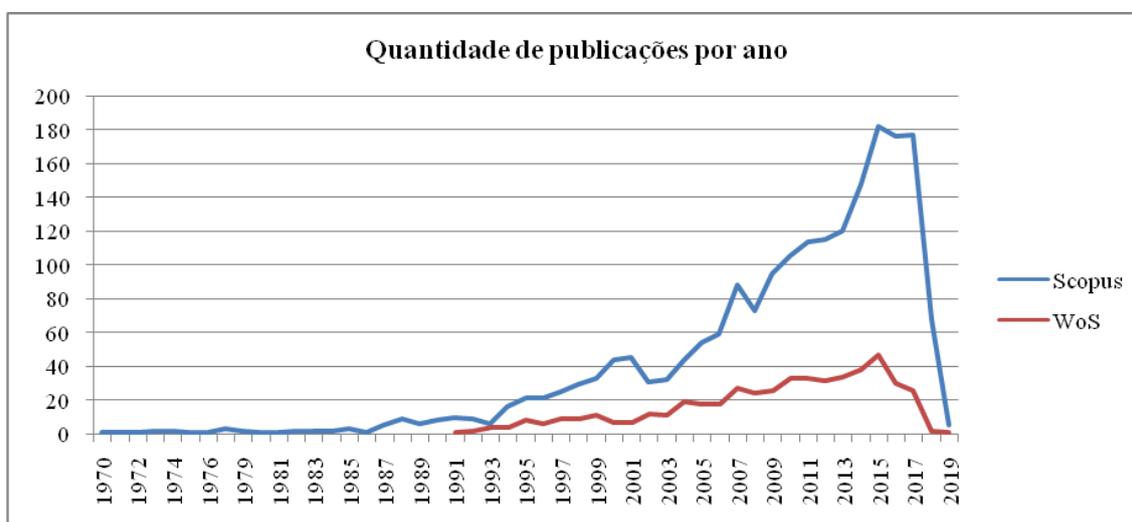


Gráfico 3 - Evolução das publicações ao longo do tempo – pesquisa aberta - fonte: autor

Ambas as bases de dados mostram um tendência de crescimento da quantidade de artigos relacionados ao tema, mesmo com a diferença entre as quantidade de artigos das bases de dados.

Como as quantidades de artigos diferem entre as bases de dados, o Gráfico 4 mostra a evolução das publicações em valores percentuais para uma melhor visualização das mesmas.

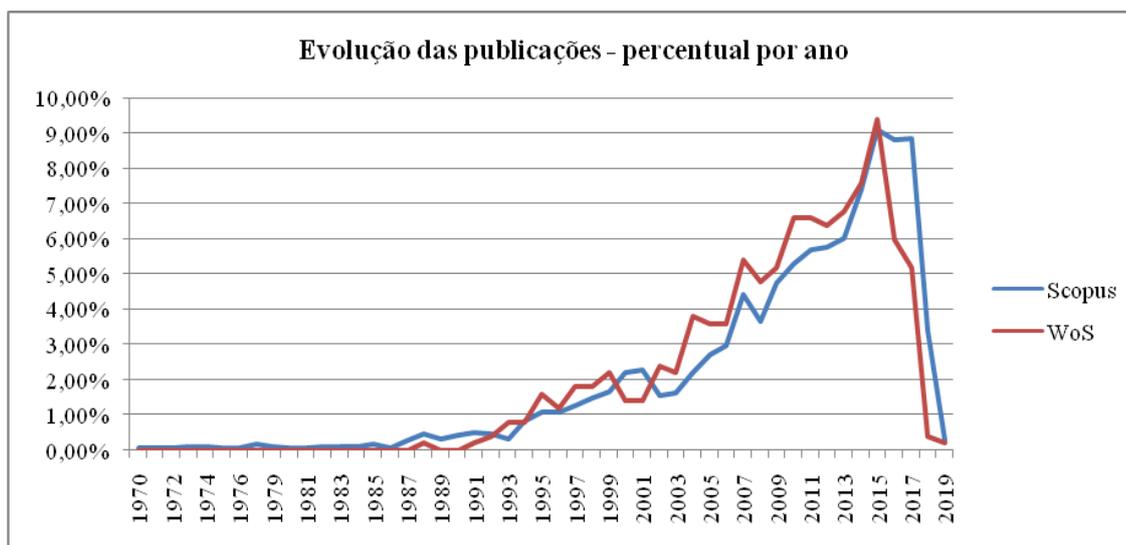


Gráfico 4 - Evolução das publicações ao longo do tempo, em percentuais – pesquisa aberta - fonte: autor

Comparando a evolução percentual das publicações nota-se que ambas as bases de dados apresentam evolução semelhante, onde é perceptível o aumento das publicações a partir de meados dos anos 90 com crescimento acentuado a partir de 2003.

Utilizando-se as palavras chave truncadas também não foi feita restrição de período de tempo, deste modo, nos universos pesquisados dos 212 artigos da base de dados Scopus o mais antigo foi publicado em 1991 e os mais recentes em 2019, já na base Web of Science. Dos 119 artigos, o mais antigo foi publicado em 1988 e os mais recentes também em 2019. O Gráfico 5 mostra a evolução das publicações ao longo dos anos.

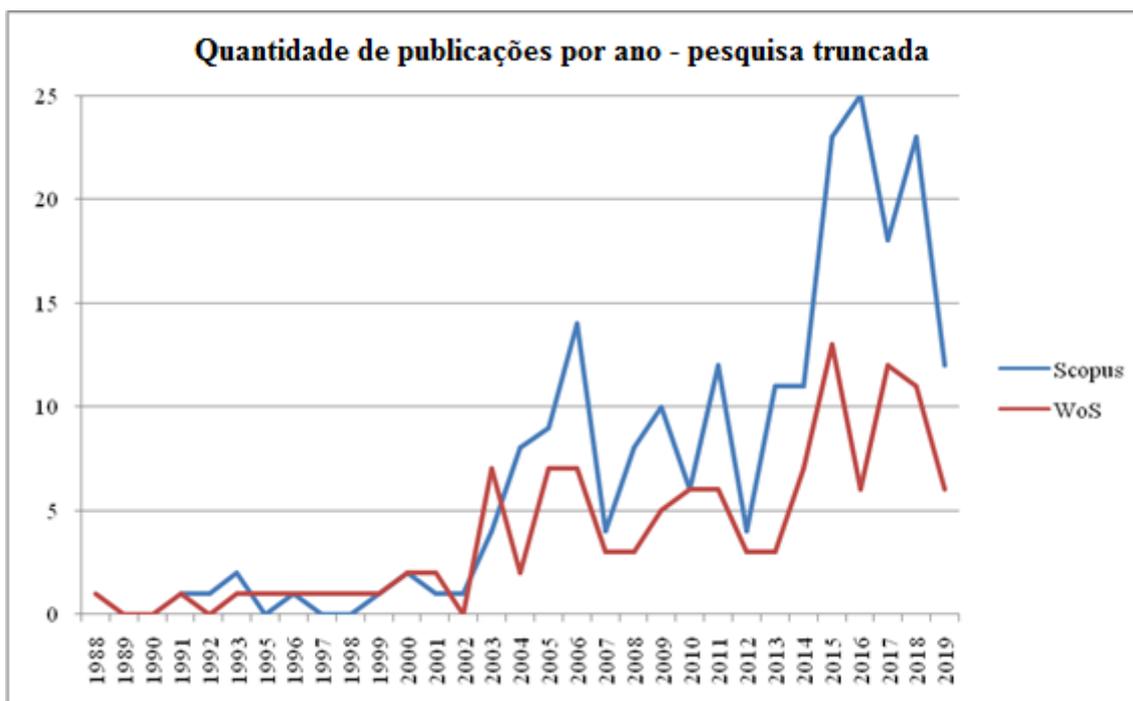


Gráfico 5 - Evolução das publicações ao longo do tempo – pesquisa truncada - fonte: autor

Como as quantidades de artigos diferem entre as bases de dados o Gráfico 6 mostra a evolução das publicações em valores percentuais para uma melhor visualização das mesmas.

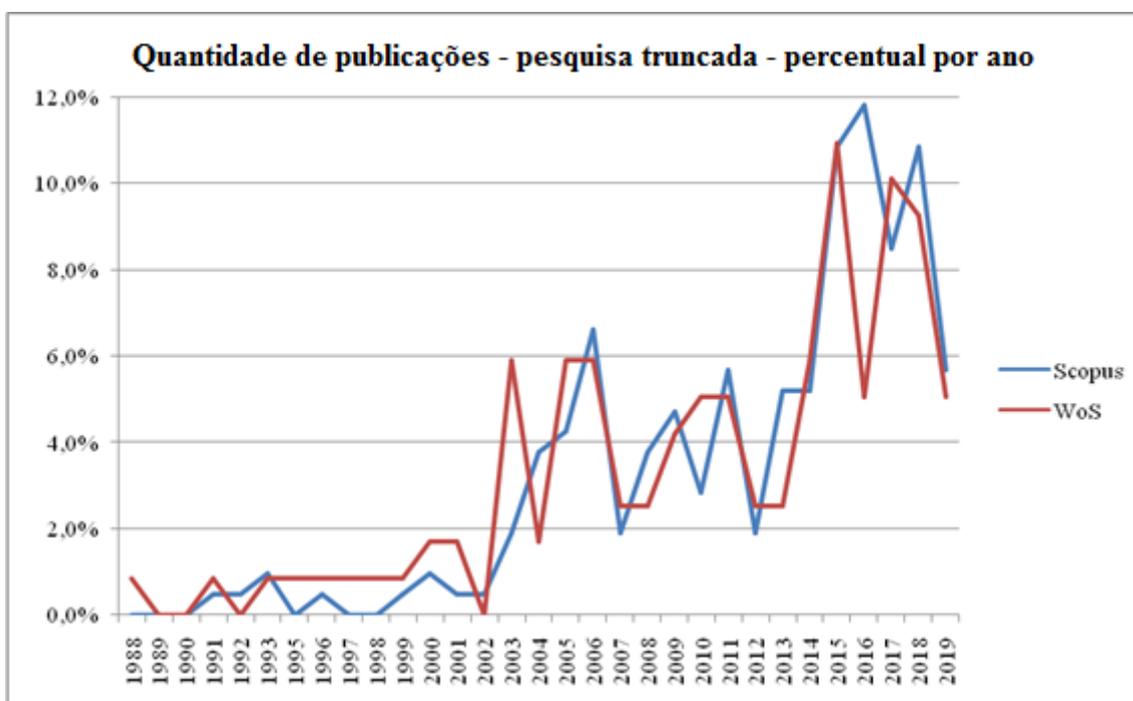


Gráfico 6 - Evolução das publicações ao longo do tempo, em percentuais – pesquisa truncada - fonte: autor

Comparando a evolução percentual das publicações em ambas as bases de dados nota-se uma evolução semelhante, onde se percebem três períodos distintos: um primeiro até o ano

de 2002, um segundo entre 2003 e 2013 e um terceiro a partir de 2014. Pode-se relacionar esta evolução com o surgimento da Indústria 4.0, que segundo Kagermann, et al., 2011, foi apresentado em 2011: já haviam publicações relacionadas ao tema decorrentes da própria evolução das tecnologias nos anos anteriores à 2011 – Marco da Indústria 4.0; neste ano houve um aumento das publicações e nos anos seguintes nota-se um crescimento significativo das publicações que se pode relacionar ao amadurecimento do assunto.

A Tabela 2 mostra os Periódicos com 2 ou mais publicações, em ordem decrescente da quantidade de publicações; bem como sua Classificação Qualis para Engenharias III, sendo o “Evento de Classificação”: “Classificações de Periódicos Quadriênio 2013-2016”.

Periódico	Scopus	Web of Science	Qualis
IFAC - Papers on Line	16		Sem avaliação
Computers In Industry	11	11	B1
Journal Of Quality In Maintenance Engineering	11	6	B3
Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, Cims	7		Sem avaliação
Zhongguo Jixie Gongcheng/China Mechanical Engineering	7		Sem avaliação
International Journal Of Performability Engineering	6		B3
Lecture Notes In Mechanical Engineering	5		Sem avaliação
International Journal Of System Assurance Engineering And Management	4	3	Sem avaliação
Expert Systems With Applications	3	5	A1
Journal Of Intelligent Manufacturing	3	5	A2
International Journal Of Industrial And Systems Engineering	3		B3
Journal Of Applied Engineering Science	3		Sem avaliação
Journal Of Manufacturing Technology Management	3		B3
Productivity Management	3		Sem avaliação
ZWF Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	3		Sem avaliação
Journal Of The Operational Research Society		5	B1
Reliability Engineering & System Safety		4	Sem avaliação
International Journal Of Advanced Manufacturing Technology		3	B1
International Journal Of Computer Integrated Manufacturing		3	B1
Computers & Industrial Engineering		2	A2
Ercim News		2	Sem avaliação
IEEE Transactions On Industrial Electronics		2	A1
Journal Of Manufacturing Science And Engineering- Transactions Of The ASME		2	C
Mechanical Systems And Signal Processing		2	B4
Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers Part O - Journal Of Risk And Reliability		2	Sem avaliação

Tabela 2 - Publicações por periódico – fonte: autor

Foi realizada análise dos escopos dos periódicos informados nas suas páginas da internet, em relação aos seus objetivos. Todas as 25 publicações são voltadas para a área de tecnologia, seja com enfoque nas Engenharias Mecânica, de Produção, de Sistemas, de Controle ou de Confiabilidade; com enfoque nas Ciências de Tecnologia da Informação e Comunicação ou ainda na área de Pesquisa Operacional. Nesta análise estas publicações foram divididas em quatro categorias: “Engenharias”, que são as publicações com enfoque na disseminação de trabalhos relacionados aos diversos campos das Engenharias; “Aplicação de Tecnologia da Informação e Comunicação na indústria”, publicações relacionadas à “Manufatura inteligente” e publicações voltadas à “Manutenção”, isto é, periódicos em que um dos itens do seu escopo são assuntos relacionados à manutenção. A Tabela 3 mostra a distribuição dos artigos conforme as publicações. Nota-se um comportamento diferente nas duas bases de dados, com uma predominância das publicações relacionadas aos diversos temas de engenharia na base Scopus; já a base Web of Science mostra um equilíbrio maior, no entanto dentre as publicações da sua base não foi identificada nenhuma relacionada aos temas de engenharia.

	Scopus			Web of Science		
	Publicações	Artigos	%	Publicações	Artigos	%
Aplicações TIC	10	31	23,5	5	22	38,6
Engenharias	14	56	42,4	0	0	0
Manufatura Inteligente	7	21	15,9	4	13	22,8
Manutenção	6	24	18,2	6	22	38,6
Total	37	132	100,0	15	57	100,0

Tabela 3 - Distribuição dos artigos e publicações – fonte: autor

Já na análise das publicações em relação às quantidades de citações e de artigos notou-se que do total de 117 diferentes publicações da base de dados Scopus, com 212 artigos; quatro publicações com apenas 26 artigos concentram 62,4% do total de citações. A Tabela 4 mostra as quatro publicações e as suas quantidades de citações e artigos.

Publicação	Classificação	Quantidade de citações	% das citações	% acumulado	Quantidade de artigos
Computers in Industry	Aplicações TIC	857	34,4%	34,4%	11
Reliability Engineering and System Safety	Manutenção	466	18,7%	53,1%	2
Journal of Quality in Maintenance Engineering	Manutenção	121	4,9%	58,0%	11
Annual Reviews in Control	Aplicações TIC	111	4,5%	62,4%	2

Tabela 4 - Quantidades de citações e artigos das principais publicações da base Scopus – fonte: autor

A pesquisa realizada na base Web of Science também mostra uma concentração dos artigos em poucos periódicos: de um total de 77 publicações e 119 artigos, quatro revistas

com 23 artigos concentram 63,4% das citações. A Tabela 5 mostra as quatro publicações e as suas quantidades de citações e artigos.

Publicação	Classificação	Quantidade de citações	% das citações	% acumulado	Quantidade de artigos
Computers in Industry	Aplicações TIC	583	32,3%	32,3%	11
Reliability Engineering & System Safety	Manutenção	310	17,2%	49,5%	4
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Manufatura inteligente	160	8,9%	58,4%	3
Journal of Intelligent Manufacturing	Manufatura inteligente	91	5,0%	63,4%	5

Tabela 5 - Quantidades de citações e artigos das principais publicações da base Web of Science – fonte: autor

Analisando-se a distribuição das publicações por país em relação aos artigos da pesquisa truncada e considerando todo intervalo de tempo para ambas as bases de dados; identificou-se que 212 artigos da Base Scopus são provenientes de 34 países, havendo uma expressiva predominância da China, com 48 artigos, o que representa 22,6% das publicações, seguida pela Alemanha, com 22 artigos, equivalente a 10,4%; pelos Estados Unidos com 19 artigos, 9,0%; Suécia com 16 artigos, 7,5%; Brasil e Itália com 13 artigos cada, 6,1%; França com 12 artigos, 5,7%; Reino Unido com 9 artigos, 4,2%; Taiwan com 7 artigos, 3,3%; Argélia e Chile com 6 artigos, 2,8% cada; Espanha e Índia com 5 artigos, 2,4%; Suíça e Indonésia com 3 artigos, 1,4%. E demais países com duas e uma publicações, respectivamente 0,9% e 0,5%.

Já os 119 artigos da Base Web of Science são provenientes de 33 países, havendo uma predominância da China ainda que menor que a identificada na base Scopus, com 18 artigos, o que representa 15,1% das publicações, seguida pelos Estados Unidos, com 17 artigos, equivalente a 14,3%; pela França com 10 artigos, 8,4%; Reino Unido com 9 artigos, 7,6%; Itália com 8 artigos, 6,7%; Taiwan com 7 artigos, 5,9%; Espanha e Suécia com 6 artigos, 5,0% cada; Brasil e Índia com 4 artigos, 3,4% cada; Argélia com 3 artigos, 2,5%. E demais países com duas e uma publicações, respectivamente 1,7% e 0,8%. O Gráfico 8 mostra essa distribuição. A Tabela 6 mostra as quantidades de publicações por país, para as duas bases de dados.

País	Scopus		WoS	
	Quantidade	%	Quantidade	%
China	48	22,6%	18	15,1%
Alemanha	22	10,4%	1	0,8%
Estados Unidos	19	9,0%	17	14,3%

Suécia	16	7,5%	6	5,0%
Itália	13	6,1%	8	6,7%
Brasil	13	6,1%	4	3,4%
França	12	5,7%	10	8,4%
Reino Unido	9	4,2%	9	7,6%
Taiwan	7	3,3%	7	5,9%
Argélia	6	2,8%	3	2,5%
Chile	6	2,8%		
Espanha	5	2,4%	6	5,0%
Índia	5	2,4%	4	3,4%
Indonésia	3	1,4%	1	0,8%
Suíça	3	1,4%		
Coréia do Sul	2	0,9%	2	1,7%
África do Sul	2	0,9%	1	0,8%
Grécia	2	0,9%	1	0,8%
Holanda	2	0,9%	1	0,8%
Japão	2	0,9%	1	0,8%
Eslováquia	2	0,9%		
Áustria	1	0,5%	2	1,7%
Singapura	1	0,5%	2	1,7%
Austrália	1	0,5%	1	0,8%
Bósnia e Herzegovina	1	0,5%	1	0,8%
Colômbia	1	0,5%	1	0,8%
Emirados Árabes Unidos	1	0,5%	1	0,8%
Federação Russa	1	0,5%	1	0,8%
Irã	1	0,5%	1	0,8%
Romênia	1	0,5%	1	0,8%
Turquia	1	0,5%	1	0,8%
Argentina	1	0,5%		
Finlândia	1	0,5%		
República Tcheca	1	0,5%		
Irlanda do Norte			2	1,7%
Polônia			2	1,7%
Arábia Saudita			1	0,8%
Montenegro			1	0,8%
Sérvia			1	0,8%

Tabela 6 - Quantidades de publicações por país, para as duas bases de dados – fonte: autor

Nota-se uma há uma predominância da China e dos Estados Unidos, havendo também dispersão nos demais países que contribuíram com as publicações, tanto em países europeus, fugindo do eixo Alemanha/Reino Unido como também a presença de países africanos, asiáticos e sul americanos. Cabe destaque à reduzida quantidade de artigos provenientes da

Alemanha na pesquisa realizada na base Web of Science, quando comparada com os demais países de maior quantidade de artigos nas duas bases de dados.

Constatou-se que dos 10 artigos mais citados em cada uma das bases de dados sete são comuns às duas bases. A Tabela 9 mostra os 10 artigos mais citados em cada base de dados e sua classificação em relação à sua ordem de citação.

Título	Scopus	WoS
Intelligent prognostics tools and e-maintenance	1	1
On the concept of e-maintenance: Review and current research	2	2
Formalisation of a new prognosis model for supporting proactive maintenance implementation on industrial system	3	4
An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities	4	5
Development of an e-maintenance system integrating advanced techniques	5	7
Conceptual framework for e-Maintenance: Illustration by e-Maintenance technologies and platforms	6	
E-maintenance: Review and conceptual framework	7	
PROTEUS - Creating distributed maintenance systems through an integration platform	8	9
Using SVM based method for equipment fault detection in a thermal power plant	9	8
The maintenance management framework: A practical view to maintenance management	10	
Big Data in product lifecycle management		3
A multi-agents based E-maintenance system with case-based reasoning decision support		6
From remote maintenance to MAS-based e-maintenance of an industrial process		10

Tabela 7 - Listagem dos artigos mais citados nas bases de dados Scopus e Web of Science – fonte: autor

Além dos artigos mencionados na Tabela 9 foram identificados outros 53 artigos comuns às duas as bases de dados, totalizando 60 artigos. Sendo que a listagem de todos os artigos comuns está no Anexo II.

Verificando os autores com maior quantidade de publicações nas duas bases de dados identificou-se que na Base Scopus dos 587 diferentes autores e co-autores apenas um é autor ou co-autor de 12 artigos: Lee, Jay; um é autor ou co-autor de dez artigos: Pereira, Carlos E.; dois são autores ou co-autores de seis artigos: Iung, B. e Macchi, M.; dois são autores ou co-autores de cinco artigos: Fumagalli, L. e Hellingrath, B.; três são autores ou co-autores de quatro artigos: Cavalieri, S.; Fasanotti, L. e Karim, R.. 16 são autores ou co-autores de três artigos, 52 são autores ou co-autores de dois artigos e os demais 510 são autores ou co-autores de apenas um artigo.

Já na Base Web of Science dos 347 diferentes autores e co-autores apenas um é autor ou co-autor de seis artigos: Ni, Jun; um é autor ou co-autor de cinco artigos: Lee, Jay; um é autor ou co-autor de quatro artigos: Iung, Benoit; quatro são autores ou co-autores de três artigos: Crespo Marquez, Adolfo; Kobbacy, Kah; Pereira, Carlos E. e Zerhouni, Nouredine;

22 são autores ou co-autores de 2 artigos e os demais 318 são autores ou co-autores de apenas um artigo.

A quantidade de artigos comuns às duas bases, possuindo uma ordem de citações semelhante faz com que haja uma repetição dos autores mais citados em ambas as bases de dados.

3.5.3. Redes de palavras chave

A Figura 5 mostra a Rede de Palavras Chave das 1.000 principais palavras chave dos artigos identificados na base de dados Scopus.

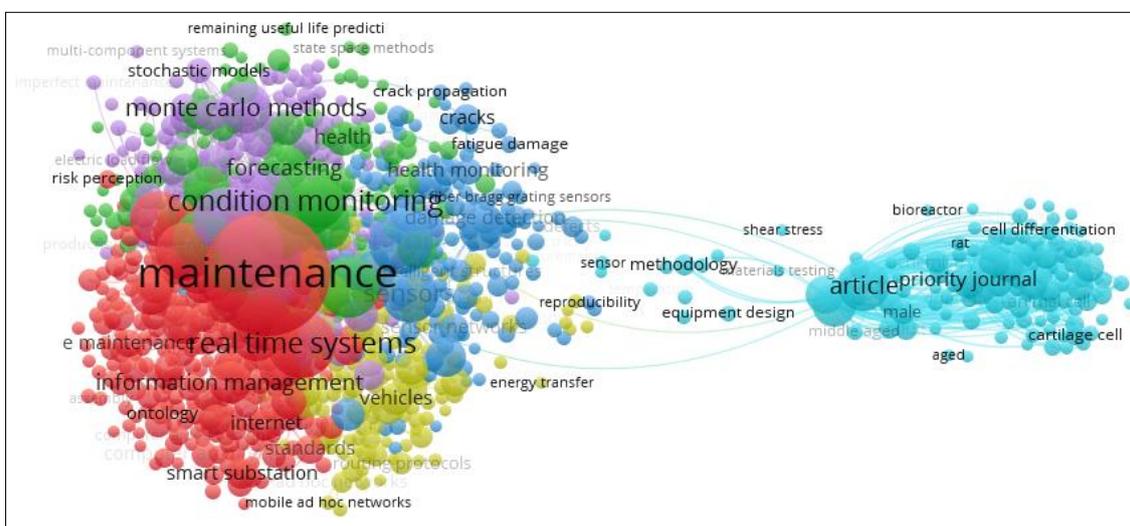


Figura 5 - Rede de palavras chave com a pesquisa aberta – Base: Scopus - Fonte: Autor

A Figura 6 mostra a Rede de Palavras Chave das 92 principais palavras chave, onde se podem observar os seus relacionamentos.

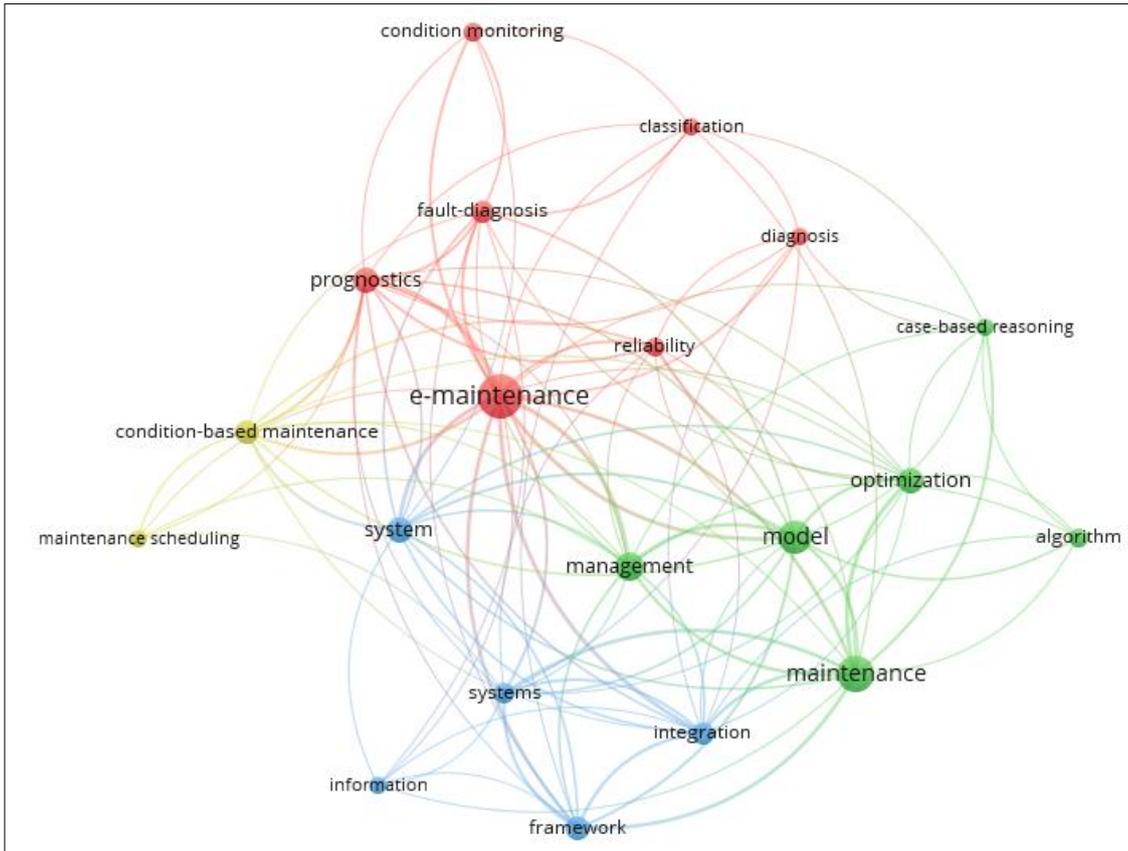


Figura 8 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada – Base: Web of Science - Fonte: Autor

Palavra chave	Ocorrência	Palavra chave	Ocorrência
e-maintenance	31	condition-based maintenance	7
maintenance	21	reliability	6
model	17	condition monitoring	6
management	13	algorithms	6
prognostic	11	case-based reasoning	5
system	10	classification	5
optimization	10	diagnosis	5
framework	9	information	5
integration	8	maintenance scheduling	5
fault-diagnosis	8		

Tabela 8 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Web of Science, com destaque para as palavras chave em comum com a base Scopus – fonte: autor

Ao se analisar as Figuras 7 e 8, bem como a Tabela 8, são identificadas as principais palavras chave que mostram os principais tópicos discutidos pela comunidade científica.

3.5.3.1. Evolução das palavras chave ao longo do tempo

Conforme destacado no item “3.3.2 Publicações por ano” os artigos podem ser analisados em três grupos em relação ao período de tempo: um primeiro período até o ano de 2001, onde já havia o desenvolvimento das tecnologias que se aprimoravam desde a Terceira Revolução Industrial até a consolidação do uso da internet na área industrial, bem como até o *bug* do milênio; um segundo período entre 2002 e 2011 – Marco da Indústria 4.0, que são os dez anos que antecedem à Quarta Revolução Industrial, onde as novas tecnologias disruptivas se juntam às tecnologias já existentes e um terceiro período, a partir de 2012, quando se inicia a consolidação das novas tecnologias.

Foram realizadas análises com ambas as bases de dados, considerando a pesquisa realizada com as palavras chave truncadas.

3.5.3.1.1. Até 2001

Na avaliação das palavras chave deste período com os sete artigos identificados na base de dados Scopus o Software identificou um total de 62 palavras chave, sendo que apenas três possuem duas ou mais ocorrências. A Figura 9 mostra esta rede de palavras chave e a Tabela 9 a sua listagem e quantidade de ocorrências.

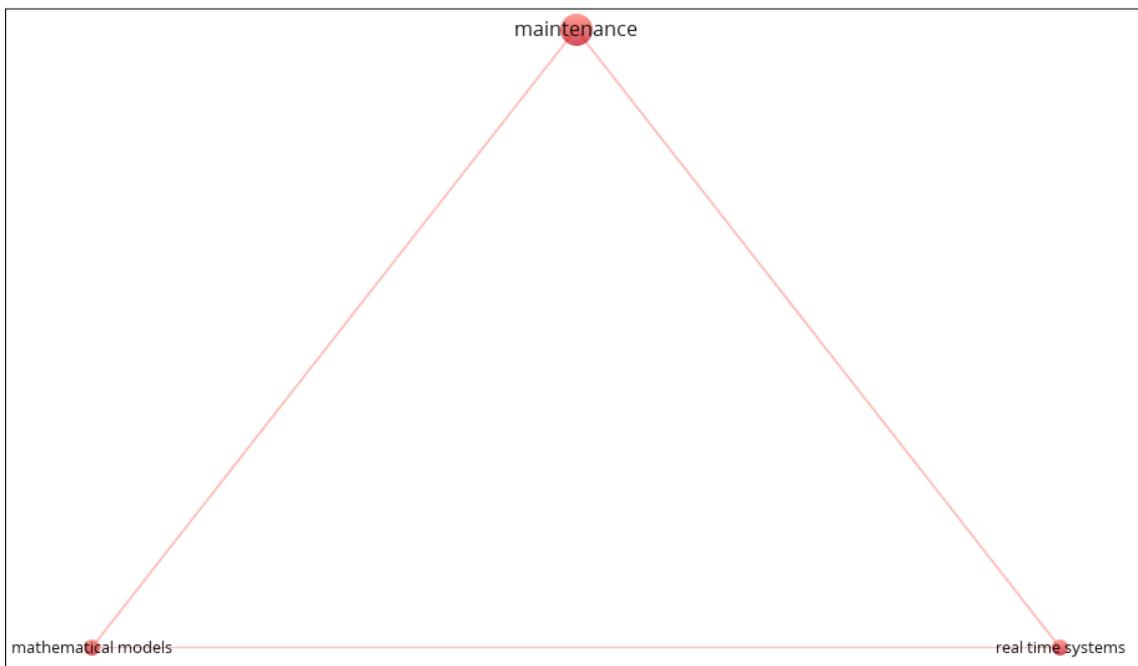


Figura 9 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada até 2001 – Base: Scopus - Fonte: Autor

Palavra chave	Ocorrência
Maintenance	4
Mathematical models	2
Real time systems	2

Tabela 9 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Scopus, para o período até 2011 – fonte: autor

Já a avaliação das palavras chave dos artigos identificados na base de dados Web of Science teve como resultado 42 palavras chave sendo que 6 possuem duas ou mais ocorrências, de um total de 12 artigos. A Figura 10 mostra esta rede de palavras chave e a Tabela 10 a sua listagem e quantidade de ocorrências.

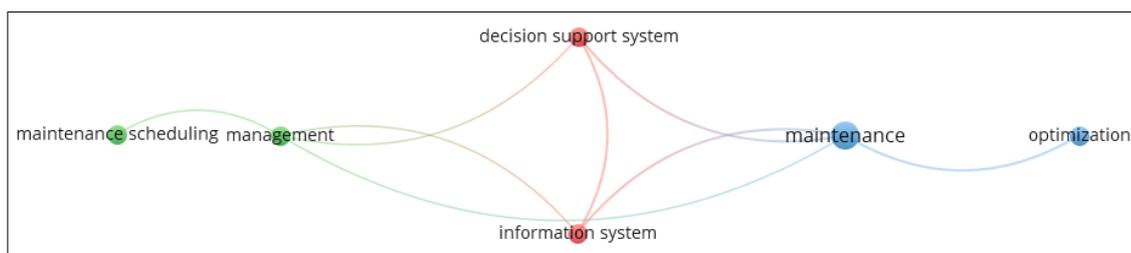


Figura 10 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada até 2001 – Base: Web of Science - Fonte: Autor

Palavra chave	Ocorrência
Maintenance	4
Decision support system	2
Information system	2
Management	2
Optimization	2
Maintenance scheduling	2

Tabela 10 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Web of Science, para o período até 2011 – fonte: autor

Pela reduzida quantidade de artigos nas duas bases de dados para este período e conseqüente limitada quantidade de palavras chave não é possível fazer um relacionamento acurado, ainda que todas as palavras possam ter relação entre si e com o assunto em tela.

3.5.3.1.2. Período entre 2002 e 2011

Na avaliação das palavras chave deste período com os 76 artigos identificados na base de dados Scopus o Software identificou um total de 734 palavras chave, sendo que 17 possuem cinco ou mais ocorrências. A Figura 11 mostra esta rede de palavras chave e a Tabela 11 a sua listagem e quantidade de ocorrências.

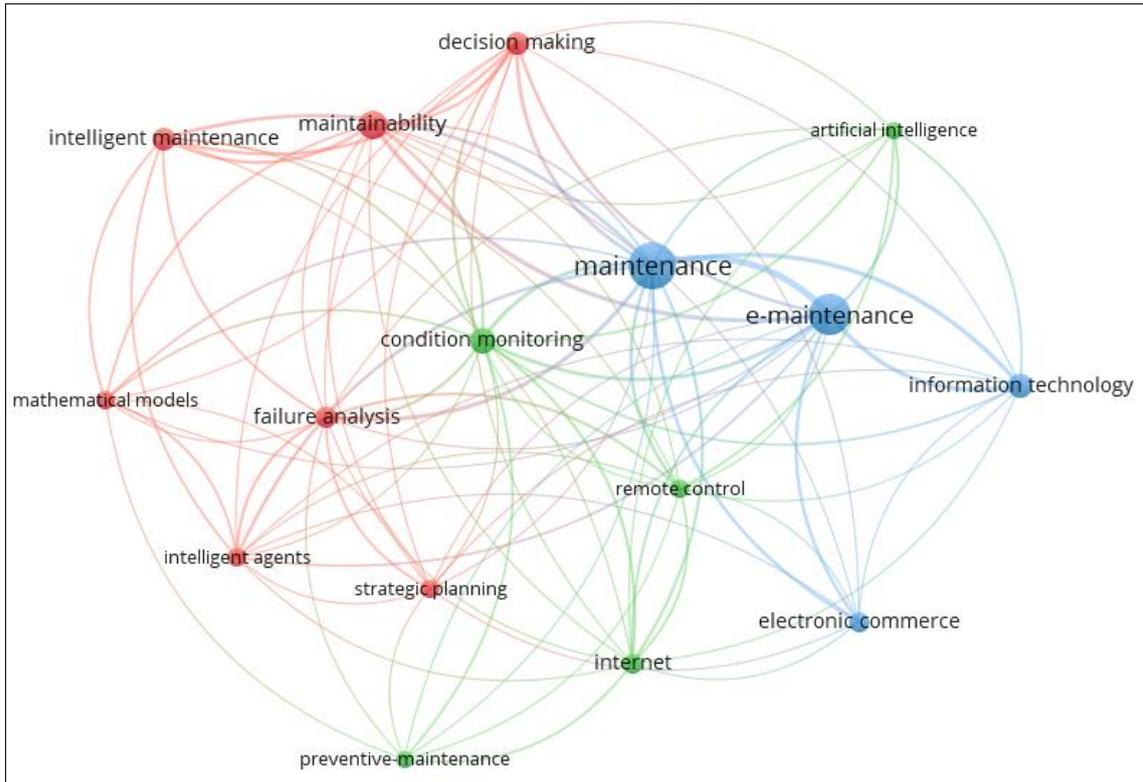


Figura 11 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada entre 2002 e 2011 – Base: Scopus - Fonte: Autor

Palavra chave	Ocorrência
Maintenance	36
e-maintenance	27
Maintainability	14
Condition monitoring	11
Information technology	10
Decision making	9
Intelligent maintenance	9
Failure analysis	8
Electronic commerce	7
Internet	7
Strategic planning	6
Remote control	6
Intelligent agents	6
Mathematical models	6
Artificial intelligence	5
Preventive-maintenance	5

Tabela 11 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Scopus, para o período para o período entre 2002 e 2011 – fonte: autor

Já a avaliação das palavras chave dos artigos identificados na base de dados Web of Science, com o software VosViewer, teve como resultado 226 palavras chave sendo que 7 possuem cinco ou mais ocorrências, de um total de 46 artigos. A Figura 12 mostra esta rede de palavras chave e a Tabela 12 a sua listagem e quantidade de ocorrências.

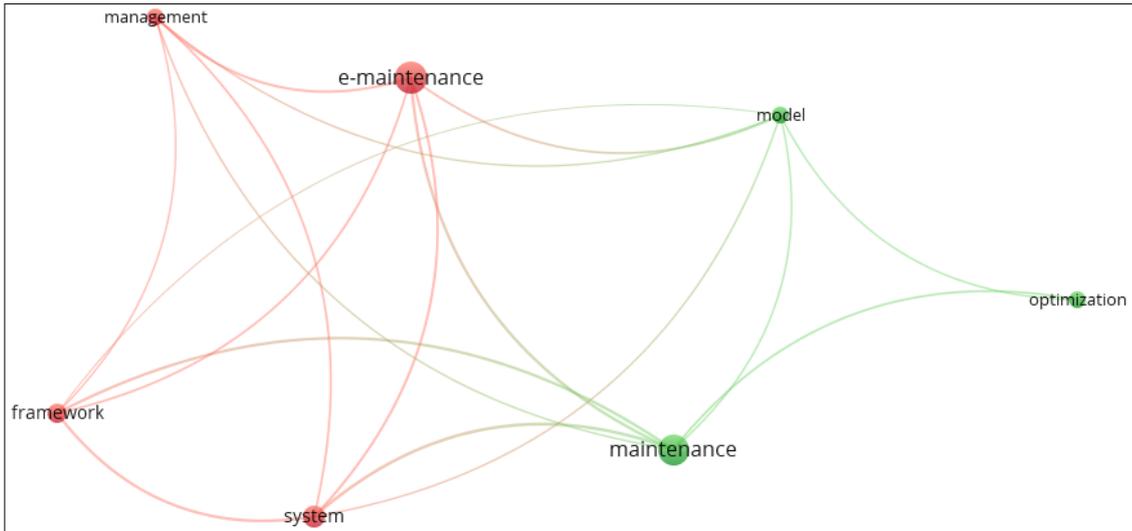


Figura 12 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada entre 2002 e 2011 – Base: Web of Science - Fonte: Autor

Palavra chave	Ocorrência
e-maintenance	17
Maintenance	15
System	8
Framework	6
Management	5
Model	5
optimization	5

Tabela 12 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Web of Science, para o período entre 2002 e 2011 – fonte: autor

Observa-se neste período que as palavras chave, em ambas as bases de dados, mostram a evolução do tema, com o surgimento dos termos “*e-maintenance*” e “*intelligent maintenance*”, bem como a utilização dos termos “*optimization*”, “*management*”, “*information technology*”, “*decision making*”, “*failure analysis*”, “*internet*”, “*mathematical models*”, “*artificial intelligence*”, entre outros, relacionados ao tema. Também nota-se uma alteração de “*maintenance scheduling*” para “*preventive maintenance*”, “*condition monitoring*” e “*Maintainability*”.

3.5.3.1.3. Período a partir de 2012

Na avaliação das palavras chave deste período com os 127 artigos identificados na base de dados Scopus o Software identificou um total de 1.118 palavras chave, sendo que 29 possuem cinco ou mais ocorrências. A Figura 13 mostra esta rede de palavras chave e Tabela 13 a sua listagem e quantidade de ocorrências.

possuem cinco ou mais ocorrências, de um total de 61 artigos. A Figura 14 mostra esta rede de palavras chave e a Tabela 14 a sua listagem e quantidade de ocorrências.

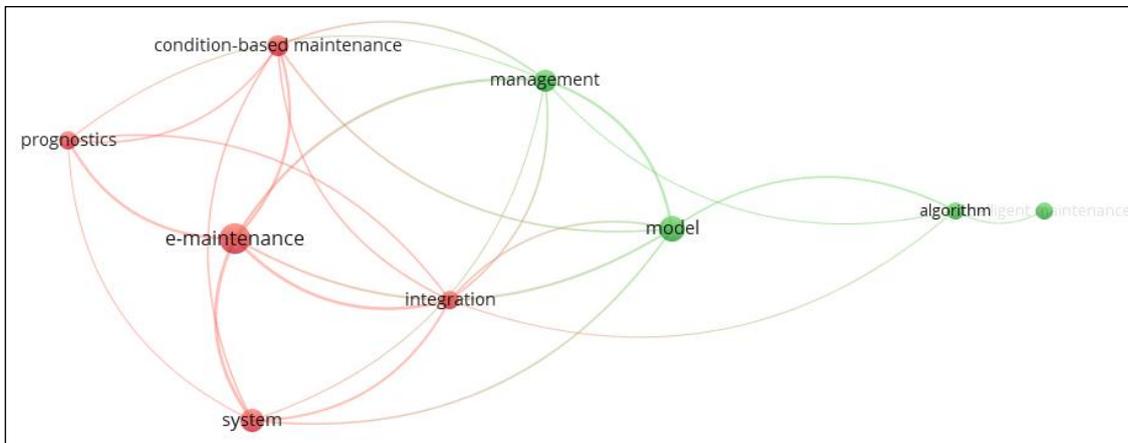


Figura 14 - Rede de palavras chave com a pesquisa truncada a partir de 2012 – Base: Web of Science - Fonte: Autor

Palavra chave	Ocorrência
e-maintenance	16
model	11
system	9
management	8
Condition-based maintenance	7
integration	6
prognostics	6
algorithm	5
Intelligent maintenance	5

Tabela 14 - Palavras chave pesquisa truncada – base de dados Web of Science, para o período a partir de 2012 – fonte: autor

A análise das palavras chave dos artigos a partir de 2012 demonstra a evolução do assunto, com o aparecimento dos termos “*Condition-based maintenance*”, “*integration*”, “*ontology*”, “*prognostics*”, “*algorithm*”, “*forecasting*”, “*neural-network*”, “*intelligent maintenance systems*” e com a utilização de termos tais como: “*design/methodology/approach*”, “*spare parts supply*” e “*decision support systems*”, entre outros, relacionados ao tema; demonstrando um alinhamento dos artigos relativos à manutenção 4.0 com a própria evolução da Indústria 4.0.

A Tabela 15 mostra a evolução das palavras chave nos três períodos de tempo descritos anteriormente para as duas bases de dados.

Palavra-chave	Scopus			WoS		
	Até 2001	de 2002 a 2011	a partir de 2012	Até 2001	de 2002 a 2011	a partir de 2012
Maintenance	4	36	64	4	15	
Mathematical models	2	6				
Real time systems	2					

Management		2	5	8
Optimization		2	5	
Decision support system	6	2		
Information system		2		
Maintenance scheduling		2		
E-maintenance	27	29	17	16
Maintainability	14			
Condition monitoring	11	16		
Information technology	10			
Intelligent maintenance	9	31		5
Decision making	9	18		
Failure analysis	8	12		
Electronic commerce	7			
Internet	7			
Intelligent agentes	6			
Remote control	6			
Strategic planning	6			
Preventive-maintenance	5	6		
Artificial intelligence	5			
System			8	9
Framework			6	
Model			5	11
Intelligent maintenance systems		25		
Fault detection		19		
Condition-based maintenance		14		7
Information management		11		
Fault diagnosis		10		
Monitoring		9		
Supply chains		9		
Design/methodology/approach		8		
Maintenance management		8		
Smart maintenance		8		
Machinery		7		
Spare parts supply		7		
Manufacture		6		
Neural-network		6		
Predictive-maintenance		6		
Railroad transportation		6		
Reliability		6		
System engineering		6		
Forecasting		5		
Ontology		5		
Railroads		5		
Integration				6
Prognostics				6
Algorithm				5

Tabela 15 - Evolução das palavras chave nos três períodos de tempo – base de dados Scopus – fonte: autor

Combinando os documentos de ambas as bases de dados obtidos com as pesquisas truncadas há um total de 737 documentos diferentes, destes 301 são artigos de revistas e 436 são artigos publicados em anais de encontros ou congressos; podendo indicar que as novas tecnologias e aplicações destas ainda estão evoluindo muito, sendo apresentadas em encontros e congressos antes de serem consolidadas e publicadas nas revistas científicas.

3.5.4. Discussões

Comparando a variação das palavras chave dos três períodos e em ambas as bases de dados pode-se acompanhar a evolução dos assuntos relacionados com o tema principal. Nos anos anteriores a 2002, dentre os artigos mais citados identificados na Base de Dados Scopus, já haviam discussões relativas ao monitoramento em tempo real, com análise das falhas através de modelos matemáticos para equipamentos específicos, que pode ser confirmado na análise do artigo escrito por Ashby e Scheuren intitulado “*Intelligent maintenance advisor for turbine engines*” de 2000, onde é descrito um programa para o monitoramento de condições e de turbinas utilizadas em helicópteros civis e militares que evite ambigüidades nas dados recebidos que, por sua vez, podem acarretar em trocas de peças e intervenções de manutenção desnecessárias; Este sistema integra dados de sensores e modelos de várias fontes de diagnóstico, prognóstico e uso com algoritmos de fusão de informações para avaliar a condição do motor.

Outro artigo que trata da redução de custos operacionais através da identificação de falhas em um tipo de equipamentos específico é o “*Smart maintenance for rooftop units*” escrito por Breuker, et al. (2000), que trata da identificação de falhas que comprometem o desempenho do equipamento e o aumento dos custos de manutenção, com abordagens para reduzir os custos operacionais. Já Zheng (2001) no artigo “*System framework for next-generation e-maintenance systems*” aborda o impacto da Tecnologia da Informação no apoio ao projeto e manufatura de produtos, em uma abordagem integrada, enfocando o desempenho do produto no pós-venda com a adição de inteligência eletrônica em produtos, sistemas de manufatura e serviços.

Na análise dos artigos identificados na pesquisa da base de dados Web of Science para o período até 2001, o artigo “*An intelligent maintenance model (system): an application of the analytic hierarchy process and a fuzzy logic rule-based controller*” de Labib, Williams, e O'Connor, publicado em 1998 discute as dificuldades da adaptação da manutenção preventiva nas realidades do chão de fábrica, apresentando um modelo de tomada de decisões para deixar o planejamento da manutenção mais robusto. Já o artigo “*Towards An Intelligent Maintenance Optimization System*” escrito por Kobbacy, Proudlove e Harper, publicado em 1995, também apresenta um sistema inteligente de apoio à decisão, com o objetivo de avaliar e aprimorar as rotinas de manutenção de sistemas técnicos grandes e complexos. Tema semelhante é encontrado no “*Optimal clustering of frequency-constrained maintenance jobs with shared set-ups*”, de van Dijkhuizen e van Harten, publicado em 1997, que discorre sobre

a aplicação de um algoritmo para otimização de trabalhos de manutenção objetivando reduzir custos de parada.

Os artigos acima mostram as iniciativas pré 2001 na implementação de sistemas de monitoramento utilizando as tecnologias existentes neste período, já utilizando modelos matemáticos, sistemas de informação, inclusive sistemas de suporte à tomada de decisões.

Análise similar pôde ser realizada para o período entre 2002 e 2011, também para as duas bases de dados, onde a evolução da temática fica evidente, corroborando com a análise das palavras chave: analisando os artigos das bases Scopus e Web of Science constatou-se que os artigos mais citados eram comuns às duas bases. O artigo “*Intelligent prognostics tools and e-maintenance*”, de Lee, et al. (2006) trata da evolução da manutenção de corretiva para uma preventiva e preditiva, utilizando de recursos tais como *internet* e tecnologias sem fio, com o objetivo de reduzir e eliminar as quebras inesperadas e paradas de produção não agendadas. Também de 2006 é o artigo “*Formalisation of a new prognosis model for supporting proactive maintenance implementation on industrial system*” de Muller, Suhner e Iung que propõe o desenvolvimento do conceito de manutenção prognóstica e apresenta a implantação e experimentação de um processo de prognóstico dentro de uma arquitetura de manutenção eletrônica. Muller, Crespo Marquez e Iung (2008) no artigo “*On the concept of e-maintenance: Review and current research*” também abordam as novas tecnologias de comunicação e informação que permitiram o surgimento do *e-business* e de *e-manufacture* no surgimento do *e-maintenance*. Onde, segundo os autores, há a colaboração entre as novas tecnologias e as antigas fazendo com que haja troca de informações e conhecimento.

A análise dos artigos publicados no período entre 2002 e 2011 mostra a evolução dos termos, com o surgimento do “e-“ da *e-maintenance* e do *e-manufacturing*, dentro do conceito de *e-business*. Também mostrando a evolução dos modelos matemáticos, sistemas de auxílio na tomada de decisões para sistemas de prognósticos da saúde dos equipamentos.

No período a partir de 2012 o desenvolvimento da temática continua equiparado ao da Indústria 4.0, os artigos identificados nas bases de dados evidenciam isso: dos da base Scopus podem-se destacar o artigo “*A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality*” escrito por Espíndola, et al. em 2013, que apresenta uma abordagem integradora entre softwares de CAD, realidade misturada e manutenção inteligente; já o artigo “*New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid*” escrito por Qin, et al. em 2015, aborda a manutenção de equipamentos de subestações utilizando de alarmes inteligentes, diagnósticos de falhas e tecnologia de avaliação de status; já o artigo “*A proactive decision making framework for*

condition-based maintenance” de Bousdekis, et al. (2015) discorre a respeito da CBM (*Condition Based Maintenance*) - manutenção baseada em condição – analisando itens relacionados à e-manutenção, tomada de decisões e prognóstico.

Os artigos apresentados na pesquisa da base de dados Web of Science também trazem a evolução dos termos relacionados ao tema: o artigo “*Big Data in product lifecycle management*” escrito por Li, et al. em 2015 aborda a relação entre Big Data e as fases do gerenciamento do ciclo de vida do produto, bem como as suas aplicações práticas. Os demais artigos apresentados na pesquisa são os mesmos “*A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality*” e “*A proactive decision making framework for condition-based maintenance*” já comentados.

Os artigos de ambas as bases de dados mostram a contínua evolução do tema, no que tange à análise dos dados coletados nos equipamentos através de Big Data e o surgimento do termo CBM – Manutenção Baseada em Condições.

Os artigos analisados em maior detalhe são os que representam mais de 60% das citações das bases de dados.

Analisando a variação das palavras chave ao longo do tempo das palavras chave identificadas nos artigos da base Scopus, mesmo com uma grande diferença nas suas quantidades devido ao aumento do número de artigos ao longo do tempo, nota-se uma evolução de “*Maintenance*”, “*Mathematical models*” e “*Real time systems*” para “*e-maintenance*”, “*maintainability*”, “*Condition monitoring*” e “*Decision making*”; e posteriormente, além dos termos citados, o surgimento de “*intelligent maintenance systems*”, “*Failure analysis*”, “*condition-based maintenance*” e “*decision support systems*”; entre outras. De forma análoga à análise da base dados Scopus, a evolução das palavras chave identificadas na base Web of Science mostra a consolidação do tema ao longo do tempo: as palavras evoluem de “*Information system*”, “*Optimization*” e “*Maintenance scheduling*” para “*condition-based maintenance*”, “*integration*”, “*prognostics*”; passando por “*e-maintenance*”.

A manutenção industrial não é um tema recente, surgiu junto com a própria indústria e evoluiu com ela. Deste modo as novas tecnologias que têm embasado a 4ª Revolução Industrial, que possui um enfoque maior na área de manufatura, também se estendem para a área de manutenção, com objetivo de evoluir de manutenção corretiva e preventiva para uma preditiva. Segundo Lee, et al. (2006) “a manutenção eletrônica atende às necessidades fundamentais das ferramentas de inteligência preditiva para monitorar a degradação em vez de detectar as falhas em um ambiente de rede e, por fim, aprimorando a utilização de ativos na

instalação”. Ou seja, haverá uma alteração das manutenções corretiva e preventiva, que são as mais utilizadas na maioria das empresas para uma manutenção preditiva e proativa. Civerchia, et al. (2017) destacam que a sensorização acarreta na redução das falhas nos equipamentos por meio da capacidade rápida na detecção de eventos, complementando que “considerando os dispositivos de IoT capazes de se comunicar e interoperar entre eles, possíveis atrasos devido a interações humanas no ciclo podem ser evitados, e uma reação rápida a eventos críticos pode ser alcançada”.

Todos os dez artigos mais citados foram publicados no período anterior ao ano 2011: “*Intelligent prognostics tools and e-maintenance*”, com 355 citações, foi publicado em 2006 e “*On the concept of e-maintenance: Review and current research*”, com 307 citações foi publicado em 2008 e os demais entre 2006 e 2011. Demonstrando a consolidação da base do conhecimento científico.

A análise das publicações por países ao longo do tempo mostra uma disseminação da distribuição do tema pelos diversos países, não só nos que estão e um estágio maior do desenvolvimento tecnológico, tais como Estados Unidos e países Europeus. Nota-se que ainda existe uma forte predominância dos China, com uma crescente participação da Alemanha. As Redes de Palavras Chave foram geradas através da maior recorrência a partir dos títulos e resumos dos artigos revisados mostrando a abrangência do assunto.

3.6. Potenciais da Manutenção 4.0

Existem muitos modelos de negócio surgindo com a IoT, CPS e demais sistemas embarcados. Ferreira et al. (2016) propõe um serviço com valor agregado na relação entre um fabricante de máquinas-ferramentas e seus clientes: propõe que o fabricante acompanhe e avalie a “saúde” dos equipamentos predizendo falhas potenciais e sugerindo aos clientes a realização de intervenções de manutenção resolvendo problemas antes que eles ocorram. Isto através do sensoreamento dos equipamentos para a aquisição e análise de dados bem como na criação de algoritmos para prever os modos de falha destes equipamentos.

Jantunen, et al. (2011) corroboram com o descrito anteriormente, afirmado que: “Simultaneamente, os fabricantes de máquinas estão se movendo intencionalmente para o desenvolvimento de negócios de serviços para cuidar das máquinas que produziram durante todo o ciclo de vida do equipamento”, deixando de ser apenas produtores de equipamentos. Eles complementam:

A visão *e-Maintenance* considera que tais componentes de sensoriamento sem fio podem ser explorados e integrados em sistemas de gerenciamento de manutenção on-line, na medida em que o CMMS pode encapsular pelo menos parte do

conhecimento de domínio relacionado ao monitoramento de condições, incluindo modelagem de modos de desgaste e falha bem como previsão de vida do componente. Dentro dessa estrutura, o sensoriamento sem fio provavelmente se tornará capaz de monitorar, modelar, mas também diagnosticar as condições das máquinas, capturar o comportamento individual de cada máquina, por meio de mecanismos de aprendizado. Jantunen, et al. (2011)

Muller, et al. (2008) complementam que “a *e-maintenance* conforma uma nova abordagem para a função de produção (e-manufatura), que está incluída em uma nova maneira de fazer negócios (*e-business*), que resulta de uma nova visão de trabalho (*e-work*)”. E exemplificam que “as novas formas de relacionamento entre os clientes e os fornecedores no nível do negócio implicam uma reconsideração dos relacionamentos entre os clientes e os fornecedores no nível de manutenção”. Concluindo que a “*e-maintenance* é um pilar importante que apóia o sucesso da integração de e-fabricação e *e-business*”

Sumarizando o potencial da *e-Maintenance*, Muller, et al., (2008) detalham as potenciais melhorias advindas, as quais são descritas a seguir. Sendo que esta lista evolui com o surgimento de novas tecnologias que fazem parte do rol da Indústria 4.0 e com a sua utilização na manutenção; como por exemplo, a aplicação de interface com realizada virtual descrita por Espínola et al. (2016). Sendo que a literatura científica recente tem se direcionado no aprofundamento dos potenciais descritos por Muller et al. (2008).

3.6.1. Manutenção remota

Com acesso à internet os operadores, técnicos, especialistas e gerentes podem acessar remotamente os equipamentos “permitindo que eles realizem ações remotas, como configuração, controle, diagnóstico, desarme / correção, monitoramento de desempenho e coleta e análise de dados”. Inclusive reduzindo a necessidade da presença de um técnico do fabricante do equipamento no local.

3.6.2. Manutenção Cooperativa ou Colaborativa

Os fabricantes de equipamentos poderão dispor de dados oriundos dos seus equipamentos instalados em diversos locais e sob diversas características de utilização, adquirindo assim uma vasta gama de dados de falhas que poderão tornar os seus produtos mais confiáveis e duráveis, podendo também trazer melhorias nas manutenções destes. Se tornando um novo modelo de negócios relacionado ao serviço de pós-vendas.

3.6.3. Manutenção imediata / on-line

O monitoramento remoto em tempo real do status do equipamento, combinado com alertas programáveis, permite que o operador de manutenção responda rapidamente a

qualquer situação e, então, prepare qualquer intervenção de modo otimizado. As aplicações potenciais da *e-Maintenance* incluem a formulação de políticas de decisão para agendamento de manutenção em tempo real com base em informações atualizadas sobre o histórico de operações de máquinas, status da máquina, uso antecipado, dependências funcionais, status de fluxo de produção e assim por diante.

3.6.4. Manutenção Preditiva ou Manutenção Baseada em Condição (CBM)

É um método aplicado através de programas especiais de monitoramento e medição de parâmetros, indicando as condições reais durante o funcionamento de máquinas e equipamentos, com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação, com a finalidade de identificar previamente o atingimento de seus limites e poder atuar em sua manutenção. Ex: Análise e Medição de Vibrações, Termografia, Análise de Óleo, etc. (Faria, 2013). Moore e Starr (2006) incluem nesta lista a análise de vibrações; tribologia; ultra-som; análise da corrente do motor; monitoramento de desempenho; inspeção visual, entre outros.

As aplicações potenciais nesta área incluem o prognóstico de falha de equipamento com base na condição atual e uso projetado, ou previsão de vida restante dos componentes do maquinário. Na verdade, a *e-maintenance* fornece às empresas ferramentas de inteligência preditiva (como um agente de vigilância) para monitorar seus ativos (equipamentos, produtos, processos, etc.) por meio de sistemas de comunicação sem fio da Internet, a fim de evitar interrupções inesperadas. O desenvolvimento dos sensores, das técnicas de processamento dos dados bem como dos demais recursos permite que a área de manutenção melhore a compreensão das causas das falhas e dos distúrbios do sistema, melhorando os métodos de monitoramento e análise de sinais; e com materiais aperfeiçoados, novos design e técnicas de produção que transitem da detecção de falhas ao monitoramento de degradação dos equipamentos.

Lee, et al. (2006) salientam que “a ideia principal do CBM é utilizar a informação de degradação do produto extraída e identificada a partir de técnicas de sensoriamento on-line para minimizar o tempo de inatividade do sistema, equilibrando o risco de falha e lucros alcançáveis. A tomada de decisão no CBM se concentra na manutenção preditiva”. Complementando que “Assim, em vez de aguardar a falha da máquina, presume-se que os limites definidos pelo usuário estejam definidos no nível de degradação de qualquer máquina específica para acionar operações de manutenção”. E concluem que “é diferente da manutenção puramente reativa, no sentido de que as informações baseadas em condições

permitem que uma parte da ação de manutenção seja feita como uma manutenção programada - antes que a falha do equipamento realmente aconteça”.

Civerchia, et al. (2017) recapitulam que “nos últimos anos, os contínuos avanços no campo da eletrônica, bem como o desenvolvimento de novos sistemas de comunicação sem fio de alto desempenho e baixo custo, fomentaram a chamada visão da Internet das Coisas (IoT).” E que “a possibilidade de conectar dispositivos ou objetos, dando a eles a possibilidade de compartilhar informações relacionadas ao ambiente circundante, é mais um passo na direção da criação de Sistemas Ciber Físicos (CPSs) eficazes”. Concluindo que:

Os sistemas industriais da Internet das Coisas (IoT) podem ser usados com sucesso para criar fábricas inteligentes e eficazes, nas quais níveis mais altos de eficiência podem ser alcançados. Objetos inteligentes de IoT podem ser utilizados de forma generalizada para coletar dados em campo com o objetivo de melhorar a produtividade por meio de processos automáticos avançados, segurança através de um conhecimento mais profundo da posição dos trabalhadores e pela redução de falhas de equipamentos capacidades de detecção de eventos. Utilizando dispositivos de sensores sem fio para monitorar o status dos equipamentos, podem ser desenvolvidas aplicações de manutenção preditiva avançadas e abrangentes, reduzindo os custos de manutenção e evitando situações perigosas.

3.7. Desafios na implementação da Indústria 4.0

A literatura científica tem mostrado que além dos desafios técnicos para a implementação das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 que são, dentre outros, a criação de rede de dados, instalação de sensores, desenvolvimento de softwares, integração de equipamentos, etc.; existe a necessidade de adaptação e capacitação dos profissionais ligados à estas novas tecnologias. Kagermann (2013) indica que “estas transformações são resultado do aparecimento de sistemas tecnológicos altamente sofisticados e que vão exigir cada vez mais trabalhadores com habilidades específicas” e que “Os esforços de inovação não podem se concentrar exclusivamente na superação dos desafios tecnológicos”. Complementando que:

A missão da inovação precisa ser ampliada consistentemente para incluir a organização inteligente do trabalho e as habilidades dos funcionários, uma vez que os funcionários desempenharão um papel fundamental na implementação e assimilação de inovações tecnológicas. É provável que sua função mude significativamente como resultado do aumento de plataformas de trabalho virtuais abertas e de extensas interações homem-máquina e sistema humano. O conteúdo de trabalho, os processos de trabalho e o ambiente de trabalho serão drasticamente transformados de uma forma que terá repercussões na flexibilidade, na regulação do tempo de trabalho, na saúde, na mudança demográfica e na vida privada das pessoas. Como resultado, para conseguir uma integração bem-sucedida das tecnologias de amanhã, elas precisarão estar integradas de maneira inteligente em uma organização social inovadora (no local de trabalho).

Maynard (2015) adiciona:

À medida que a quarta revolução industrial aumenta o ritmo, as partes interessadas, dos consumidores aos CEOs, se beneficiarão de estarem cientes de suas possíveis

implicações à medida que produzem e influenciam as decisões. Isso exigirá um programa altamente inovador de iniciativas educacionais locais, nacionais e globais. A construção de plataformas educacionais formais e informais existentes será essencial - incluindo o aproveitamento das oportunidades crescentes em museus de ciência e ciência cidadã. Além disso, as plataformas educacionais on-line se tornarão cada vez mais importantes, incluindo plataformas de usuários informais, como o *Twitter* e o *YouTube*.

Estes autores demonstram a necessidade dos trabalhadores envolvidos na Indústria 4.0 de serem capazes de identificar as fontes de dados e técnicas de processamento destes, bem como tem competências para melhor empregar as informações coletadas. Schuh, et al. (2017) advoga que a agilidade de uma empresa é diretamente ligada ao comportamento de seus funcionários. Complementam que “as empresas não conseguirão atingir a agilidade desejada se simplesmente introduzirem tecnologias digitais sem abordar também sua cultura corporativa”.

4. Estudo de Caso

4.1 Caracterização da Diretoria de Manutenção de Equipamentos (DIMEQ) da Universidade de Brasília

Fundada em 15 de dezembro de 1961, a Universidade de Brasília (UnB) tornou-se uma das maiores instituições de ensino do País. Atualmente, segundo o anuário estatístico 2018 da UnB, a universidade conta com um corpo docente ativo de 2.557 professores; 3.198 técnicos administrativos; sendo que no 2º semestre de 2018 havia 39.624 alunos regulares e 8.048 de pós-graduação, todos distribuídos em 26 institutos e faculdades e 16 centros de pesquisa especializados. Esta estrutura está distribuída em quatro *campi* distribuídos no Distrito Federal, sendo eles o Darcy Ribeiro, na Asa Norte, o Campus da Ceilândia, o do Gama e o de Taguatinga. Contando ainda com um Hospital Veterinário para Grandes Animais, localizado na Granja do Torto, um para Pequenos Animais, localizado no Campus Darci Ribeiro, e a Fazenda Água Limpa.

A manutenção dos equipamentos da Universidade de Brasília foi evoluindo com o crescimento da Universidade. Até 1987 era realizada pela Oficina Técnica de Manutenção (OTM), subordinada ao Serviço de Patrimônio Mobiliário. Com o crescimento da quantidade e diversificação dos equipamentos foi criado o Centro de Manutenção de Equipamentos Científicos (CME), pelo Ato da Reitoria número 550/87 de 30/10/1987. Posteriormente teve sua denominação sido alterada para DIMEQ e estando atualmente subordinada à Prefeitura do Campus (PRC).

Compete à DIMEQ (DIMEQ, 2019):

- 1- Coordenar ações que possibilitem a participação da UnB no processo de desenvolvimento tecnológico nacional, através da geração de produtos e/ou processos;
- 2 - Participar nas atividades de geração de tecnologia e produtos visando obter recursos financeiros para colaborar com a manutenção financeira da Universidade de Brasília conforme Art. 30 da Lei n 3998 de 15/12/1961;
- 3- Participar nas atividades de geração de tecnologia e produtos visando obter recursos financeiros para colaborar com a manutenção financeira da Universidade de Brasília conforme Art. 30 da Lei n 3998 de 15/12/1961;
- 4 - Contribuir para a implantação e desenvolvimento do Parque Tecnológico da Universidade de Brasília;
- 5 - Contribuir para a implantação e desenvolvimento do parque de equipamentos da FUB
- 6 - Gerenciar as diversas etapas da manutenção dos equipamentos da FUB, de uso geral, tais como: especificações técnicas; dimensionamento de instalações e equipamentos; Acompanhamento nas aquisições e contratação de serviços; homologações; Aceites de equipamentos, nos casos em que a DIMEQ teve participação em alguma fase do processo de aquisição; Orientações ao usuário e Emissões de Laudos técnicos para baixa patrimonial.

7 - Criar mecanismos, procedimentos e meios que estimulem a garantia de qualidade dos equipamentos da Universidade.

Os equipamentos, para efeito da manutenção na DIMEQ, são agrupados conforme a especialidade de cada área técnica, seguindo os parâmetros inerentes à sua constituição, para que o processo de manutenção seja iniciado.

Além da manutenção, a DIMEQ disponibiliza outros serviços à comunidade universitária, como o de especificação técnica, homologação e aceite nos processos de compra de novos equipamentos, e de parecer técnico nos processos de baixa patrimonial. Esta participação é considerada um aspecto importante, pois diante do princípio de que o processo de manutenção tem início antes da aquisição do equipamento, a especificação técnica visa à adequação do bem adquirido às necessidades do usuário, ao tipo de utilização e ao desempenho que dele se espera, mas também procura garantir o cumprimento de exigências relativas ao fornecimento de manuais de operação e de manutenção, de diagramas esquemáticos, desenhos mecânicos e informações detalhadas sobre o funcionamento. A homologação consiste na verificação da adequação da proposta em relação às especificações anteriormente definidas e o aceite, na confirmação de que o bem fornecido está de acordo com a proposta.

Conforme levantamento realizado no Sistema de Patrimônio da UnB (SIPAT), a UnB possui atualmente 165.798 equipamentos, dos mais diversos tipos: desde equipamentos para uso em escritórios e secretarias, equipamentos para uso em salas de aula e auditórios, equipamentos para uso nos diversos laboratórios de pesquisa, ensino e extensão, entre outros; já descontados os itens de mobiliário (tais como mesas, cadeiras, armários, divisórias, etc.), veículos automotores (cuja manutenção não é realizada pela DIMEQ) e outros itens utilizados em ensino pesquisa e extensão que também são patrimoniados (tais como instrumentos musicais de sopro, percussão e cordas, livros e outros materiais didáticos).

Esta diversidade de equipamentos acarreta a necessidade de uma mão de obra adequada a todos os tipos de equipamentos. Estando subdividida em seções para uma melhor execução das atividades: Seção de Eletrônica, de Informática, de Eletrotécnica, de Refrigeração, de Telecomunicações; possuindo também uma seção de Transporte e Apoio, um Almoxarifado de Peças e Equipamentos, uma Coordenação Técnica e Direção/Secretaria Executiva.

- **Seção de Eletrônica:** responsável pela manutenção de equipamentos de características principalmente eletrônicas, tais como equipamentos biomédicos e de análise clínica, balanças de precisão, equipamentos de som e de imagem, monitores, impressoras, aparelhos telefônicos, switches para redes de dados, no breaks e estabilizadores de tensão, projetores multimídia, telas interativas, mesas de som, amplificadores, microfones, caixas de som, etc.
- **Seção de Eletrotécnica:** responsável pela manutenção de equipamentos com características predominantemente elétricas e mecânicas, tais como bombas, motores elétricos e à combustão, ventiladores, exaustores, ferramentas

elétricas, centrífugas, compressores, equipamentos de limpeza, odontológicos, autoclaves, estufas, aquecedores, destiladores, etc.

- **Seção de Óptica:** responsável pela a manutenção de equipamentos óticos e de mecânica fina, tais como microscópios, telescópios, balanças de precisão, etc.
- **Seção de Informática:** responsável pela manutenção de equipamentos de informática, tais como micro computadores, impressoras e periféricos.
- **Seção de Refrigeração:** responsável pela manutenção de equipamentos de refrigeração e trocas térmicas através de fluidos refrigerantes, tais como aparelhos de ar condicionado de pequeno, médio e grande portes, frigobares e geladeiras tanto de uso domésticos (utilizados nas copas e nos laboratórios científicos), como em freezers científicos, câmaras frias, bebedouros, estufas climatizadas e máquinas de gelo.
- **Seção de Telecomunicações:** responsável pela instalação e manutenção da rede de telecomunicações – telefonia e redes de dados da Universidade.

Para a execução destas atividades de manutenção a DIMEQ conta com um quadro de servidores próprio e também com empresas prestadoras de serviço, estas terceirizadas. Salienta-se que como a Universidade de Brasília é ligada ao Ministério da Educação, conseqüentemente mantida com recursos públicos federais, a aquisição de peças, equipamentos e serviços é realizada em conformidade com a legislação correlata vigente: Lei 8.666 de 21 de junho de 1993 e Instruções Normativas complementares.

A elevada complexidade de alguns equipamentos, somada à legislação vigente faz com que para muitos equipamentos a atuação da DIMEQ quanto à sua manutenção fique restrita à gestão e fiscalização de contratos com empresas prestadoras de serviços. Sendo que estas empresas podem ser generalistas, isto é que podem prestar atendimento a diversos equipamentos de diversos fabricantes ou podem ser o representante de algum fabricante de equipamento que, por sua complexidade e particularidades, é o único detentor do *know how* para executar a manutenção devidamente.

A Cartilha de Compras 2016 (DECANATO DE ADMINISTRAÇÃO, 2019) aponta a necessidade de um Laudo Técnico elaborado pela Prefeitura do Campus e pelas Diretorias subordinadas a ela onde é necessário identificar a necessidade de obras prévias ou infraestrutura; intervenções civis (instalação de bancadas, bases, etc.); instalações elétricas, tais como tomadas, fiação, disjuntores, quadro de energia, etc.; necessidade de instalações hidrossanitárias (fornecimento ou esgotamento de água ou outras substâncias); necessidade de

instalações de insuflamento ou exaustão de ar ou outros gases. E para o caso de equipamentos cuja potência seja menor ou igual a 2.200 w o Laudo Técnico da PRC poderá ser substituído por Declaração Própria do Responsável, citando que a estrutura atual do local de instalação do equipamento atende a todos os requisitos técnicos necessários.

4.2 Pesquisa Quantitativa

O estudo quantitativo foi realizado por meio de coleta de dados utilizando uma ferramenta online chamada Formulários do Google. Os questionários estruturados, com questões abertas e fechadas, foram encaminhados para 327 servidores da UnB entre Professores e Técnicos, divididas em 2 grupos, conforme o seu perfil. As respostas foram tabuladas, transformadas em gráficos e analisadas para extração informações válidas para a pesquisa.

Perfil 1: Um questionário foi formulado e enviado para os responsáveis pelos laboratórios de pesquisa, ensino e extensão, com perguntas relacionadas à manutenção e aquisição de equipamentos. Uma cópia do formulário está disponível no Anexo 3.

Perfil 2: Um segundo questionário também foi formulado e enviado aos servidores da DIMEQ que trabalham diretamente com manutenção dos equipamentos da UnB. Sendo que uma cópia do formulário está disponível no Anexo 4.

4.2.1 Perfil 1 – Responsáveis pelos laboratórios da UnB.

Foram enviados 289 questionários para e-mails dos responsáveis pelos laboratórios de científicos de pesquisa, ensino e extensão, bem como aos dos laboratórios de informática da UnB, dos seguintes Institutos e Faculdades: Faculdade de Agronomia e Veterinária (FAV), Faculdade de Saúde (FS), Faculdade de Tecnologia (FT), Faculdade da Ceilândia (FCE), Faculdade do Gama (FGA), Instituto de Biologia (IB) e do Instituto de Geociências (IG). Foram recebidas 19 respostas, o que equivale a 6,57%.

Pergunta 1 – Qual é o seu grau de instrução?

Pergunta 2 – Qual é o seu cargo?

Para facilitar a compreensão, o Gráfico 7 mostra as respostas das Perguntas 1 e 2, pois são dois cargos com diferentes escolaridades.

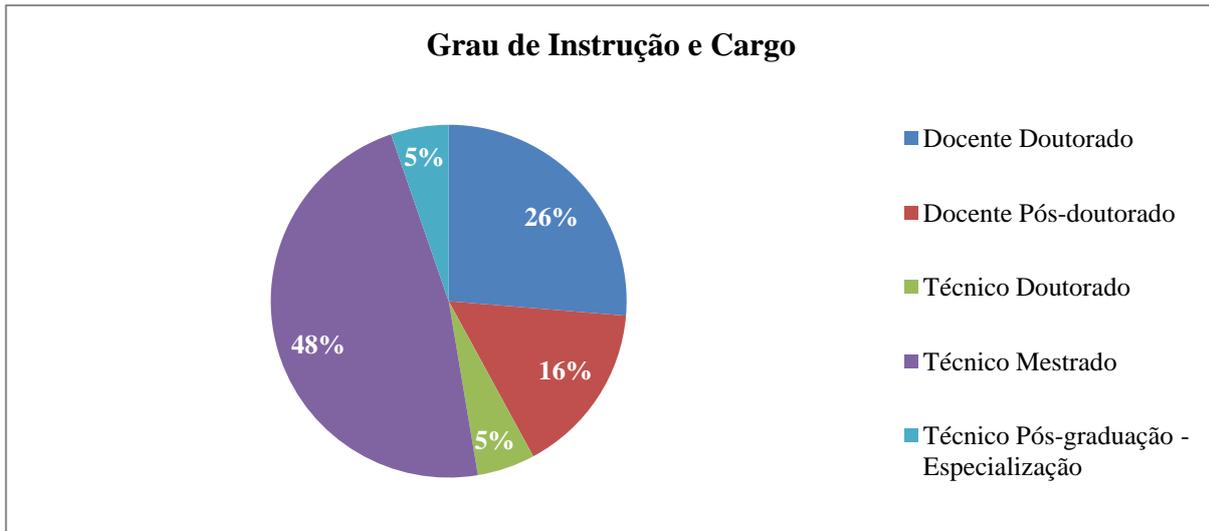


Gráfico 7 - Grau de Escolaridade e Cargo dos responsáveis pelos laboratórios - Fonte: Autor

Pode-se observar que todos os respondentes têm nível superior completo, sendo que 47% destes têm no mínimo doutorado. Deste modo infere-se que mesmo sem conhecimento específico nas tecnologias facilitadoras da Indústria 4.0 haja conhecimento em algumas destas, bem como aceitação em relação à implantação de soluções com estas tecnologias.

Pergunta 3 – Qual é o seu local de trabalho?

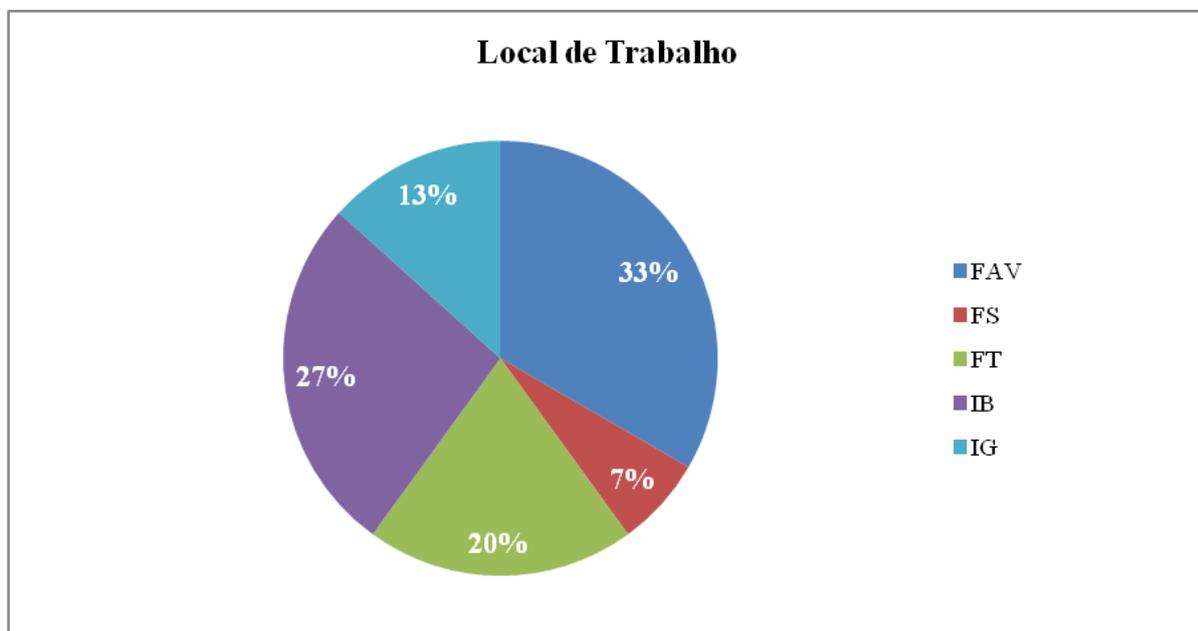


Gráfico 8 - Local de trabalho - fonte: autor

Este gráfico mostra a heterogeneidade dos entrevistados, propiciando a obtenção de opiniões variadas acerca da pesquisa.

Pergunta 4 – Quais são os equipamentos críticos do seu laboratório?

Devido à grande variedade de laboratórios que a UnB possui esta pergunta foi aberta, isto é, o entrevistado pôde escrever livremente; também não foi feito direcionamento algum quanto à resposta, deste modo houve grande liberdade nas respostas. A Tabela 16 mostra a listagem dos equipamentos citados, com suas ocorrências.

Equipamento	Frequência	Equipamento	Frequência
Microscópio	4	Contador de células	1
Aparelhos de ar condicionado	3	Contador de colônias	1
Banho maria	3	Criomicrotomo	1
Computador	3	Cuba de eletroforese	1
Termociclador	3	Destilador de nitrogênio	1
Agitador magnético	2	Eq. p/ensaios pré-clínicos de medicamentos	1
Autoclave	2	Espectrofotômetro	1
Balança	2	Estabilizadores	1
Destilador de água	2	Estereoscópio	1
Estufa	2	Exaustor central	1
Impressora 3D	2	Filtro de água	1
Microondas	2	Fluxo laminar	1
Refrigeradores	2	Freezers	1
Transluminador	2	Geradores	1
Vórtex	2	Lancha	1
Autoclave de barreira	1	Microcentrífuga	1
Bebedouro	1	Misturador automático	1
Estufa Incubadora BOD	1	No-breaks	1
Cabine de segurança biológica	1	Outros eletrônicos	1
Câmara de anaerobiose	1	Phmetro	1
Capela de exaustão	1	Racks de ventilação individual para animais	1
Centrífuga	1	Sequenciador de DNA	1
Centrífuga refrigerada	1	Sistemas de medição geofísicos	1
Citocentrífuga	1	Veículos	1

Tabela 16 - Equipamentos críticos dos laboratórios – fonte: autor

Muitos dos equipamentos listados na Tabela 16 operam em funcionamento contínuo, tais como os aparelhos de ar condicionado utilizados para o controle da temperatura e umidade dos laboratórios, banhos maria, computadores utilizados na coleta e processamento de dados, termocicladores, agitadores, estufas, refrigeradores e freezers utilizados em pesquisas científicas, geradores de energia elétrica, racks para ventilação da criação de animais de laboratório, etc. Estes apresentam demanda do monitoramento do seu desempenho e funcionamento.

Pergunta 5 – Como é a manutenção dos equipamentos do seu local de laboratório?

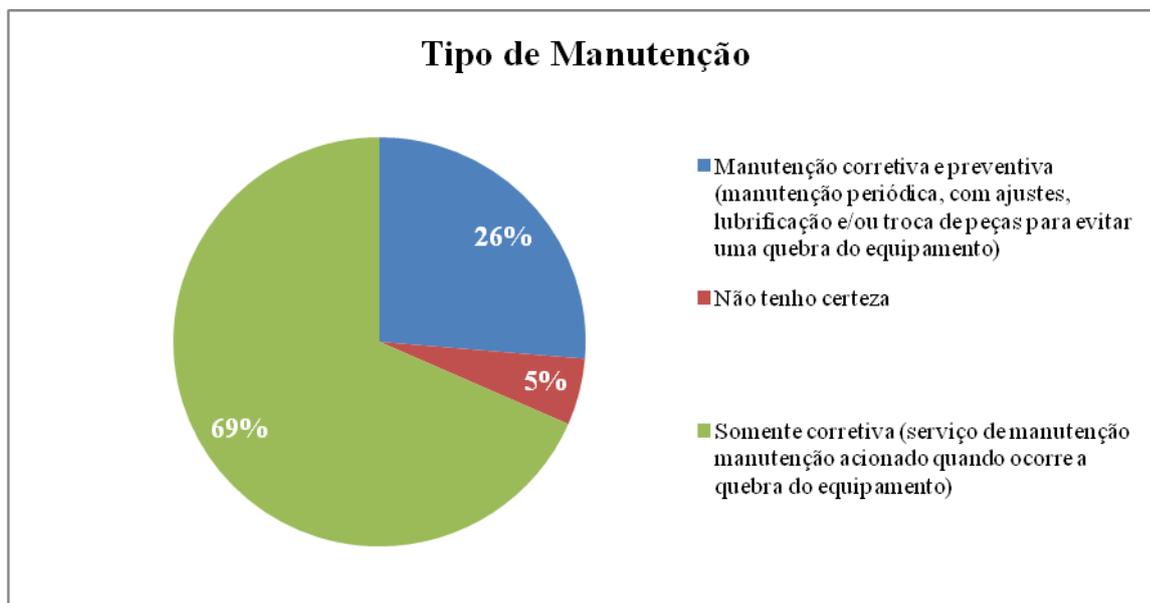


Gráfico 9 - Tipos de manutenção do equipamentos - fonte: autor

Foi solicitado aos entrevistados que explicassem as suas respostas, os responsáveis pelos equipamentos que passam somente por manutenção corretiva responderam que:

“Nunca obtivemos recursos para manutenção preventiva e/ou corretiva”.

“Só conserta quando quebra”.

“Na realidade não existe. Todas as manutenções são executadas com financiamento de projetos pelas agências de fomento, tipo FINEP, FAP, CNPq etc”.

Estas declarações podem demonstrar tanto uma falta de recursos humanos e/ou materiais destinados à manutenção dos equipamentos como também pode indicar que não há um planejamento sistêmico para manutenções preventivas.

Já os que pelos equipamentos que passam por manutenções corretiva e preventiva responderam que:

“Nossos equipamentos necessitam de manutenção constante, pois somos responsáveis por liberar laudos de análises clínicas diariamente para a rotina do Hospital Veterinário. Cada equipamento requer cuidados particulares para ajustes próprios e calibração”.

“Raras as vezes que ocorrem manutenções preventivas. Muitas vezes a manutenção não acontece e a manutenção corretiva leva muito tempo, atrapalhando o andamento das pesquisas no laboratório”.

“Nos equipamentos de informática (PCs) são realizadas somente manutenções corretivas, já nos equipamentos de ar condicionado, está se iniciando um planejamento para manutenção preventiva dos aparelhos. Para os equipamentos internos, são realizadas manutenções corretivas e preventivas”.

“No Laboratório para as máquinas FDM [Fused Deposition Modeling] é feita a manutenção preventiva”.

Estas respostas mostram que é realizada manutenção preventiva nos aparelhos de ar condicionado e em alguns equipamentos de laboratório mais específicos, em especial dos laboratórios do Laboratórios de Ensino de Graduação - ULEG/FT, Laboratório Aberto de Brasília e LAMAL/FAV.

Pergunta 6 – Quem realiza a manutenção destes equipamentos?

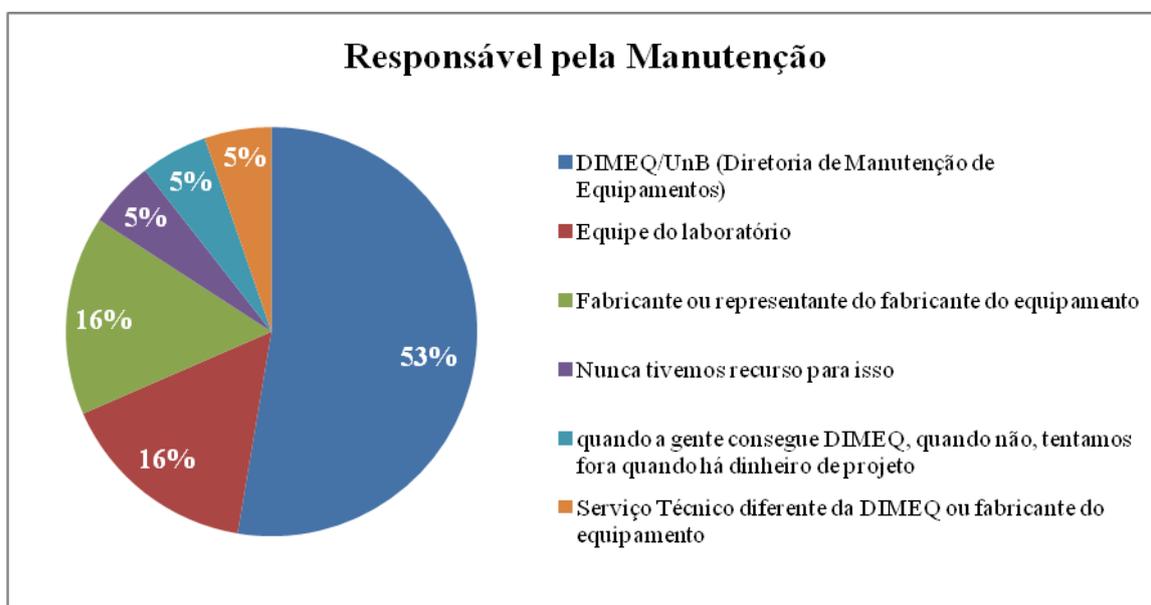


Gráfico 10 - Responsáveis pela manutenção dos equipamentos - fonte: autor

Os entrevistados que responderam que a manutenção dos equipamentos é realizada pela DIMEQ informaram que:

“Os equipamentos são patrimoniados e não podem ter manutenção externa à UnB”.

“Somente se o equipamento estiver em garantia ou for muito específico e caro, é chamada a assistência técnica do fabricante. O restante dos equipamentos, que deveriam ter uma manutenção mais fácil pelas peças serem fáceis de serem repostas, deveria ser feita pela DIMEQ, o que não vem acontecendo salvo em equipamentos como estufa. A manutenção da microscopia também já foi feita via DIMEQ.”

“A manutenção dos equipamentos patrimoniados é realizada pela DIMEQ/UnB, já os demais (impressoras 3D), a própria equipe realiza as manutenções preventivas”.

Estas respostas indicam que muitos equipamentos recebem manutenção por parte da DIMEQ, 53% do total dos entrevistados. Para estes equipamentos a pesquisa está direcionada.

Dos 16% que informaram que a manutenção dos equipamentos é realizada pelo pessoal do laboratório houve um comentário:

“A equipe formada por alunos faz a manutenção corretiva e preventiva do Laboratório. Para impressora Polijet [3D] a manutenção preventiva e corretiva deve ser realizada por especialistas - Terceiros”.

E os que informaram serem atendidos pelo fabricante ou representante deste:

“São equipamentos que normalmente precisam de técnicos especializados. E nesse sentido, são contratados de fora”.

“Quando temos recursos de projetos, contratamos o serviço em empresas especializadas do Distrito Federal. O problema que os equipamentos ficam um período elevado sem uso devido estarem quebrados”.

Os comentários refletem a necessidade de mão de obra capacitada para lidar – manter – com equipamentos que possuem cada vez mais tecnologia integrada.

Pergunta 7 - Existe a previsão de aquisição de novos equipamentos para o seu local de trabalho/laboratório?

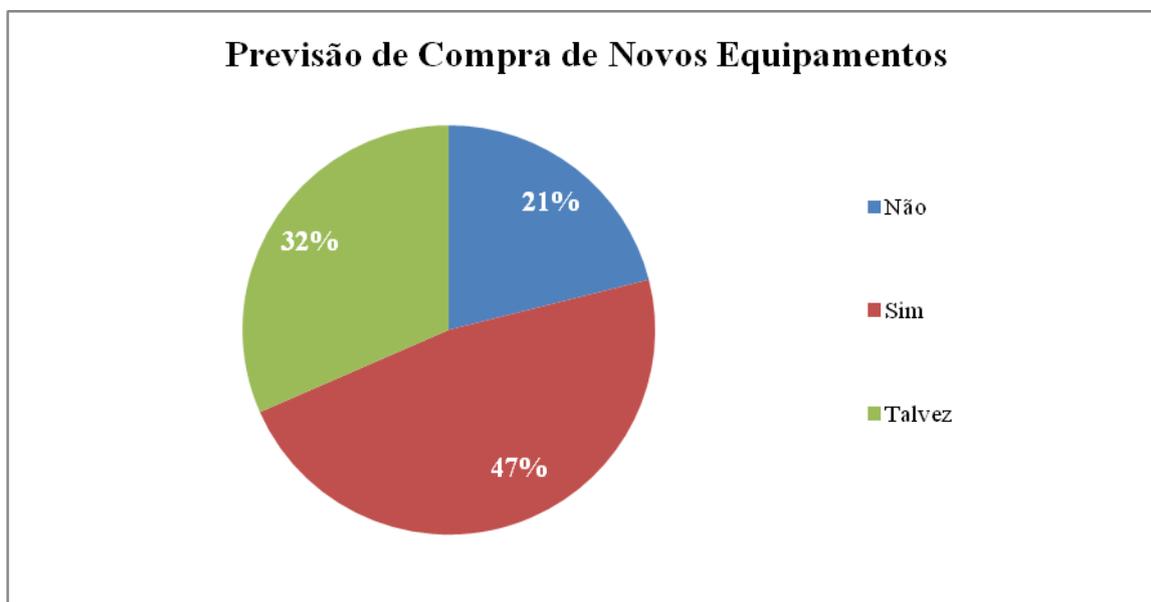


Gráfico 11 - Previsão de aquisição de novos equipamentos - fonte: autor

Nas explicações os que pretendem ou que talvez venham a adquirir novos equipamentos informaram a necessidade de atualização constante:

“Sempre existe, pois temos que atualizar e para uso em pesquisar que necessitam de equipamentos e insumos próprios”.

“Temos buscado novos equipamentos para identificação rápida, mas pensando em kits ou processos que sejam de fácil aplicação tanto para troca quanto para manutenção”.

“A intenção é expandir uma vez que o LAB segue a cultura Maker para prototipação”.

Informando também alguns equipamentos que pretendem adquirir, tais como Ultrafreezers (que chegam à -86°C), Autoclaves e Espectrofotômetros. Os que informaram que talvez comprem equipamentos complementaram que a aquisição de novos equipamentos depende da disponibilidade de recursos:

“Existem projetos para aquisição de novos equipamentos para melhorias dos laboratórios, mas ainda em discussão com a Direção da Faculdade”.

“Depende de financiamento externo”.

Pergunta 8 - A aquisição dos equipamentos seu local de trabalho/laboratório é discutida com outras áreas?

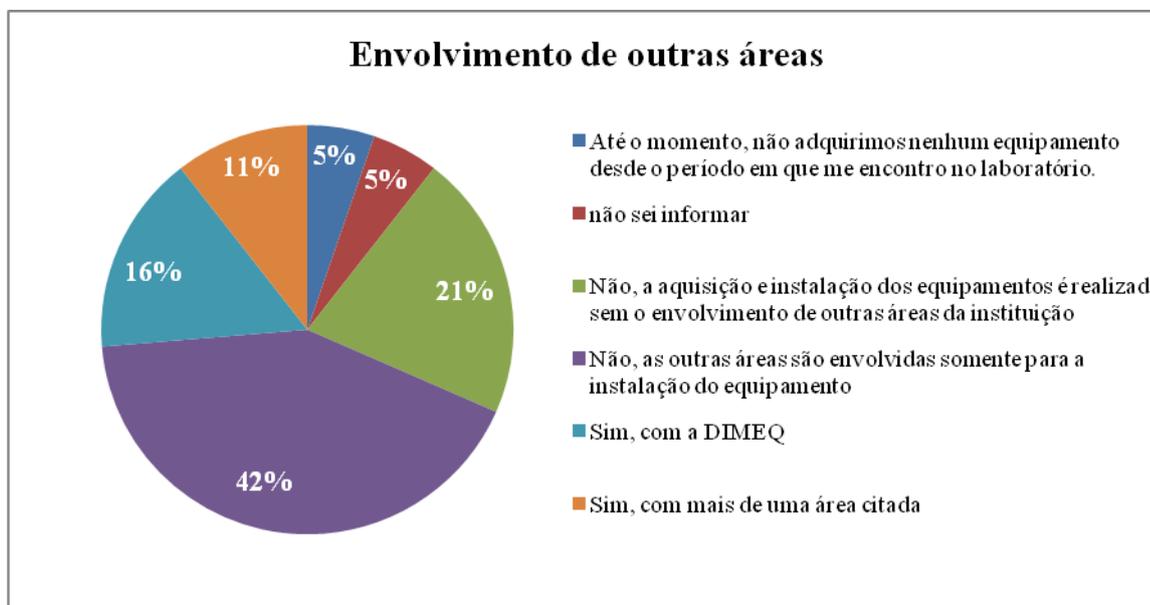


Gráfico 12 - Envolvimento de outras áreas na aquisição dos equipamentos - fonte: autor

Nas explicações para as respostas, um dos entrevistados, que havia informado que não há envolvimento de outras áreas, justificou que:

“Os equipamentos adquiridos são comprados para atender a demanda do laboratório”.

E um dos que informou que as demais áreas são envolvidas somente na instalação complementou que:

“As outras áreas somente vem para registro do patrimônio e manutenção/instalação quando solicitados”.

A Cartilha de Compras 2016, que é a normatização interna para aquisições de insumos e equipamentos indica a necessidade da verificação de itens necessários para a instalação de equipamentos, caso estes possuam potência até 2.200 w esta necessidade é opcional, deste modo pode não haver uma integração entre os responsáveis pelos laboratórios e quem deverá manter os equipamentos.

Pergunta 9 – Conhecimento sobre Indústria 4.0.

Pode-se considerar natural a falta de conhecimento na Indústria 4.0 ainda mais na Manutenção 4.0, pois são termos recentes ainda reservados aos que estão trabalhando diretamente com estes itens. Entretanto muitas das tecnologias facilitadoras são conhecidas de todos, sendo que foram dados os seguintes exemplos aos entrevistados:

A Indústria 4.0 é um termo que integra novas tecnologias de fabricação, comunicação, controle e processamento de dados nas diversas etapas do processo de manufatura. Utiliza-se de conceitos de Sistemas Ciber-físicos, Internet das Coisas (IoT), Manufatura Aditiva, entre outros.

- **Sistemas Ciber-físicos:** “Sistemas Ciber-Físicos (CPS) são integrações de computação com processos físicos. Computadores e redes incorporados monitoram e controlam os processos físicos, geralmente com loops de feedback onde os processos físicos afetam as computações e vice-versa.” (LEE, E., 2008)
- **Internet das Coisas:** Pode ser considerada o conjunto de objetos físicos (máquinas, equipamentos, veículos, edificações, etc.) dotados de tecnologia capaz de coletar, transmitir dados e efetuar algumas ações. É uma evolução dos sistemas embarcados. Como exemplo podem ser citadas geladeiras que fazem listas de compras e bicicletas de aluguel controladas por aplicativos.
- **Manufatura Aditiva:** Trata-se de um processo mecânico no qual diversas camadas de material são progressivamente sobrepostas uma à outra com o objetivo de formar um objeto, geralmente tendo como base um modelo digital. Comumente conhecido como “impressão 3D”
- **Realidade Aumentada:** é a integração de elementos ou informações virtuais a visualizações do mundo real através de uma câmera e com o uso de sensores de movimento como giroscópio e acelerômetro, um exemplo bastante conhecido é o APP/Jogo para celulares “Pokemon Go”
- **Big Data:** é o termo em Tecnologia da Informação (TI) que trata sobre grandes conjuntos de dados que precisam ser processados e armazenados. Pode ser definido como um conjunto de técnicas capazes de se analisar grandes quantidades de dados para a geração de resultados importantes que, em volumes menores, dificilmente seria possível. Como exemplo, o Google processa diariamente mais de 3 bilhões de pesquisas em todo o mundo, sendo desse total 15% totalmente inéditas. Seu “motor” de pesquisa rastreia 20 bilhões de sites diariamente.

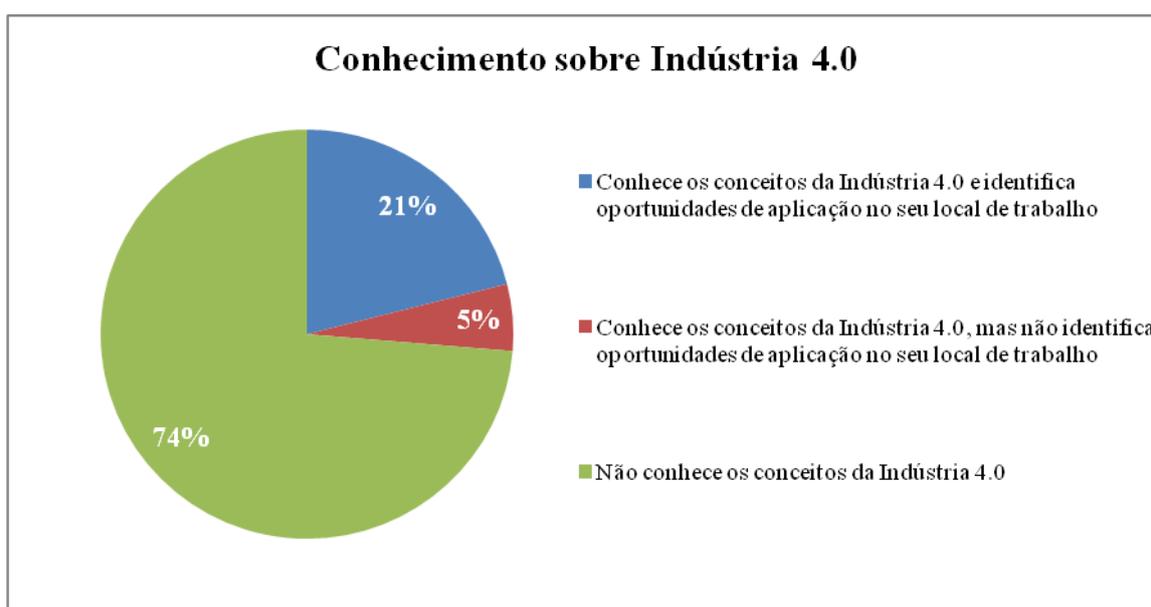


Gráfico 13 - Conhecimento sobre Indústria 4.0 - fonte: autor

Dos respondentes que informaram não conhecer os conceitos da Indústria 4.0, as explicações foram:

“Não é a minha área de formação, mas já li sobre a maioria dos conceitos mencionados acima”.

“Já ouvi falar de alguns, mas bem pouco”.

Já os que informaram conhecer os conceitos e identificam oportunidades de aplicação no seu local de trabalho externaram que:

“Utilizamos muitas ferramentas, mas não sabia que era parte da Indústria 4.0”.

“Digitalizar os processos por completo seria um ponto. E, em algum ponto do futuro agregar sistemas para tomada de decisão no desenvolvimento dos processos. Atualmente os processos, sejam ele de pesquisa ou ensino, são tomadas a partir da experiência dos responsáveis”.

“Como sou aluno de mestrado em Sistemas Mecatrônicos, na área da Indústria 4.0, sempre que possível tento aplicar os conceitos da transformação digital nos locais de trabalho”.

“Temos no plano estratégico do LAB de médio ter o monitoramento na rede das máquinas em tempo real”.

Esses comentários refletem o exposto por Carvalho e Filho (2018) “indústria 4.0 não é simplesmente um novo conceito, mas sim um conjunto de definições e tecnologias que em sinergia, podem proporcionar diversos benefícios na área industrial”, já que muitas das tecnologias são conhecidas do público leigo e quando agrupadas e utilizadas de uma maneira sistemática fazem parte de Indústria 4.0 e da Manutenção 4.0.

Pergunta 10 – Existe a necessidade ou oportunidade da utilização de tecnologias da Indústria 4.0 no seu local de trabalho/laboratório?

Nesta pergunta havia a possibilidade do entrevistado marcar mais de uma resposta, conforme mostra o Gráfico 16.

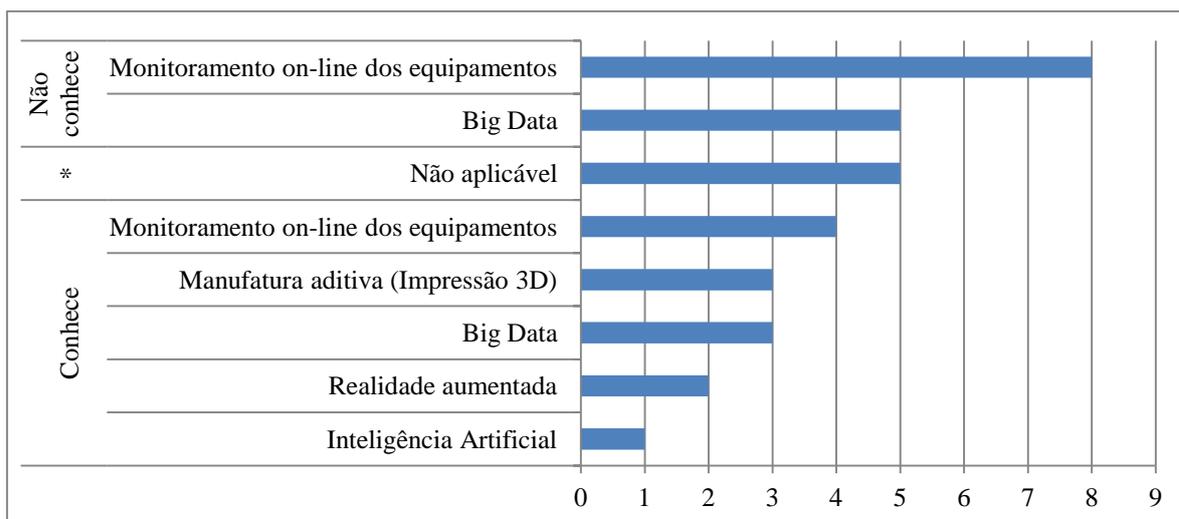


Gráfico 14 - Oportunidade no uso das Tecnologias da Indústria 4.0 - Fonte: Autor

O * indica os entrevistados que responderam, na pergunta anterior, conhecer os conceitos da Indústria 4.0 e ou que informaram desconhecer estes conceitos, respondendo como “não aplicável”.

Já as explicações para as respostas evidenciam as necessidades:

“Temos uma coleção micológica onde estamos realizando a coleta, processamento e análises de grandes quantidades de dados”.

“Destas, utilizamos atualmente somente a manufatura aditiva”.

“Seria extremamente útil tanto para a rotina quanto para as pesquisas”

“Até onde sei, nossos equipamentos são um pouco antigos e não dispõem desse nível de comunicação com outros equipamentos”.

“O Laboratório Aberto de Brasília atua com prototipagem e manufatura aditiva. Já está em discussão a instalação de dispositivos de IoT no laboratório para comunicação entre os equipamentos”.

“Já temos Manufatura Aditiva em Polímeros a intenção é expandir para metais”.

Dos respondentes que informaram já utilizar tecnologias da Indústria 4.0, no caso a manufatura aditiva: Laboratório Aberto de Brasília/FT e o GEM - Laboratório de Nanobiotecnologia/IB; indicaram a necessidade das demais tecnologias apresentadas, tais como Monitoramento on-line dos equipamentos existentes, Realidade aumentada, Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data) e Inteligência Artificial.

Pergunta 11 - Caso uma das respostas da questão anterior seja afirmativa, você identifica alguma dificuldade ou obstáculo na implantação?

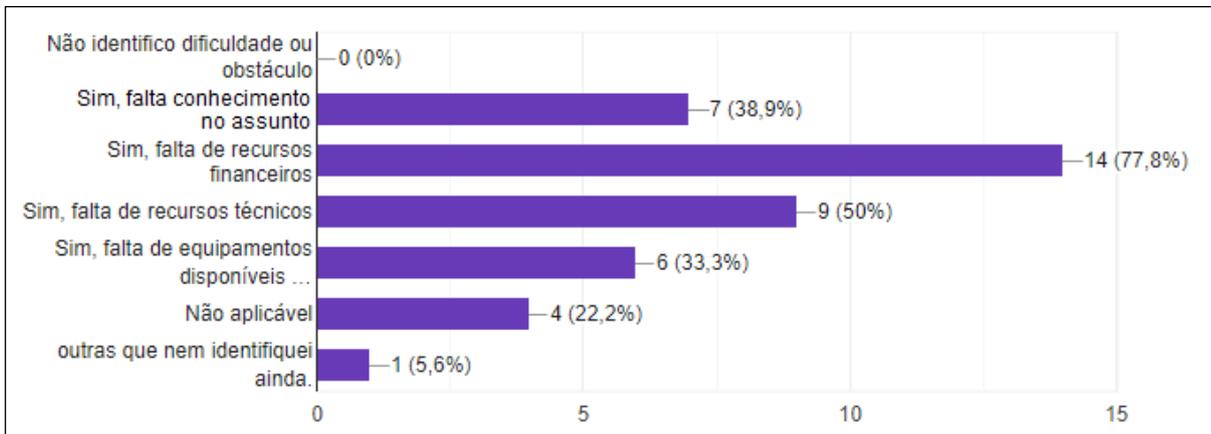


Gráfico 15 - Dificuldades e obstáculos no uso das Tecnologias da Indústria 4.0 - Fonte: Autor

As explicações para estas respostas foram:

“Tenho pouco conhecimento no assunto, não temos equipe treinada e não existe financiamento para a implantação”.

“Nem sempre a internet da UnB funciona, às vezes o serviço técnico não consegue resolver o problema. As vezes até o telefone não funciona”.

“Uma das dificuldades é adaptar os equipamentos para poderem se comunicarem entre si. Geralmente cada equipamento possui uma interface e sistema de comunicação/linguagem própria que atrapalham esta interconectividade”.

Tanto a falta de conhecimento no assunto como a falta de recursos técnicos vão ao encontro do discutido no item 3.5. Desafios na implementação da indústria 4.0, que discorre sobre a necessidade de capacitação para todas as etapas, do desenvolvimento das tecnologias, passando pela operação e manutenção dos equipamentos.

Pergunta 12 – Conhecimentos sobre Manutenção 4.0

De maneira análoga ao conceito da Indústria 4.0, o conceito de Manutenção 4.0 é recente e reservado aos que trabalham nesta área, foram dados exemplos aos entrevistados:

A Manutenção 4.0 é um dos desdobramentos da Indústria 4.0, trata da evolução das manutenções preventiva e preditiva utilizando de algumas das técnicas da Indústria

4.0, como por exemplo: colocação de sensores nos equipamentos para monitoramento constante de vibrações, temperatura e outras condições do equipamento, estes dados são tratados e analisados por programas de computador indicando os melhores momentos para as intervenções de manutenção, aumentando a disponibilidade do equipamento.

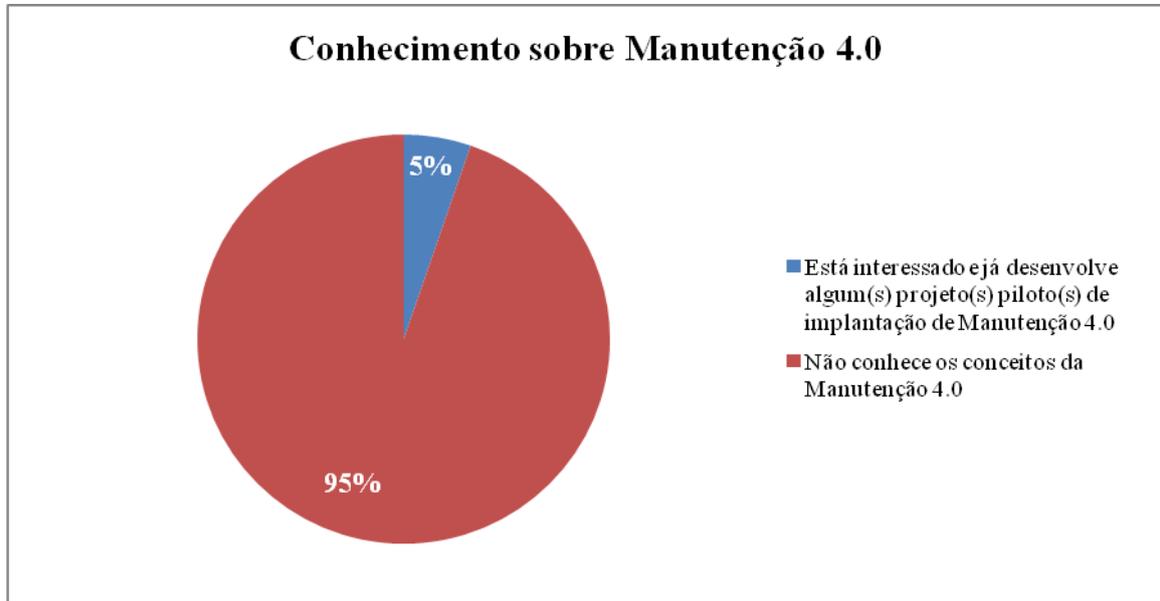


Gráfico 16 - Conhecimentos sobre Manutenção 4.0

Já as explicações dadas foram:

“Nunca ouvi falar”.

“Sei da existência dos conceitos de manutenção preditiva, mas preciso estudar mais sobre o tema para poder aplicar no local de trabalho”.

O usuário que respondeu estar interessado e já desenvolver algum projeto piloto de implantação de Manutenção 4.0 informou:

“As interfaces podem ser facilmente implementadas, não sendo uma restrição para implementação.”

De forma prevista, as respostas e também os comentários refletem o desconhecimento no assunto, porém, quando analisadas no contexto das demais respostas reforçam que a necessidade criada com o surgimento das novas tecnologias supre demandas até então desconhecidas pelos usuários.

Pergunta 13 – Existe a previsão de que os equipamentos que serão adquiridos devam possuir interface IoT/sensoreamento remoto?

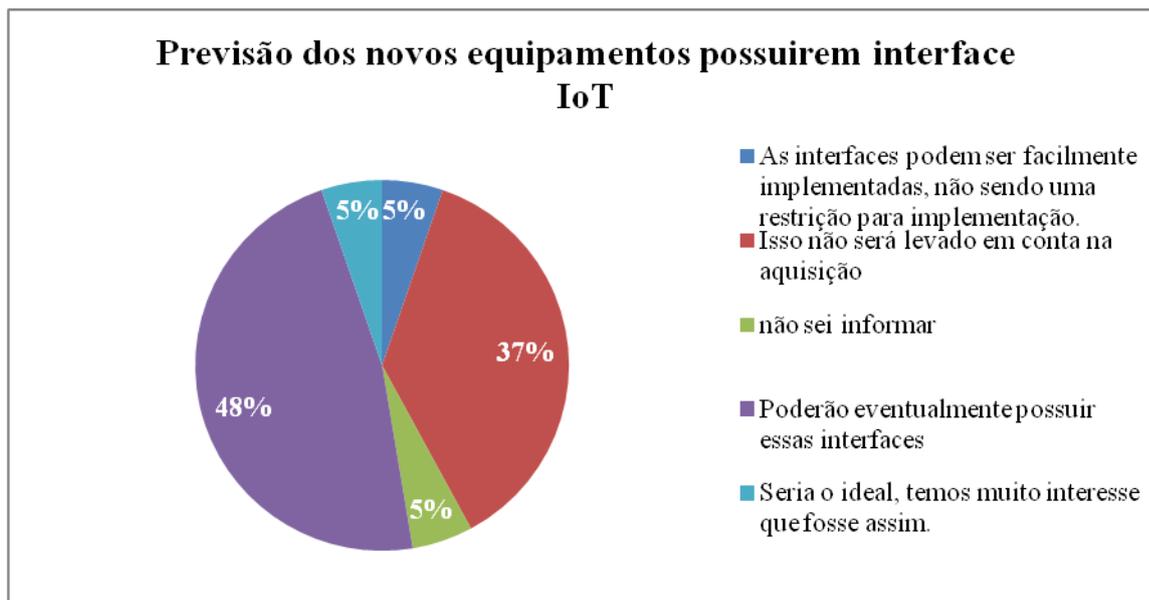


Gráfico 17 - Previsão dos equipamentos possuírem interface IoT - fonte: autor

Comparando as respostas dadas à Pergunta 13 com as dadas à Pergunta 10 identificou-se que mesmo os que informam que a Interface IoT não será levada em conta veem a necessidade do sensoramento remoto dos seus equipamentos, conforme pode ser visualizado na Tabela 17.

Resposta	Tecnologias que podem ser utilizadas	Quant.
As interfaces podem ser facilmente implementadas, não sendo uma restrição para implementação.	Monitoramento on-line dos equipamentos existentes	1
	Realidade aumentada	1
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)	1
Isso não será levado em conta na aquisição	Monitoramento on-line dos equipamentos existentes	4
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)	3
	Não aplicável	2
	Manufatura aditiva (Impressão 3D)	1
Não sei informar	Não aplicável	1
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)	1
Poderão eventualmente possuir essas interfaces	Monitoramento on-line dos equipamentos existentes	1
	Monitoramento on-line dos equipamentos existentes	3
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)	2
	Manufatura aditiva (Impressão 3D)	1
	Não aplicável	1
Seria o ideal, temos muito interesse que fosse assim.	Penso que caberia uma análise mas acredito que pode ser bem útil	1
	Manufatura aditiva (Impressão 3D)	1
	Monitoramento on-line dos equipamentos existentes	1
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)	1
	Realidade Aumentada	1
	Inteligência Artificial	1

Tabela 17 - Comparativo entre as respostas dadas às Perguntas 13 e 10 - fonte: autor

Já as explicações mostram:

“Depende do custo adicional e o recurso do projeto”.

“Já possuímos equipamento com essa função de interfaciamento, porém nossa estrutura não comporta”.

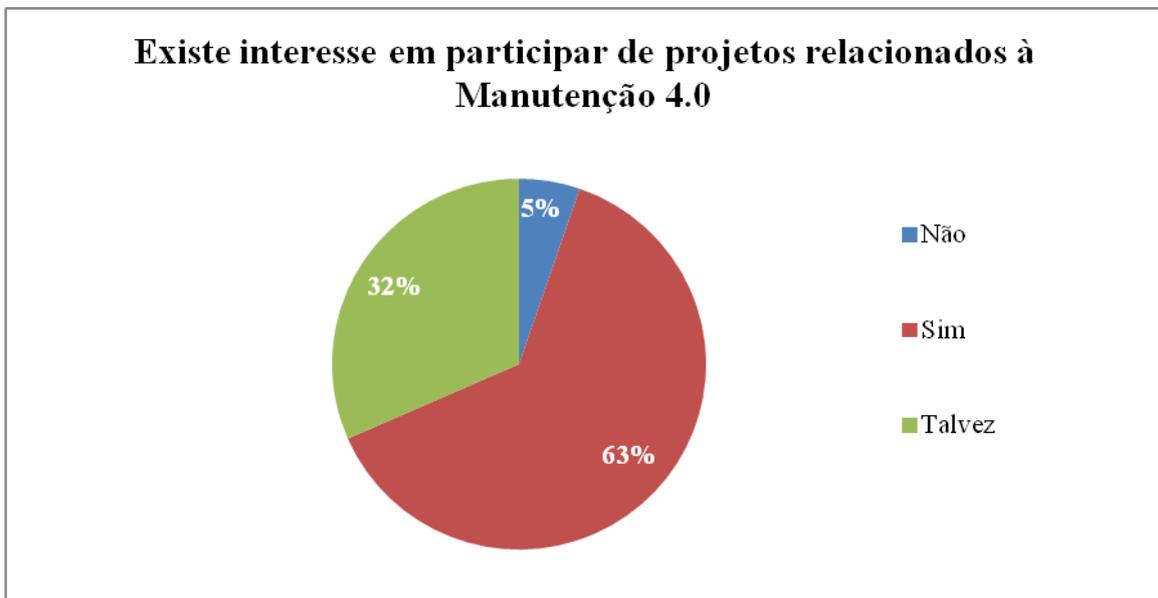
“Devido a não termos maneira de fazer e nem costume com este tipo de informação, muito provável que se eventualmente algum equipamento for adquirido, a presença dessa interface não será levada em consideração. Até porque no serviço público, o preço geralmente é mais importante do que equipamentos que sejam mais modernos”.

“Depende do custo adicional no equipamento”.

“A possibilidade dos equipamentos possuírem sistemas de sensoriamento remoto é um atrativo para sua aquisição, porém muita das vezes esta não é uma escolha possível”.

Tanto o comparativo das respostas mostrado na Tabela 17 como as suas explicações podem ser atribuídas ao desconhecimento das tecnologias e bem como das suas possibilidades, principalmente no grupo dos que responderam “Isso não será levado em conta na aquisição”.

Pergunta 14 – Existe interesse na inclusão do seu laboratório/local de trabalho em projetos relacionados à Manutenção 4.0 que venham a ocorrer?



E os comentários foram:

“Seria muito interessante para nós”.

“Seria interessante a Universidade implantar um sistema de manutenção 4.0 em seus equipamentos (Ar Condicionado, Computadores, etc). Isso economizaria recursos e o tempo que os equipamentos ficam desativados”.

Estas respostas, do mesmo modo que as anteriores, mostram que mesmo sem conhecer com detalhes as tecnologias muitos dos usuários constataam a necessidade e têm interesse na aplicação delas nos seus equipamentos.

4.2.2 Perfil 2 – Servidores responsáveis pela manutenção dos equipamentos da UnB

Foram enviados 38 questionários para e-mails dos servidores da DIMEQ. Os questionários contêm um total de 12 perguntas sendo que destas 9 são de múltipla escolha com campo para que o entrevistado possa explicar e opinar sobre a sua resposta. Sendo que foram recebidas 11 respostas, equivalente a 28,9%.

Pergunta 1 - Qual é o seu grau de instrução?

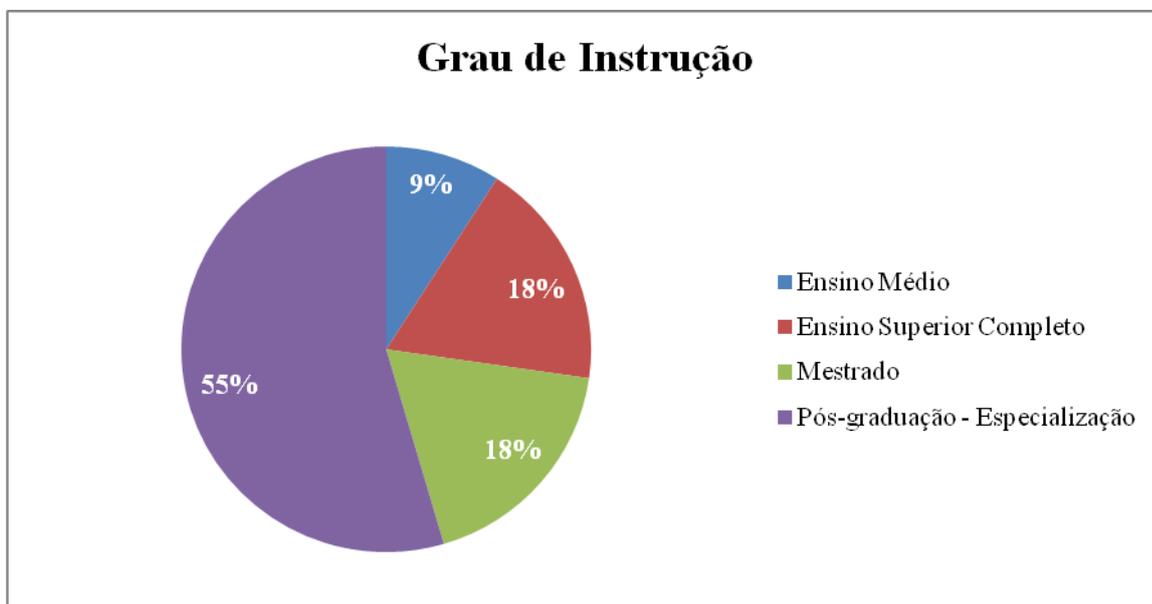


Gráfico 18 - Grau de Escolaridade dos responsáveis pela manutenção dos equipamentos - Fonte: Autor

O resultado da pesquisa neste segundo perfil mostra um elevado grau de instrução entre os Técnicos da DIMEQ, pois a maior parte das vagas é destinada a profissionais de nível médio/técnico.

Pergunta 2 – Qual é a sua seção na DIMEQ?

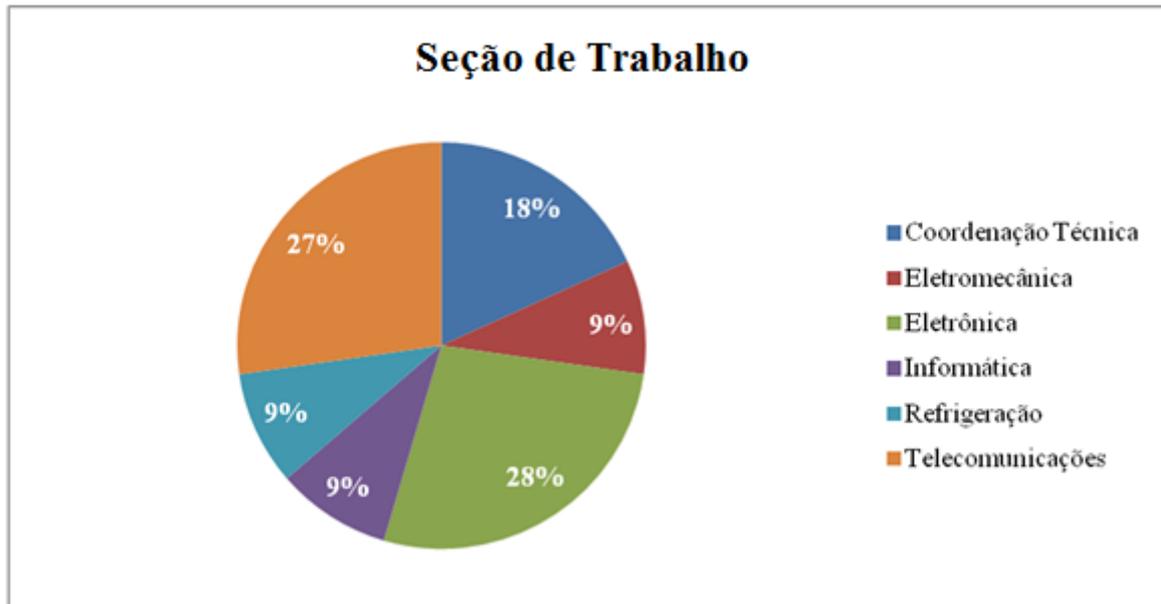


Gráfico 19 - Seção de Trabalho - fonte: autor

As respostas mostram a participação de servidores de todas as seções ligadas diretamente à manutenção dos equipamentos da UnB, entretanto é natural que tenham uma visão restrita aos equipamentos atendidos pela sua seção.

Pergunta 3 - Dos equipamentos atendidos pela sua seção, quais você considera críticos para a UnB?

Quando questionados sobre quais equipamentos são críticos para a UnB as respostas foram variadas, pois cada seção tem a sua percepção e equipamentos específicos:

Os técnicos da Seção de Eletrônica listaram os seguintes equipamentos:

“Projetores, microfones, câmeras, caixas de som”.

“Sistema de câmeras, geradores e no-breaks”.

“O rol de equipamentos atendidos pela eletrônica é vasto e se estende aos equipamentos de outras seções. Em particular podemos listar os que julgo serem críticos os quais relaciono os equipamentos de uso em pesquisa como termocicladores, balanças analíticas, ph metros, centrífugas e banhos ultrassônicos. Esses são críticos, pois estão diretamente relacionados à qualidade da pesquisa desenvolvida. Ainda, no rol de equipamentos mais frequentes, porém não críticos, temos os no-break de pequeno porte (até 5

KVA), e os projetores de multimídia. Assim, considero que enquadrar sob o ponto de vista do técnico quais equipamentos são críticos uma questão sensível. Isso porque, em geral, não temos ciência do contexto em que um equipamento é utilizado. Por exemplo, pode-se utilizar um no-break de pequeno porte para um computador de secretaria acadêmica onde haja diversas alternativas para a continuidade do serviço em caso de falha do no-break. Por outro lado, o mesmo no-break pode ser utilizado em um computador acessório de um equipamento de pesquisa sensível a oscilações da rede”.

Os técnicos da Seção de Refrigeração listaram os seguintes equipamentos:

“Ar condicionado”.

Os da Seção de Eletromecânica:

“Motores e geradores”.

Os da de Informática:

“CPU's, Monitores, No-Breaks, Estação de Sistema telefonia, Ar Condicionado”.

Já os da Seção de Telecomunicações:

“Software de tarifação”.

“Central Telefônica”.

“Telefonia”.

E os da Coordenação Técnica listaram:

“Geradores e Subestações”.

“Geradores, Ultrafreezers, Ar Condicionado de grande porte”.

Os comentários refletem o discutido na Pergunta 2, de que cada área tem uma visão mais direcionada para os seus equipamentos. Salienta-se que muitos destes equipamentos não carecem de um acompanhamento mais apurado, isto é, não se faz necessária a implementação

das tecnologias da Indústria 4.0 e da Manutenção 4.0 em todos os equipamentos atendidos pela DIMEQ.

Pergunta 4 - Geralmente como é a manutenção efetuada?

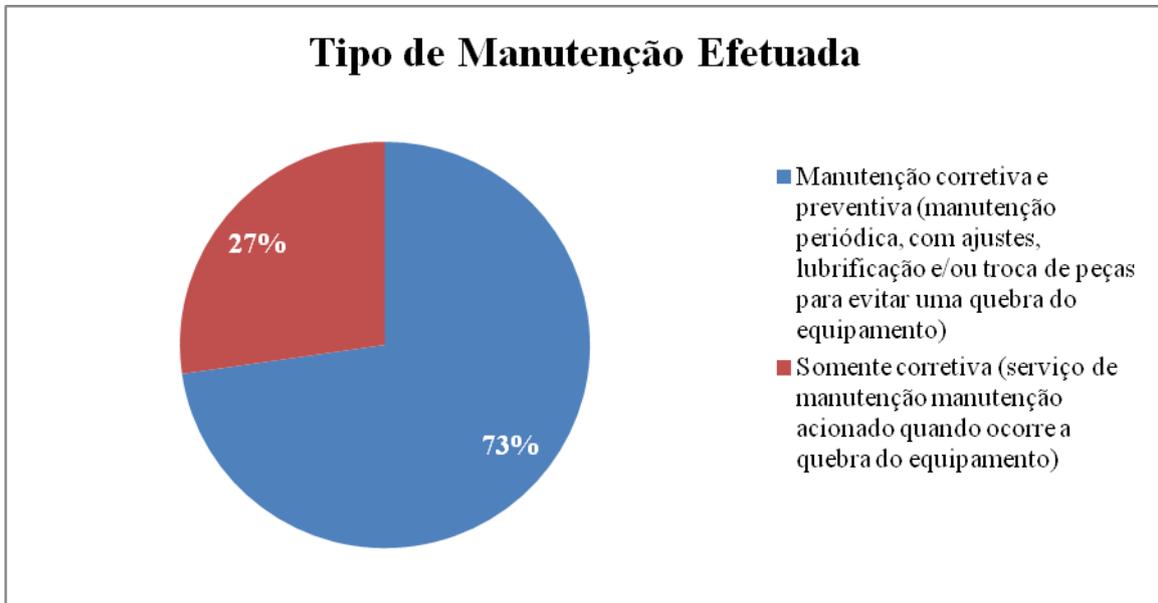


Gráfico 20 - Tipo de Manutenção Efetuada - fonte: autor

Com as seguintes explicações:

“Temos empresas terceirizadas, que fazem manutenção de diversos equipamentos”.

“A manutenção, em geral, é corretiva com substituição de componentes danificados”.

“O serviço de manutenção dos aparelhos de ar condicionados na época era focado somente na corretiva, ou seja apagando fogo. Entretanto agora já se inicia uma manutenção programada com o apoio dos usuários. Os bebedouros também estão seguindo um cronograma de manutenção”.

“Geralmente não há uma manutenção programada dos equipamentos por ser vários e de diversos tipos. Utiliza-se a manutenção corretiva em grande parte dos equipamentos e às vezes ocorre a manutenção preventiva quando, por acaso ou em determinadas circunstâncias verifica-se que há a necessidade de manutenção corretiva. O número de servidores é pequeno e são necessários

diferentes tipos de materiais que necessitam de peças que necessariamente devem ser licitadas o que dificulta uma manutenção eficiente na UnB”.

Foi identificada uma discrepância entre as respostas dos dois perfis em relação aos tipos de manutenção que é realizada: para o Perfil 1 – Responsáveis pelos Laboratórios, 65% identificou apenas a Manutenção Corretiva e 29% as Manutenções Corretiva e Preventiva. Já os entrevistados do Perfil 2 – Servidores da DIMEQ, 73% informaram que são realizadas Manutenções Corretivas e Preventivas e somente 27% que são realizadas Manutenções Corretivas, apenas. Isto possivelmente seja devido à abrangência do serviço de manutenção, que não é limitado somente aos laboratórios, já que a DIMEQ é responsável pela manutenção dos equipamentos de toda a UnB. Esta percepção notada no Perfil 1 pode acarretar numa visão negativa do serviço oferecido pela DIMEQ, o que merece atenção específica por parte dos seus integrantes.

Pergunta 5 - Você participa do processo de definição das características dos equipamentos que serão adquiridos pela UnB, para os laboratórios, salas de aula, etc?

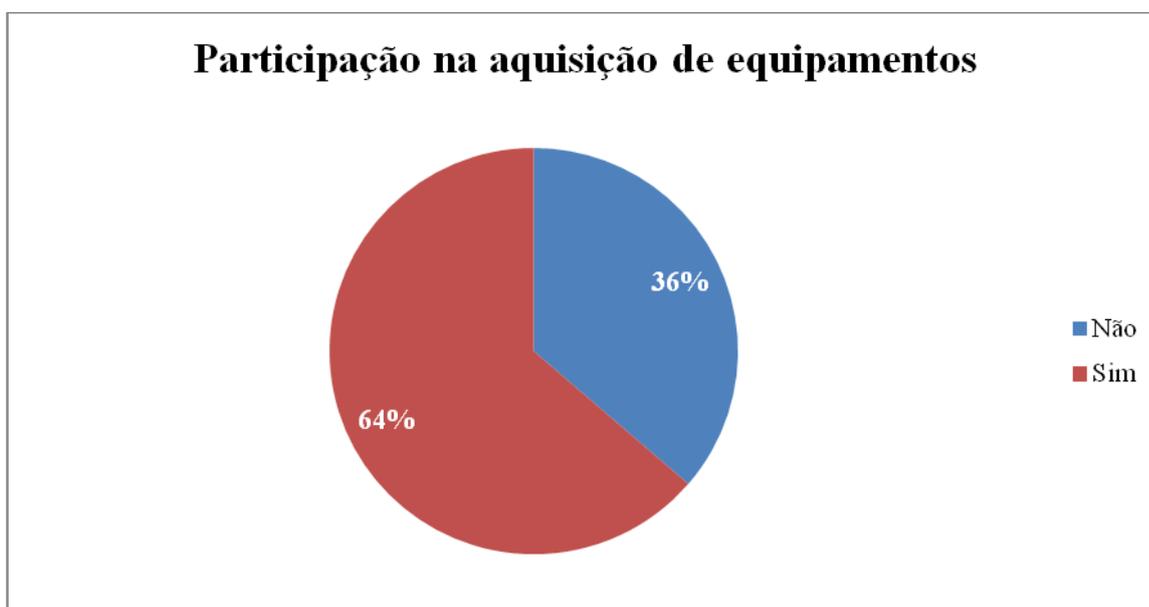


Gráfico 21 - Participação na aquisição de equipamentos - fonte: autor

Com as seguintes explicações:

“Em alguns casos tenho participação na elaboração do termo de referência para aquisição. Contudo, isso é exceção. A grande parte das aquisições são feitas à revelia e ciência da DIMEQ”.

“A equipe de manutenção infelizmente é a última a saber e só serve para solucionar os problemas originados por projetos incompletos e falha na execução”.

“Como colaborador da equipe técnica responsável por sistema específico de comunicação telefônica, precisamos ser consultados e emitir parecer quanto a aquisição de partes e peças destes sistemas que atendem toda a universidade”.

“Sempre participei de quase todos processos licitatórios de compra de equipamentos, sendo necessário especificá-los tecnicamente bem como suas características”.

“Às vezes os servidores da DIMEQ são envolvidos”.

A participação dos técnicos da DIMEQ ocorre na definição e especificação de equipamentos de uso comum: equipamentos de áudio e vídeo, de refrigeração com uso em copas (tais como refrigeradores, frigobares, bebedouros, etc.) e também no caso de equipamentos de uso específico quando solicitado. Entretanto, não há uma participação efetiva nas compras de equipamentos laboratoriais, o que pode acarretar em uma grande quantidade de marcas e modelos diferentes para equipamentos semelhantes, o que dificulta a logística de peças e também impacta na necessidade de treinamentos específicos para cada fabricante. Com o início de uma cultura de Indústria 4.0 essa participação pode auxiliar demonstrando a importância dos equipamentos já possuírem algumas tecnologias da Indústria 4.0.

Pergunta 6 – Conhecimentos sobre Indústria 4.0

Aos entrevistados deste perfil também foram apresentadas as mesmas informações que aos do Perfil 1.

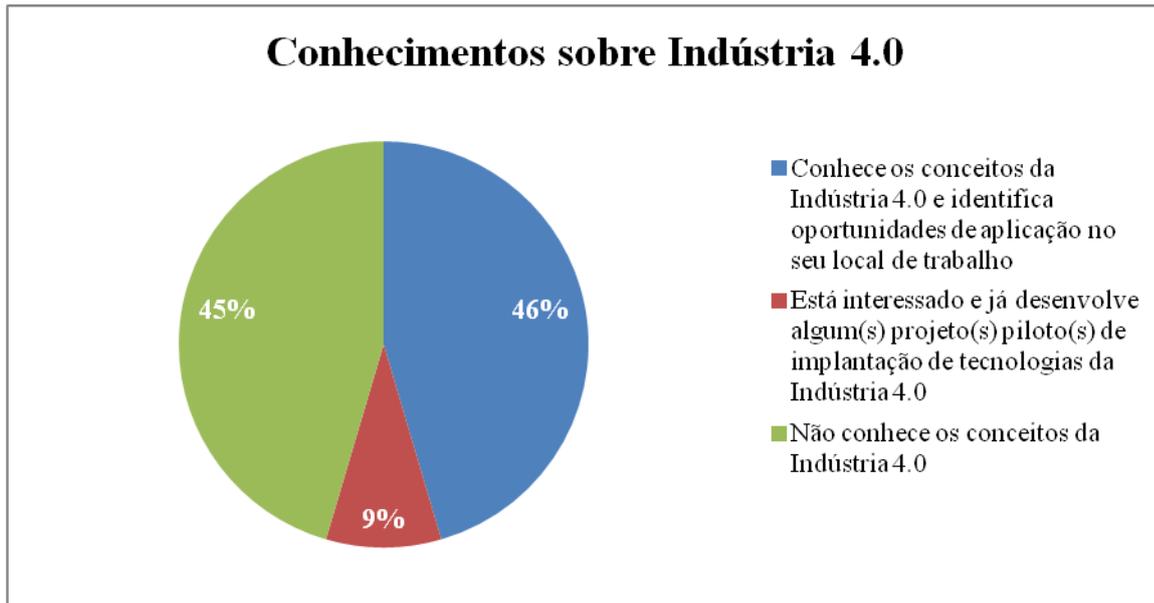


Gráfico 22 - Conhecimentos sobre Indústria 4.0 - fonte: autor

As suas explicações refletem as respostas acima:

“Visualizo importantes aplicações da indústria 4.0 no contexto desta seção [Eletrônica]. Recentemente, tem-se buscado o monitoramento e diagnóstico remoto dos geradores, bombas e ar condicionados de locais críticos por meio de IoT. Ainda está em fase de desenvolvimento mas abrirá um leque de oportunidades. Também foi iniciado o monitoramento de falhas do sistemas de CFT dos campi. O sistema gera alertas de manutenção tão logo seja percebida uma falha no sistema”.

“Tenho interesse em modelar um sistema de supervisão a fim de economizar energia e empregar os recursos economizados em outro local. O motivo da instalação de um sistema de controle é fomentado pelo desperdício e descasos de alguns que deixam os seus ar condicionados ligados as vezes todo final de semana e com o sistema poderíamos inserir uma variável delegando o sistema a deixar as máquinas ligadas até as 20:00”.

”Não tenho conhecimento aprofundado apenas curiosidade e por estar ciente dos conceitos observo várias aplicações no meu local de trabalho”.

“Lendo as informações acima tenho noção do que seria a Indústria 4.0, mas não conhecia o termo Indústria 4.0 ou o termo em si”.

E de modo análogo aos entrevistados do Perfil 1 há um desconhecimento em relação ao conceito de Indústria 4.0, entretanto a existência das tecnologias é conhecida por grande parte dos entrevistados.

Pergunta 7 - Existe a necessidade ou oportunidade da utilização de tecnologias da Indústria 4.0 no seu local de trabalho?

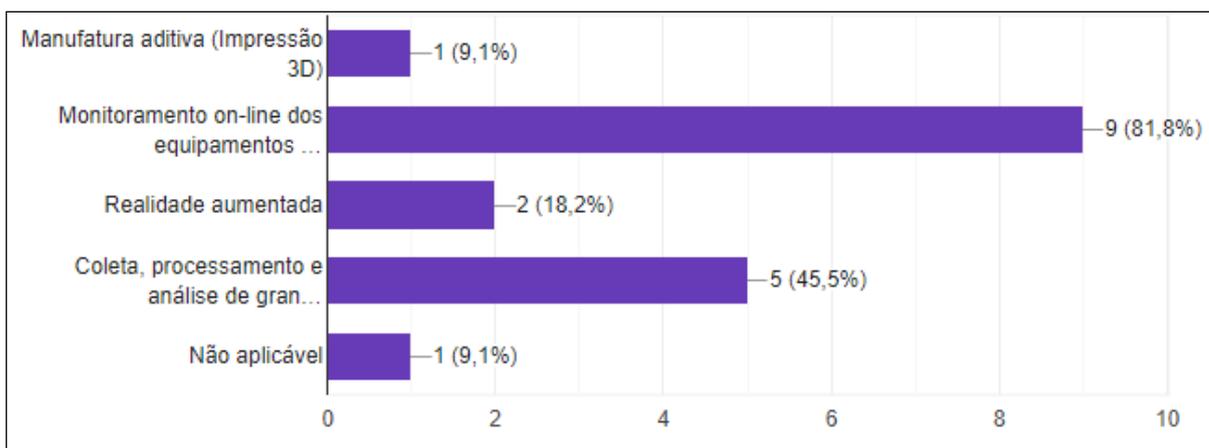


Gráfico 23 - Oportunidade no uso das Tecnologias da Indústria 4.0 na perspectiva da DIMEQ - Fonte: Autor

As explicações complementam as respostas:

“Ter conhecimento sobre o que realmente está instalado e funcionando ou não”.

“A instituição detém vários sistemas e equipamentos que podem ser contemplados com o conceito da indústria 4.0, existem estruturas que necessitam de monitoramento constante para avaliar seu uso e desempenho o qual a internet das coisas poderia ter uma aplicação melhorando sua eficiência, como salas de equipamentos de telecomunicações e rede de dados”.

“Existem equipamentos que são necessários à monitoração 24 horas com coletas de dados. Como exemplos, temos pesquisas em freezers -80°C, geradores e no-breaks que guardam pesquisas de longos anos que em caso de pane no freezers ou em caso de falta de energia por longo período há perdas imensuráveis. É importante salientar que todas as informações seriam importantes monitorá-las em tempo real”.

Nota-se destaque na indicação do “Monitoramento on-line dos equipamentos” como principal oportunidade de implementação das tecnologias da Indústria 4.0. Isso possivelmente se deva à possibilidade de ser possível saber imediatamente se um equipamento deixou de funcionar adequadamente, propiciando assim uma ação imediata. Também há a possibilidade da implantação de ferramentas de manutenção preditiva, para a geração de prognósticos de durabilidade dos equipamentos mais importantes.

Pergunta 8 - Caso uma das respostas da questão anterior seja afirmativa, você identifica alguma dificuldade ou obstáculo na implantação?

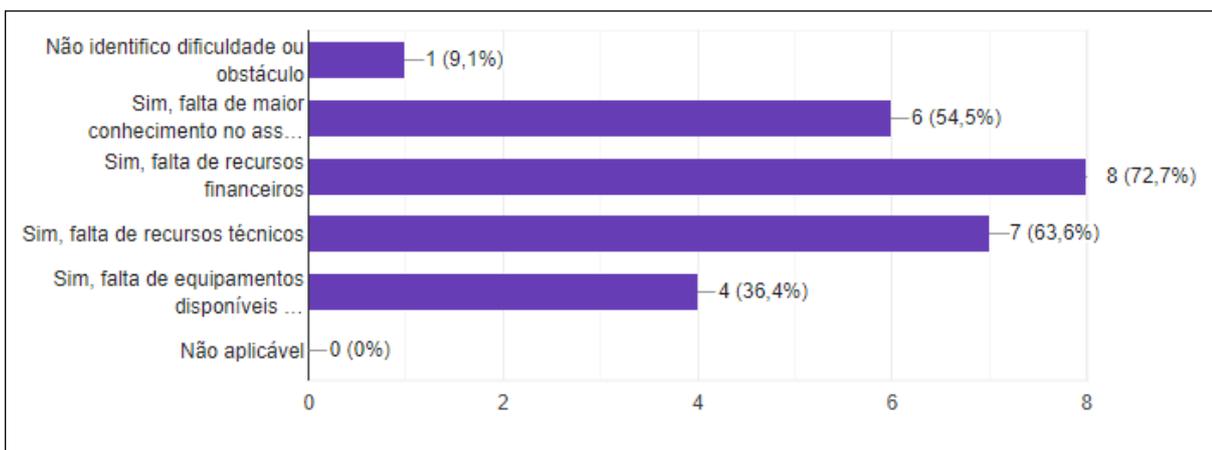


Gráfico 24 - Dificuldades na implementação de tecnologias da Indústria 4.0 - fonte: autor

As explicações fornecidas completam as respostas dadas:

“A incorporação de novas técnicas demanda uma priorização e dedicação à implantação da tecnologia. Devido à sobrecarga de atividades, tais inovações são difíceis de se concretizarem. O ambiente de manutenção é totalmente reativo às falhas. Não há um grupo formado para a pesquisa e desenvolvimento dessas oportunidades advindas da I 4.0”.

“A Indústria 4.0 apesar de ser comum no exterior no Brasil ainda engatinha pois para colocar em prática um sistema deste nível você precisa ter uma internet de qualidade e isso ainda não acontece 100%. Outro problema está relacionado aos recursos que com a crise foram restringidos. Por fim os recursos técnicos ainda são um problema”.

“O que mais dificulta na implementação desse tipo de tecnologia é o apoio por parte da administração superior da UnB e um setor que de fato realize os processos licitatórios com total apoio jurídico e técnico. Desde sempre o principal problema no setor de compras é a junção de uma equipe de fato capacitada para a tomada de decisão em processos que de fato sejam bem realizados com total apoio”.

As respostas a essa pergunta, bem como os seus comentários, mostram um alinhamento em relação à mesma pergunta feita aos servidores do Perfil 1. Onde a “Falta de Conhecimento” e a “Falta de Recursos Técnicos” representou a maior quantidade de respostas.

Pergunta 9 – Conhecimentos sobre Manutenção 4.0

O conceito de Manutenção 4.0 também foi apresentado aos entrevistados do Perfil 2.

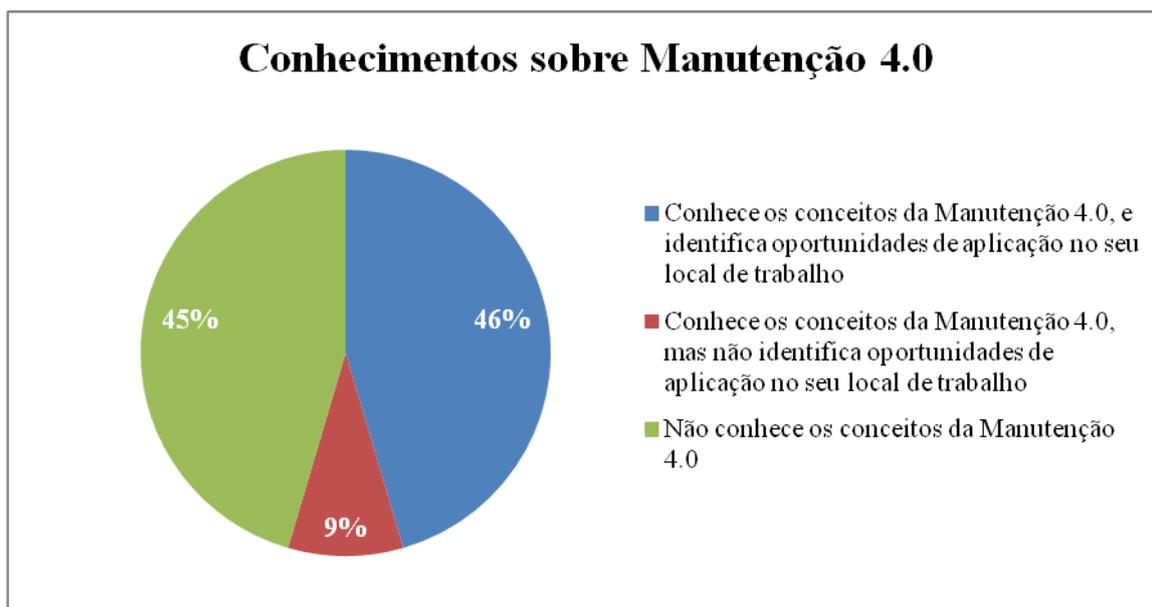


Gráfico 25 - Conhecimentos sobre Manutenção 4.0 - fonte: autor

Sendo que as explicações são:

“Seria interessante mais não seria muito viável pelo valor, por ser um sistema novo no Brasil”.

“Lendo as informações acima tenho noção do que seria a manutenção 4.0, mas não conhecia o termo manutenção 4.0 ou o termo em si”.

Mesmo em grau menor que os entrevistados do Perfil 1, os profissionais da DIMEQ afirmaram não conhecer os conceitos da Manutenção 4.0. E, de forma análoga, quando apresentados aos conceitos também vêm oportunidades na aplicação das novas tecnologias.

Pergunta 10 - Existe a previsão de que os equipamentos que serão adquiridos devam possuir interface IoT/sensoreamento remoto?

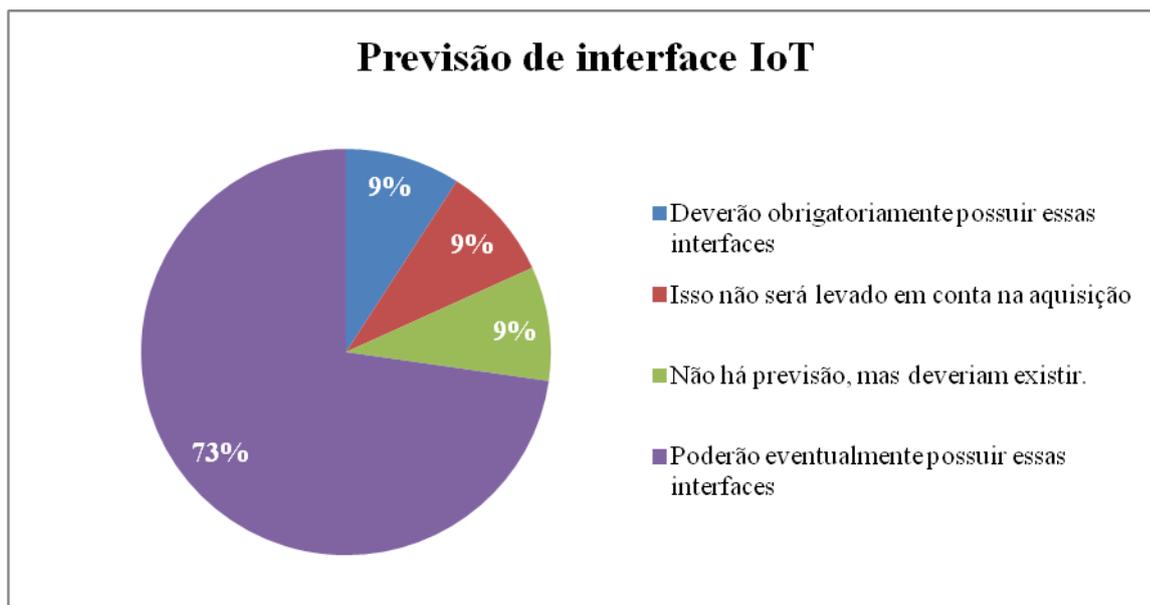


Gráfico 26 - Previsão de interface IoT/Sensoreamento remoto - fonte: autor

As justificativas dadas foram:

“Atualmente estou em apenas um grupo de aquisição de no-breaks. Pode sim ser levado em conta a possibilidade de interfaces que permitam o monitoramento do equipamento”.

“Para facilitar nas análises de defeitos e preventivas e comunicação”.

“Grande parte dos equipamentos da UnB deveriam prever na sua aquisição a interface IoT, contudo, infelizmente o setor que seria responsável por tais implementações é o setor mais excluído da UnB, mesmo sendo o de maior relevância para o ensino, pesquisa e extensão”.

As respostas a essa pergunta, do mesmo modo que as respostas dadas pelos respondentes do Perfil 1, reflete o desconhecimento nos conceitos da Indústria 4.0. Esta situação poderá começar a ser revertida com a divulgação dos conceitos e das tecnologias

habilitadoras da Indústria 4.0, bem como suas aplicações práticas. De modo que os profissionais compreendam as vantagens da sua implantação.

Pergunta 11 - Existe interesse na inclusão da sua seção de trabalho em projetos relacionados à Manutenção 4.0 que venham a ocorrer?

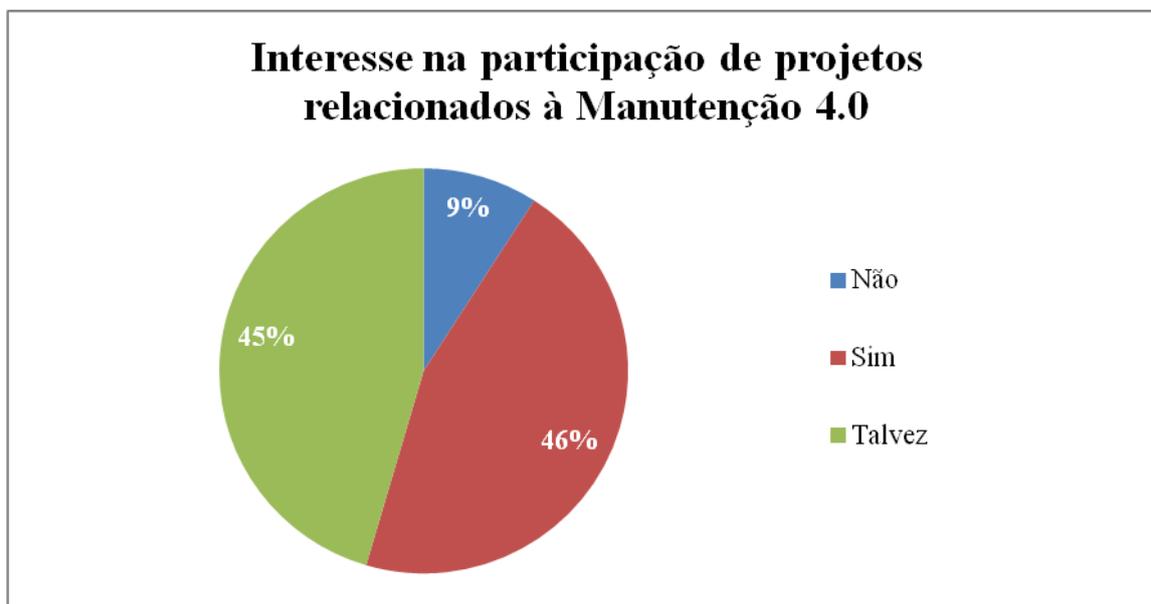


Gráfico 27 - Interesse na participação de projetos relacionados à Manutenção 4.0 - fonte: autor

Os comentários finais dos entrevistados foram:

“Fico bastante orgulhoso de ver que há alguém do meu ambiente de trabalho atuando nesta linha de pesquisa que pode trazer ganhos à administração e benefícios à comunidade acadêmica. Parabéns pela pesquisa e estou à disposição para colaborar com eventuais esclarecimentos e em etapas futuras da pesquisa”.

“O trabalho em questão é de suma importância para a UnB tendo em vista que, segundo informações, o assunto em questão vem sendo debatido, ainda que timidamente, pelos gestores antigos e atuais. Cabe ressaltar que é de extrema importância o assunto e são poucos que conhecem e almejam desenvolver nos seus setores. Por fim, caso fosse implementado na UnB com certeza traria benefícios e custos financeiros no que tange a manutenção de equipamentos.”

Estas respostas, do mesmo modo que as anteriores e de maneira semelhante às obtidas fornecidas pelo Perfil 1 mostram que, mesmo sem conhecer com detalhes as tecnologias,

muitos dos usuários identificam as necessidade e têm interesse na aplicação delas nos equipamentos da UnB.

4.3. Discussão

Os dois perfis, mesmo com diferenças nas suas formações e graus de instrução, demonstraram similaridade nas respostas às perguntas relacionadas tanto ao conhecimento como à implantação das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

As respostas dos dois Perfis diferiram muito em relação à participação das diversas áreas da UnB no processo de aquisição dos equipamentos. Para 41,2% dos entrevistados do Perfil 1 “as outras áreas são envolvidas somente para a instalação do equipamento”, com as seguintes complementações:

“Os equipamentos adquiridos são comprados para atender a demanda do laboratório”.

“As outras áreas somente vêm para registro do patrimônio e manutenção/instalação quando solicitados”.

Já as respostas do Perfil 2 indicam que 63,6% dos profissionais participa dos processos de aquisição, com os seguintes comentários:

“Como colaborador da equipe técnica responsável por sistema específico de comunicação telefônica, precisamos ser consultados e emitir parecer quanto a aquisição de partes e peças destes sistemas que atendem toda a universidade”.

“Sempre participei de quase todos os processos licitatórios de compra de equipamentos, sendo necessário especificá-los tecnicamente bem como suas características”.

Entretanto 36,3% informa não participar do processo de aquisição, complementando que:

“Em alguns casos tenho participação na elaboração do termo de referência para aquisição”.

Contudo, isso é exceção:

“A grande parte das aquisições são feitas a revelia, sem ciência da DIMEQ”.

“A equipe de manutenção infelizmente é a última a saber, só serve para solucionar os problemas originados por projetos incompletos e falha na execução”.

Estas diferenças identificadas podem ser atribuídas à amostragem reduzida das respostas e também aos perfis dos equipamentos atendidos, pois a DIMEQ não realiza a manutenção somente dos equipamentos dos laboratórios, sendo responsável pela manutenção de todos os equipamentos da UnB. Como mencionado, a participação do corpo técnico no processo de especificação dos equipamentos pode antecipar e evitar algumas dificuldades que afetam o serviço de manutenção, tais como grande quantidade de marcas e modelos diferentes para equipamentos semelhantes, e a necessidade de treinamentos específicos para cada fabricante. Também a participação de profissionais que tenham uma visão holística de manutenção e também estejam capacitados com as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 podem auxiliar na disseminação desta cultura dentre os demais profissionais da instituição.

Os profissionais de ambos os perfis identificaram o “Monitoramento *on-line* dos equipamentos existentes” e a “Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (*big data*)” como as principais oportunidades de utilização das tecnologias facilitadoras da Indústria 4.0 na UnB. Em complemento à resposta em relação às tecnologias, os dois grupos, em sua maiorias: 47,1% do Perfil 1 e 72,7% do Perfil 2, informaram que os futuros equipamentos poderão possuir interface IoT ou sensoramento remoto. Entretanto, 41,2% dos entrevistados do Perfil 1 informou que “Isso não será levado em conta na aquisição”, com os seguintes comentários:

“Depende do custo adicional e do recurso do projeto”.

“Já possuímos equipamento com essa função de interfaciamento, porém nossa estrutura não comporta”.

“Devido a não termos maneira de fazer e nem costume com este tipo de informação, muito provável que se eventualmente algum equipamento for adquirido, a presença dessa interface não será levada em consideração. Até porque no serviço público, o preço geralmente é mais importante do que equipamentos que sejam mais modernos”.

Estes comentários refletem a visão dos entrevistados acerca da aquisição de equipamentos. Esta visão é muito comum em relação ao processo de compras em instituições públicas, segundo Costa (1995) “as organizações não davam muita importância para a ‘qualidade’ da sua gerência de compras/materiais. Preocupavam-se unicamente com o preço pago pelos produtos encomendados, sem cuidar dos demais fatores que cercam uma boa compra”. Para Batista e Maldonado (2008) as compras de instituições públicas, assim como das privadas, “buscam o menor preço, com garantia de qualidade; mas a compra pública requer procedimentos específicos para lhe dar eficácia, como, por exemplo, a legislação”. Entretanto, consideram que:

A gestão de suprimentos em instituições públicas, notadamente em instituições de pesquisas científicas, propicia o suprimento constante de materiais necessários para utilização nas pesquisas científicas, tais como: equipamentos de laboratório, produtos químicos e reagentes que, pela sua natureza e especificidades, precisam ter qualidade e comprovada eficácia, já que a utilização de materiais e equipamentos de qualidade duvidosa poderá acarretar respostas inadequadas aos ensaios e experimentos científicos realizados na instituição.

E complementam que:

Os clientes de um setor de compras e licitações são todos que, direta ou indiretamente, necessitam adquirir produtos e/ou serviços para alcançar os resultados almejados. Para isso, é necessário que todos estejam imbuídos e engajados na melhoria do sistema como um todo e, por conseqüência, na maximização dos resultados esperados. Então, é extremamente importante que o setor de compras e licitações leve em consideração esse cliente, uma vez que a sua existência depende da satisfação completa de todos os seus usuários, pois não existe ambigüidade entre a satisfação do usuário e o trabalho realizado pela gestão de suprimentos.

Assim uma descrição mais acertada das necessidades refletirá na aquisição de equipamentos adequados às necessidades, neste aspecto a participação das demais áreas da instituição pode acarretar em aquisições de equipamentos com novos recursos não necessariamente com valor de compra mais elevado.

A Cartilha de Compras 2016 (DECANATO DE ADMINISTRAÇÃO, 2019) tem como objetivo reduzir os problemas e atrasos na instalação de equipamentos, entretanto não possui nenhuma diretiva relacionada às características intrínsecas dos equipamentos. E conforme exposto, entende-se que o envolvimento mais aprofundado de outras áreas, com profissionais capacitados com as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e da Manutenção 4.0, poderiam reduzir esse hiato da adoção das tecnologias facilitadoras da Indústria 4.0 nos equipamentos da UnB.

Foram identificados obstáculos e dificuldades para a implementação destas tecnologias. Ambos os grupos que consideram a “falta de recursos financeiros” e a “falta de recursos técnicos” como principais dificuldades, seguidos de “falta de maior conhecimento no assunto” e “falta de equipamentos disponíveis”. A falta de conhecimentos e de recursos técnicos identificados pelos dois perfis de entrevistados reflete o já identificado na literatura científica, apresentados no item “3.5 Desafios na implementação da Indústria 4.0”; que trás à tona a necessidade da capacitação e habilitação dos profissionais envolvidos na implantação das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, não somente a aquisição e instalação de *hardware* e *software* ou de equipamentos que já possuam as tecnologias instaladas.

A Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2017) ao apresentar suas ‘Propostas de Políticas Direcionadas à Oferta e Demanda da Indústria 4.0’ propõe o ‘Programa de Compras Públicas’ onde “por meio do mecanismo de compras públicas, o governo poderia incentivar a geração e adoção de soluções digitais, ainda que as suas compras não necessariamente se caracterizem como aquisição de produtos industrializados” e que “aquisição de produtos mais inteligentes demandados pelo setor público, principalmente na área de defesa, segurança pública e gestão de sistemas de saúde”. Mesmo sem tratar especificamente de equipamentos utilizados em laboratórios de ensino e pesquisa este raciocínio pode ser utilizado na aquisição dos novos equipamentos ou ainda, na implantação de sistemas de monitoramento de equipamentos já existentes.

As políticas públicas voltadas à Inovação, que por meio da publicação pelo Decreto nº 9.283/2018, que regulamenta o Novo Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei nº 13.243/2016), a partir da Lei nº 10.973/2004 e da Emenda Constitucional no. 85/2015. O Novo Marco legal visa promover as atividades científicas e tecnológicas como estratégicas para o desenvolvimento econômico e social; promover a cooperação e interação entre os entes públicos, entre os setores público e privado e entre empresas; estimular a atividade de inovação nas empresas e nas instituições de ciência e tecnologia (ICTs) e simplificar os procedimentos para gestão de projetos de ciência, tecnologia e inovação e adoção de controle por resultados em sua avaliação.

Ou seja, este Marco Legal abre oportunidades para a integração entre Universidades Públicas ou Privadas, Empresas Privadas, Órgãos da Administração Pública Direta, Agências de Fomento e Serviços Sociais Autônomos (Sistema SENAI, SENAC, SENAR, SEBRAE, etc.) com o objetivo a criação de ambientes promotores da inovação para estimular, entre outras coisas, o desenvolvimento de novas tecnologias e aplicações, bem como em relação às necessidades de

treinamento e capacitação necessários para habilitar estudantes, trabalhadores da iniciativa privada e servidores na pesquisa e desenvolvimento e também na utilização e operação destas novas tecnologias. Indo ao encontro da necessidade exposta pela CNI (2017).

Finalmente, foi identificada uma grande aceitação em participar de projetos futuros relacionados à implantação das tecnologias habilitadoras da Manutenção 4.0 nos seus locais de trabalho, sejam os seus laboratórios ou em equipamentos críticos atendidos pela sua seção. A soma das respostas “Sim” e “Talvez” foi 94,1% no Perfil 1 e 91% no Perfil 2.

4.4. Análise qualitativa dos dados e sugestões de incorporação de conceitos de Indústria 4.0 na Universidade de Brasília

As respostas dadas à pesquisa mostram a necessidade do monitoramento dos equipamentos críticos da UnB, tanto dos laboratórios como equipamentos críticos para as atividades-meio, isto é, aquelas não relacionadas diretamente com ensino, pesquisa ou extensão, tais como geradores de energia elétrica, centrais telefônicas, *racks* de internet, etc.

Neste contexto, um primeiro passo que pode ser sugerido é a instalação de sensores nestes equipamentos para monitorar o seu funcionamento e o seu desempenho, fornecendo avisos no caso do seu mau funcionamento. Esta proposta vai ao encontro do primeiro nível de implementação de um CPS, proposto por Lee, et al. (2015); descrito no item 3.3 Sistemas Ciber Físicos.

Também se faz necessário um mapeamento dos processos relacionados à aquisição de equipamentos de modo a envolver a área responsável pela manutenção dos equipamentos no processo decisório de aquisição e também revisão nos processos de planejamento das manutenções preventivas dos equipamentos da UnB.

Atualmente a escolha dos equipamentos, bem como das suas características, é realizada pelo setor que os estão adquirindo; sendo que conforme as normas internas da instituição se fazem necessário somente um laudo para a instalação destes equipamentos. A participação das demais áreas da instituição, em especial da DIMEQ, só ocorre quando os responsáveis pela aquisição vêm a necessidade deste envolvimento.

5. Conclusões

Esta pesquisa teve como objetivo verificar se as técnicas que caracterizam a Indústria 4.0 e a Manutenção 4.0 podem ser utilizadas em um ambiente de manutenção de equipamentos dentro de uma Universidade Pública Federal. Para responder a esta pergunta foi verificado o estágio onde se encontra a pesquisa científica relacionada a estes assuntos, apresentada no Capítulo 3.

O Capítulo 3 abordou a literatura existente relacionada à Indústria 4.0 e às suas tecnologias facilitadoras, dentre elas destaca-se a IoT que se desdobra na IoS. Dentro da IoS, sendo considerada um dos serviços que estão surgindo com as novas tecnologias está a Manutenção 4.0, ou *Smart Maintenance*.

Foi realizada análise aprofundada da Manutenção 4.0 utilizando-se de uma análise bibliométrica da Manutenção 4.0, com o objetivo de descrevê-la através desta metodologia, mostrando a evolução deste tema em paralelo ao desenvolvimento da Indústria 4.0. Também trouxe os potenciais e desafios da Manutenção 4.0, que serviram para nortear a elaboração do questionário aplicado.

Neste mesmo capítulo foi destacada a evolução da manutenção industrial, que evolui na mesma direção que as revoluções industriais, porém um passo atrás desta, em relação à aplicação de suas tecnologias. Também foram identificadas as principais modalidades de manutenção, tendo sido identificada relação entre a manutenção preditiva, com a coleta de dados *on line* com algumas tecnologias facilitadoras que permitem uma maior eficiência desta modalidade de manutenção.

Com base nesta pesquisa foram formulados questionários para a avaliação da percepção dos servidores, tanto usuários dos serviços de manutenção, servidores responsáveis pelos laboratórios científicos; como os servidores responsáveis pela execução ou fiscalização dos serviços de manutenção da Universidade. Esta pesquisa e seus resultados foram apresentados no Capítulo 4.

Esta pesquisa quantitativa demonstrou que há uma demanda por novas tecnologias e há interesse dos dois grupos em participar do desenvolvimento de soluções utilizando as novas tecnologias que fundamentam a Indústria 4.0 e a Manutenção 4.0. Em uma entrevista à Revista *Business Week* em maio de 1998, Steve Jobs disse “Muitas vezes, as pessoas não sabem o que querem até você mostrar a elas”; Esta frase ilustra a situação atual da Indústria e Manutenção 4.0. Onde muitos usuários em potencial desconhecem as tecnologias e as aplicações práticas que podem influenciar de maneira positiva as suas atividades.

Também foram identificadas que as dificuldades na implantação das tecnologias, apontadas pelos dois grupos são semelhantes: a falta de recursos na aquisição de equipamentos e também na falta de conhecimento específico relacionado às tecnologias da Indústria 4.0.

Em continuidade a esta pesquisa foi identificado que existe campo para novas pesquisas no desenvolvimento de soluções da própria UnB no campo da Manutenção 4.0, ao mesmo tempo em que mostrou uma necessidade maior do envolvimento das áreas de suporte da UnB nos processos de compra de equipamentos, para que estas não sejam responsáveis pelo apenas pelo patrimoniamto e instalação dos equipamentos, podendo antecipar problemas na instalação destes. Identificou-se a necessidade de uma maior integração das áreas de suporte, como a de manutenção, por exemplo, nos processos de aquisição de equipamentos científicos, não somente para verificar as necessidades para a instalação dos equipamentos e sim atuar no processo de definição das necessidades.

Além disso, também em seguimento a este trabalho, propõe-se uma sistematização e unificação das iniciativas relacionadas à Indústria 4.0 na UnB com o objetivo de unir e direcionar as pesquisas e projetos, também buscando apoio e fomento; pois estes, além de projetos acadêmicos, podem se tornar oportunidades de negócio tais como *Startups*.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, T. D.; CAVALCANTE, C. G. S.; FETTERMANN, D. C.: **Indústria 4.0: tecnologias e nível de maturidade de suas aplicações**. In: 11º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto. Editora Blucher. 2017
- ASHBY, M. J.; SCHEUREN, W. J. **Intelligent maintenance advisor for turbine engines**. IEEE Aerospace Conference. 2000
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994
- BAHETI R, GILL H., **Cyber-physical systems**. The Impact of Control Technology. 2011
- BANGEMANN T.; REBEUF, X.; REBOUL D.; SCHULZE A.; SZYMANSKI J.; THOMESSE J.-P.; THRON M.; ZERHOUNI N. **PROTEUS - Creating distributed maintenance systems through an integration platform**. Computers in Industry. 2006
- BARBALHO, S. C. M.; NITZCHE, M. C. M.; DANTAS, A. S. **MELHORIA DE PROCESSOS NA GESTÃO PÚBLICA: UMA PESQUISA-AÇÃO COM FOCO NAS ATIVIDADES ADMINISTRATIVAS DE UM PROGRAMA DE INTERCÂMBIO ESTUDANTIL DE UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA**. Revista Produção Online 17 (2), 406-439. 2017.
- BATISTA, M. A. C.; MALDONADO, J. M. S. V. **O papel do comprador no processo de compras em instituições públicas de ciência e tecnologia em saúde (C&T/S)**. Revista de Administração Pública. 2008
- BOUSDEKIS, A.; MAGOUTAS, B.; APOSTOLOU, D.; MENTZAS G. **A proactive decision making framework for condition-based maintenance**. Industrial Management and Data Systems, 2015
- BRASIL, **Decreto nº 9.283/2018**, que regulamenta o Novo Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei nº 13.243/2016). Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9283.htm>. Acesso em 02/08/2019.
- BRASIL, **Lei 8.666 de 21 de junho de 1993**. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18666cons.htm>. Acesso em 19/06/2019.
- BREUKER, M.; ROSSI, T.; BRAUN, J. **Smart maintenance for rooftop units**. ASHRAE Journal, 2000
- CARVALHO, E.; FILHO, N. **Proposta de um sistema de aprendizagem móvel com foco nas características e aplicações práticas da indústria 4.0**. RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação. 2018
- CHEN K.-Y.; CHEN L.-S.; CHEN M.-C.; LEE C.-L. **Using SVM based method for equipment fault detection in a thermal power plant**. Computers in Industry. 2011
- CIVERCHIA, F.; BOCCHINO, S.; SALVADORI, C.; ROSSI, E.; MAGGIANI, L.; PETRACCA, M. **Industrial Internet of Things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications**, Journal of Industrial Information Integration 7. 2017
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Oportunidades para a indústria 4.0 : aspectos da demanda e oferta no Brasil**. CNI. 2017.

COMPUTERS IN INDUSTRY. Disponível em < <https://www.journals.elsevier.com/computers-in-industry>>. Acesso em 09/06/2019.

COSTA, R. F. **Avaliando compras: como medir o desempenho de um departamento de compras**. São Paulo: DFC, 1995.

DECANATO DE ADMINISTRAÇÃO. Cartilha de Compras 2016. Disponível em <http://www.daf.unb.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=31:cartilhas&Itemid=690>, acessado em 31/07/2019.

DENYER, D.; TRANFIELD, D. **Producing a Systematic Review**. In **The Sage Handbook of Organizational Research Methods**, edited by D. Buchanan, and A. Bryman, 671–689. London: Sage Publications. 2009.

DIMEQ. Disponível em <<http://www.prc.unb.br/index.php/diretoria-de-manutencao-de-equipamentos-dimeq>>. Acessado em 18/06/2019.

ELSEVIER. **SCOPUS: Sobre a solução Scopus**. 2019. Disponível em: < <https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus>>. Acesso em: 21 jul. 2019.

ESPÍNDOLA D. B.; FUMAGALLI, L.; GARETTI, M.; PEREIRA, C. E.; BOTELHO, S. S. C.; VENTURA HENRIQUES, R. **A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality**. Computers in Industry. 2013

EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS. Disponível em < <https://www.journals.elsevier.com/expert-systems-with-applications>>. Acesso em 09/06/2019

FARIA, N. **Elaboração e implementação de um plano geral de manutenção preditiva, preventiva e curativa**. Dissertação (Mestrado em Empresa) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

FERREIRO, S.; KONDE, E.; FERNANDÉZ, S.; PRADO, A. **INDUSTRY 4.0: Predictive Intelligent Maintenance for Production Equipment** - Third European Conference of the Prognostics and Health Management Society. 2016

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D. T. (organizadoras); **Métodos de Pesquisa**, coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo curso de graduação tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4^a Ed. São Paulo, Atlas. 2002

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas. 2008

Gubbi, J.; Buyya, R.; Marusic, S.; Palaniswami, M. **Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions**. Future Generation Computer Systems. 2013.

HAN T.; YANG B.-S. **Development of an e-maintenance system integrating advanced techniques**. Computers in Industry 2006

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. **Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics**. Computers in Industry. 2017

IFAC – Papers On Line. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/journal/ifac-persononline/about/aims-and-scope>>. Acesso em 09 de junho de 2019.

HAN, T.; YANG, B. S. **Development of an e-maintenance system integrating advanced techniques**. Computers in Industry. 2006

INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL AND SYSTEMS ENGINEERING. Disponível em <<https://www.inderscience.com/jhome.php?jcode=ijise>>. Acesso em 09/06/2019.

INTERNATIONAL JOURNAL OF PERFORMABILITY ENGINEERING. Disponível em <<http://www.ijpe-online.com/#axzz5qNuBCUpu>>. Acesso em 09/06/2019.

INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEM ASSURANCE ENGINEERING AND MANAGEMENT. Disponível em <<https://link.springer.com/journal/13198>>. Acesso em 09/06/2019.

IUNG, B. **From remote maintenance to MAS-based e-maintenance of an industrial process**. Journal of Intelligent Manufacturing. 2003

IUNG B.; LEVRAT E.; MARQUEZ A.C.; ERBE H. **Conceptual framework for e-Maintenance: Illustration by e-Maintenance technologies and platforms**. Annual Reviews in Control. 2009

JANTUNEN, E.; EMMANOULIDIS, C.; ARNAIZ, A.; GILABERT, E. **e-Maintenance: trends, challenges and opportunities for modern industry**. Proceedings of the 18th World Congress - The International Federation of Automatic Control Milano (Italy) August 28 - September 2, 2011

JISUANJI JICHENG ZHIZAO XITONG/COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING SYSTEMS, CIMS. Disponível em <<https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=22679&tip=sid>>. Acesso em 09/06/2019

JOURNAL OF APPLIED ENGINEERING SCIENCE. Disponível em <<http://www.engineeringscience.rs/>>. Acesso em 09/06/2019.

JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING. Disponível em <<https://link.springer.com/journal/10845>>. Acesso em 09/06/2019.

JOURNAL OF MANUFACTURING TECHNOLOGY MANAGEMENT. Disponível em <<http://emeraldgrouppublishing.com/products/journals/journals.htm?id=jmtm>>. Acesso em 09/06/2019.

JOURNAL OF QUALITY IN MAINTENANCE ENGINEERING - Emerald Insight. Disponível em <<http://emeraldgrouppublishing.com/products/journals/journals.htm?id=jqme>>. Acesso em 09/06/2019.

JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY. Disponível em <<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?show=aimsScope&journalCode=tjor20>>. Acesso em 09/06/2019.

LECTURE NOTES IN MECHANICAL ENGINEERING. Disponível em <<https://www.springer.com/series/11236>>. Acesso em 09/06/2019.

KAGERMANN, H.; LUKAS, W.; WAHLSTER, W. **Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution**. VDI Nachrichten. 2011

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0**. Berlin: Industrie 4.0 Working Group of Acatech. 2013

KARDEC, A; NASCIF, J. Manutenção – **Função Estratégica**. Qualitymark. 2006

KOBBACY, K. A. H; PROUDLOVE, N. C., HARPER, M.A. **Towards an Intelligent Maintenance Optimization System**. Journal of the Operational Research Society. 1995

- KOSIERADZKA, A. **Maturity Model for Production Management**. Procedia Engineering, 182: 342349. 2017
- KWAK, Y. H.; IBBS, C. W. **Project Management Process Maturity (PM) 2 Model**. Journal of Management in Engineering. 2002
- LABIB, A. W.; WILLIAMS, G.B., O'CONNOR, R.F. **An intelligent maintenance model (system): an application of the analytic hierarchy process and a fuzzy logic rule-based controller**. Journal of the Operational Research Society. 1998
- LEE, E. A., **Cyber Physical Systems: Design Challenges** 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), pp. 363-369, 2008.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. **Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems**, Manufacturing Letters 3. 2015
- LEE, J.; NI, J.; DJURDJANOVIĆ, D.; QIU, H.; LIAO, H. **Intelligent prognostics tools and e-maintenance**. Computers in Industry. 2006
- LI, J. R.; TAO, F; CHENG, Y, ZHAO, L.J. **Big Data in product lifecycle management**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015
- LIMA, F. A.; CASTILHO, J. C. N. **Aspectos da manutenção de equipamentos científicos da Universidade de Brasília**. Monografia (Especialização em Desenvolvimento Gerencial) – Universidade de Brasília. 2006.
- LEVINE, D.; STEPHAN, D.; SZABAT, K. **Estatística: teoria e aplicações**. 5. ed. Rio de Janeiro: TLC, 2008.
- LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; EDUARDO LOURES, E. F. R.; RAMOS, L. F. P. **Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal**, International Journal of Production Research. 2017
- LEVRAT E.; IUNG B.; CRESPO MARQUEZ A. **E-maintenance: Review and conceptual framework**. Production Planning and Control. 2008.
- LUCATELLI, M. V. **Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Equipamentos Médico-Hospitalares**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.
- MARHAUG, A.; SCHJØLBERG P. **Smart Maintenance - Industry 4.0 and Smart Maintenance: from Manufacturing to Subsea Production Systems**. International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation (IWAMA). 2016
- MÁRQUEZ A. C.; DE LEÓN P. M.; FERNANDEZ J. F. G.; MÁRQUEZ C. P.; Campos M. L. **The maintenance management framework: A practical view to maintenance management**. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 2009
- MATTAR, F. **Pesquisa de marketing**. Ed. Atlas. 1996.
- MAYNARD, A. D. **Navigating the Fourth Industrial Revolution**. Nature Nanotechnology 10 (12). 2015
- MÓNICO, L.; ALFERES, V.; PARREIRA, P.; CASTRO, P. A. **A Observação Participante enquanto metodologia de investigação qualitativa**. CIAIQ - ISQR2017 – International Symposium on Qualitative Research. 2017.

MOORE W.J.; STARR A.G. **An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities**. Computers in Industry. 2006

MOTTA, C. A. P. **Qualidade das obras públicas em função da interpretação e prática dos fundamentos da lei 8.666/93 e da legislação correlata**. Santa Maria, RS: Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul, 2005.

MULLER, A.; CRESPO MARQUEZ, A.; IUNG, B. **On the concept of e-maintenance: Review and current research**. Reliability Engineering and System Safety. 2008

MULLER A.; SUHNER M.C.; IUNG B., **Formalisation of a new prognosis model for supporting proactive maintenance implementation on industrial system**. Reliability Engineering and System Safety. 2008

OLIVEIRA, S.; BARBOSA, E.; RESENDE, I.; SILVA, R., ALBUQUERQUE, L. **Bibliometria em artigos de contabilidade aplicada ao setor público**. In: Congresso Brasileiro de Custos, 20., 2013, Uberlândia. Anais. São Leopoldo: Associação Brasileira de Custos, 2013.

PAULK, M.; CURTIS, B.; CHRISSIS, M. B.; WEBER, C. V. **Capability Maturity Model for Software**. Encyclopedia of Software Engineering. 1993

PRESIDENT'S COUNCIL OF ADVISORS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2014: **Accelerating U.S. Advanced Manufacturing: Report to the President**. Disponível em https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/amp20_report_final.pdf. Acesso em 23.01.2019.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PRODUCTIVITY MANAGEMENT. Disponível em <<http://verlag.gito.de/>>. Acesso em 09/06/2019

QIN, H.; WU, F.; PENG, S.; GE, L.; YOU T. **New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid**. Dianli Xitong Baohu yu Kongzhi/Power System Protection and Control. 2015.

SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER J.; TEN HOMPEL, M.; WAHLSTER, W. (Eds.): **Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY)**. Munich: Herbert Utz Verlag 2017.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W., 2016 **A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises**. Procedia CIRP. 2016.

SHEPARD, S. B. (Editor Chefe). **Business Week**. Maio 1998.

SILVA, R. M. DA; SANTOS FILHO, D. J.; MIYAGI, P. E. **Modelagem de Sistema de Controle da Indústria 4.0 Baseada em Holon, Agente, Rede de Petri e Arquitetura Orientada a Serviços**. XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Natal. 2015.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. Manual de Implementação. Qualimark. 2005.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JONHSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo, Editora Atlas, 2002.

STANKOVIC, J. **Research Directions for the Internet of Things**, Ieee Internet Of Things Journal, Vol. 1, No. 1, February 2014

STROZZI, F.; COLICCHIA, C.; CREAZZA, A.; NOÈ, C. **Literature review on the ‘Smart Factory’ concept using bibliometric tools**. International Journal of Production Research. 2017.

SURVEYMONKEY. Calcule o tamanho da sua amostra. Disponível em <https://pt.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/?ut_source1=mp&ut_source2=margin_of_error_calculator>. Acesso em 16/05/2019.

TRIVIÑOS, A. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, UnB. **Anuário Estatístico** 2018.

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. Software survey: **VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping**. Scientometrics. 2010.

VAN DIJKHUIZEN, G.; VAN HARTEN, A. **Optimal clustering of frequency-constrained maintenance jobs with shared set-ups**. European Journal of Operational Research. 1997.

WEB OF SCIENCE. **About Web of Science**. Disponível em <http://www.webofsciencegroup.com/?utm_source=false&utm_medium=false&utm_campaign=false>. Acesso em 21/07/2019.

YIN, R. K., **Estudo de caso: planejamento e métodos**, Bookman, 2001.

YU, R.; IUNG, B.; PANETTO, H., **A multi-agents based E-maintenance system with case-based reasoning decision support**. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2003.

YOKOYAMA, A., **Innovative changes for maintenance of railway by using ICT - To Achieve “Smart Maintenance”**, The Fourth International Conference on Through-life Engineering Services. 2015.

ZHENG, H.M. **System framework for next-generation e-maintenance systems**. Zhongguo Jixie Gongcheng/China Mechanical Engineering. 2001.

ZHONGGUO JIXIE GONGCHENG/CHINA MECHANICAL ENGINEERING. Disponível em <<http://www.cmemo.org.cn/EN/column/column81.shtml>>. Acesso em 09/06/2019.

ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L. **Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges**. In: 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery – FSKD, Zhangjiajie. IEEE, 2015.

ZWF ZEITSCHRIFT FUER WIRTSCHAFTLICHEN FABRIKBETRIEB. Disponível em <<https://www.hanser-elibrary.com/loi/zwf>>. Acesso em 09/06/2019.

ANEXOS

Anexo 1 – Listagem Laboratórios da UnB

Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (Ceftru)

Laboratório de Avaliação Civil
Laboratório de Engenharia Rodoviária
Laboratório de Ensino e Aprendizagem em Transportes
Laboratório de Informação
Laboratório de Monitoramento e Controle Ambiental em Transportes
Laboratório de Sistemas
Laboratório de Tecnologia de Transporte e Tráfego
Laboratório de Trânsito

Centro de Pesquisa e Pós-Graduação sobre as Américas (CEPPAC)

Laboratório de Informática

Centro de Produção Cultural e Educativa (CPCE)

Ilha de Computação Gráfica
Ilha de Edição de Vídeos

Centro Internacional de Física da Matéria Condensada (CIFMC)

Laboratório de Informática
Laboratório de Supercondutividade

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV)

Laboratório de Agroclimatologia
Laboratório de Anatomia dos Animais Domésticos I e II
Laboratório de Bovinocultura de corte
Laboratório de Bovinocultura de leite
Laboratório de Bromatologia e Tecnologia de Alimentos
Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos
Laboratório de Estudos de Agronegócio
Laboratório de Fábrica de Ração
Laboratório de Física do Solo
Laboratório de Fruticultura
Laboratório de Geoprocessamento
Laboratório de Hidráulica Aplicado ao Agroambiente
Laboratório de Melhoramento Animal
Laboratório de Microbiologia de Alimentos
Laboratório de Microbiologia do Solo
Laboratório de Microbiologia Médica Veterinária
Laboratório de Microbiologia Molecular
Laboratório de Multiuso Veterinária
Laboratório de Nutrição Animal
Laboratório de Ovinocultura
Laboratório de Parasitologia Veterinária e Doenças Parasitárias
Laboratório de Patologia Clínica de Veterinária
Laboratório de Patologia Veterinária

Laboratório de Química de Solos
Laboratório de Reprodução Animal
Laboratório de Substratos/Adubos
Laboratório de Técnica Cirúrgica
Laboratório de Tecnologia de Sementes
Laboratório Logística para Agricultura
Laboratórios de Ensinos Metabólicos (Animal House)

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU)

Laboratório de Controle Ambiental
Laboratório de Ensino de Projeto Assistido por Computador
Laboratório de Estudos Computacionais em Projetos
Laboratório de Informática em Arquitetura e Urbanismo
Laboratório de Modelos Reduzidos
Laboratório de Teoria e Prática Urbana
Laboratório do Ambiente Construído, Inclusão e Sustentabilidade

Faculdade de Ciências da Saúde (FS)

Centro de Informação e Informática em Saúde
Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos 1
Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos 2
Laboratório de Antropologia da Saúde e da Doença
Laboratório de Avaliação Nutricional
Laboratório de Biocompatibilidade de Materiais
Laboratório de Bioética
Laboratório de Bioquímica da Nutrição
Laboratório de Bromatologia
Laboratório de Controle de Qualidade em Medicamentos
Laboratório de Enfermagem
Laboratório de Ensaios Químicos em Farmácia
Laboratório de Epidemiologia
Laboratório de Ergonomia Lógica
Laboratório de Farmacodinâmica
Laboratório de Farmacognosia
Laboratório de Farmacologia Molecular
Laboratório de Fotografia e Documentação
Laboratório de Higiene dos Alimentos 1
Laboratório de Higiene dos Alimentos 2
Laboratório de Histopologia Bucal
Laboratório de Informação e Informática em Saúde
Laboratório de Pesquisa em Prótese Dentária e Odontopediátrica
Laboratório de Pesquisa Multidisciplinar de Odontologia
Laboratório de Pré-Clínica Odontológica
Laboratório de Saúde do Trabalhador
Laboratório de Técnica Dietética
Laboratório de Técnicas Básicas de Enfermagem
Laboratório de Toxicologia

Faculdade de Comunicação (FAC)

Laboratório de Áudio Visual
Laboratório de Fotografia
Laboratório de Informática
Laboratório de Jornalismo Campus
Laboratório de Publicidade
Laboratório de Rádio

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação (Face)

Laboratório de Contabilidade Pública
Laboratório de Especialização
Laboratório de Informática Documentária
Laboratório de Informática e Técnicas Administrativas do Programa de Pós-Graduação em Administração (LITA-PPGA)
Laboratório de Práticas Contábeis
Laboratório de Sistemas de Informação e Ensino de Administração (LISA-ADM)

Faculdade de Educação Física (FEF)

Laboratório de Biomecânica do Movimento
Laboratório de Cineantropometria
Laboratório de Controle Motor
Laboratório de Fisiologia do Exercício Anaeróbico
Laboratório de Informática
Laboratório de Psicologia do Esporte, Esporte e Sociedade

Faculdade de Medicina (FM)

Centro de Pesquisa em Doença Celíaca
Laboratório Cardiovascular
Laboratório de Anatomia Humana
Laboratório de Anestesiologia
Laboratório de Aparelho Digestivo
Laboratório de Aparelho Respiratório
Laboratório de Biomecânica
Laboratório de Cirurgia Experimental
Laboratório de Clínica Cirúrgica Pediátrica (HUB)
Laboratório de Dermatologia/Micologia
Laboratório de Endocrinologia
Laboratório de Entomologia
Laboratório de Farmacologia
Laboratório de Genética Aplicada
Laboratório de Genética Clínica
Laboratório de Ginecologia e Obstetrícia (HUB)
Laboratório de Hematologia
Laboratório de Histologia e Embriologia
Laboratório de Imunologia
Laboratório de Imunopatologia
Laboratório de Malária
Laboratório de Medicina Interna
Laboratório de Nefrologia
Laboratório de Neurocirurgia

Laboratório de Otopatologia
Laboratório de Parasitologia
Laboratório de Patologia
Laboratório de Pediatria
Laboratório de Psiquiatria
Laboratório Multidisciplinar de Pesquisa em Doença de Chagas

Faculdade de Tecnologia (FT)

Laboratório de Análise de Água
Laboratório de Antenas
Laboratório de Atuadores e de Controle de Processos por Computador
Laboratório de Automação e Controle
Laboratório de Automação e Robótica
Laboratório de Circuitos Elétricos
Laboratório de Computação
Laboratório de Comunicações Ópticas
Laboratório de Controle Dinâmico por Computador
Laboratório de Conversão de Energia
Laboratório de Dendrologia
Laboratório de Eletromagnetismo
Laboratório de Eletrônica
Laboratório de Energia e Ambiente
Laboratório de Ensaio Materiais
Laboratório de Estruturas de Microondas e Ondas Milimétricas
Laboratório de Estruturas e Construção Civil
Laboratório de Geotecnia
Laboratório de Hidráulica
Laboratório de Hidrometria e Climatologia
Laboratório de Informática Industrial
Laboratório de Linhas de Fitas
Laboratório de Manejo Florestal
Laboratório de Maquinas Elétricas
Laboratório de Materiais Elétricos e Magnéticos
Laboratório de Mecânica Computacional
Laboratório de Mecânica dos Fluidos
Laboratório de Metalografia
Laboratório de Metrologia
Laboratório de Metrologia Dinâmica
Laboratório de Núcleo de Multimídia e Internet
Laboratório de Preservação de Madeira
Laboratório de Processamento Digital de Sinais
Laboratório de Processos de Fabricação
Laboratório de Projeto de Circuitos Integrados
Laboratório de Propriedades Físicas e Análise de Carvão Vegetal
Laboratório de Redes de Comunicação I
Laboratório de Redes de Comunicação II
Laboratório de Redes de Comunicação III

Laboratório de Redes de Comunicação IV
Laboratório de Roteamento e Qualidade de Serviço
Laboratório de Segurança Ambiental
Laboratório de Segurança da Informação
Laboratório de Sementes Florestais
Laboratório de Sensores
Laboratório de Sistemas Digitais
Laboratório de Soldagem e Fundição
Laboratório de Telecomunicações
Laboratório de Termociências
Laboratório de Tratamento de Superfícies e Dispositivos
Laboratório de Usinagem
Laboratório de Vibrações
Laboratório de Viveiro Florestal
Laboratório Experimental de Tensões

Faculdade Educação (FE)

Laboratório de Capacitação de Informática de Ensino Superior
Laboratório de Ensino de Ciências
Laboratório de Ensino Especial
Laboratório de Informática Aplicada ao Ensino Superior
Laboratório de Rede Telemática
Laboratório de Tecnologia Educacional

Fazenda Água Limpa (FAL)

Laboratório de Carbonização de Madeira, Imunização de Madeira
Laboratório de Construções Rurais, Irrigação e Drenagem
Laboratório de Ecologia
Laboratório de Eletrificação Rural
Laboratório de Primatologia
Laboratório de Sementes
Laboratório de Viveiro Florestal
Laboratório de Zootecnia

Instituto de Artes (IdA)

Ateliê Calcogravura
Ateliê Contínuo
Ateliê de Forja e Fundição
Ateliê de Litografia
Ateliê de Serigrafia
Ateliê de Xilogravura
Laboratório da Imagem e Som
Laboratório de Animações
Laboratório de Arte Contemporânea
Laboratório de Arte Educação e Visualidade (LIGO)
Laboratório de Banco de textos, Tese e Vídeos Cênicos
Laboratório de Caracterização
Laboratório de Cenografia
Laboratório de Centro de Documentação Eros Volúcia

Laboratório de Cognição Musical
Laboratório de Composição Musical
Laboratório de Coreografia
Laboratório de Desing de Interfaces
Laboratório de Desing Sustentável
Laboratório de Dramaturgia e Imaginação Dramática
Laboratório de Educação Musical
Laboratório de Formas Animadas
Laboratório de Foto e Vídeo
Laboratório de Gráfica Experimental
Laboratório de Iluminação
Laboratório de Informática
Laboratório de Informática Musical
Laboratório de Interação Vídeo e Computação Gráfica
Laboratório de Licenciatura em teatro
Laboratório de Música e Cena
Laboratório de Música Eletroacústica
Laboratório de Núcleo de Desenvolvimento de Design
Laboratório de Núcleo de Inovação Desenvolvimento de Produtos
Laboratório de Núcleo de Jóias e Inovação
Laboratório de Oficina de Modelos e Protótipos
Laboratório de Percepção Musical
Laboratório de Pesquisa em Arte e Realidade Virtual - Kennetic World
Laboratório de Pesquisa em Arte e Realidade Virtual - perceptos e afectos
Laboratório de Pesquisa em Performance Musical
Laboratório de Poética Contemporânea
Laboratório de Processos Composicionais para a Cena
Laboratório de Sonoplastia
Laboratório de Teatral
Laboratório de Teatro da Voz
Laboratório de Técnica de Gravação
Laboratório de Tipografia
Laboratório Virtual de Pesquisa em Arte

Instituto de Ciência Política (Ipol)

Sala de Informática

Instituto de Ciências Biológicas (IB)

Laboratório de Anatomia Vegetal
Laboratório de Biofísica
Laboratório de Biologia Molecular
Laboratório de Bioquímica
Laboratório de Bioquímica e Química Proteínas
Laboratório de Botânica
Laboratório de Coleção
Laboratório de Coleópteros
Laboratório de Ecologia
Laboratório de Ecologia e Malacologia

Laboratório de Enzimologia
Laboratório de Evolução
Laboratório de Fisiologia Vegetal
Laboratório de Fitopatologia
Laboratório de Genética
Laboratório de Herbário
Laboratório de Herpetologia
Laboratório de Limnologia
Laboratório de Microbiologia
Laboratório de Microscopia Eletrônica
Laboratório de Morfologia e Morfogênese
Laboratório de Neurobiologia
Laboratório de Neurociências e Comportamento
Laboratório de Patologia Florestal
Laboratório de Termobiologia
Laboratório de Toxinologia
Laboratório de Zoologia
Laboratório Integrado

Instituto de Ciências Exatas (IE)

Laboratório de Cálculo Numérico
Laboratório de Computação
Laboratório de Computação Gráfica
Laboratório de Computação Multimídia
Laboratório de Engenharia de Software
Laboratório de Ensino
Laboratório de Estatística e Métodos Quantitativos
Laboratório de Informática – ICC
Laboratório de Informática Aplicação Avançada
Laboratório de Informática Aplicações
Laboratório de Informática Genética
Laboratório de Informática Gerência de Redes
Laboratório de Informática Prog. Básica
Laboratório de Informática Servidores
Laboratório de Processamento de Imagens
Laboratório de Raciocínio Automatizado
Laboratório de Sistemas Integrados e Concorrentes
Laboratório do IE

Instituto de Ciências Humanas (IH)

Laboratório de Cartografia e Fotointerpretação
Laboratório de Centro de Cartografia Aplicada e Informação Geográfica - CIGA
Laboratório de Climatologia Geográfica - LCGea
Laboratório de Geografia Física
Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais

Instituto de Ciências Sociais (ICS)

Laboratório de Antropologia da Ciência e da Técnica
Laboratório de Antropologia, Saúde e Saneamento

Laboratório de Estudos da Globalização e do Desenvolvimento
Laboratório de Etnografia
Laboratório de Indigenismo e Etnologia
Laboratório de Informática
Laboratório de Pós-Doutorado e Estudos Avançados em Antropologia
Laboratório de Vivências e Reflexões Antropológicas: Direitos, Políticas e Estilo de Vida

Instituto de Física (IF)

Laboratório de Birrefringência e Ressonância Magnética
Laboratório de Cálculo Científico
Laboratório de Ciência dos Materiais
Laboratório de Criogenia
Laboratório de Cristais Líquidos
Laboratório de Espectroscopia Ótica
Laboratório de Experimentoteca
Laboratório de Física I
Laboratório de Física II
Laboratório de Física III
Laboratório de Física IV
Laboratório de Fluidos Complexos
Laboratório de Fluidos Magnéticos
Laboratório de Fotoacústica
Laboratório de Fotônica
Laboratório de Magnetometria e Caracterização de Materiais Magnéticos
Laboratório de Manipulação de Amostras
Laboratório de Plasmas
Laboratório de Processamento Ótico de Imagens
Laboratório de Supercondutores
Laboratório Didático para o Ensino de Física

Instituto de Geociências (IG)

Laboratório de Análise de Água
Laboratório de Análise de Sinais
Laboratório de Catodoluminescência
Laboratório de Difractometria de Raios X
Laboratório de Eletrônica
Laboratório de Estação Sismográfica Móvel
Laboratório de Fotogeologia
Laboratório de Gemologia
Laboratório de Geocronologia
Laboratório de Geofísica Aplicada
Laboratório de Geofísica Básica
Laboratório de Geoposicionamento e Cartografia Digital
Laboratório de Geoquímica
Laboratório de Inclusões Fluidas
Laboratório de Isótopos Estáveis
Laboratório de Laminação
Laboratório de Métodos Quantitativos em Geociências

Laboratório de Micro-Informática
Laboratório de Micropaleontologia
Laboratório de Microscopia de Luz Refletida
Laboratório de Microscopia de Luz Transmitida
Laboratório de Microsonda Eletrônica
Laboratório de Minerologia Aplicada
Laboratório de Palinologia e Paleontologia
Laboratório de Preparação de Amostras e Separação de Minerais
Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento
Laboratório de Tectonofísica e Geologia Estrutural
Observatório Sismológico

Instituto de Letras (IL)

Laboratório de Informática de Pós-Graduação – LIP
Laboratório de Informática de Pós-Graduação – TEL
Laboratório de Línguas
Laboratório de Línguas Indígenas

Instituto de Psicologia (IP)

Laboratório de Análise Experimental do Comportamento
Laboratório de Aprendizagem e Mudança nas Organizações
Laboratório de Aprendizagem Humana
Laboratório de Cultura e Saúde nas Organizações
Laboratório de Desenvolvimento em Condições Adversas
Laboratório de Desenvolvimento Familiar
Laboratório de Ensino de Psicologia via Informática
Laboratório de Ergonomia
Laboratório de Estudo e Pesquisa em Comportamento do Consumidor
Laboratório de Família, Grupos e Comunidade
Laboratório de Microgênese das Interações Sociais
Laboratório de Pesquisa, Avaliação e Medidas – PAM
Laboratório de Processos Cognitivos
Laboratório de Programa de Estudos e Atenção às Dependências Químicas
Laboratório de Psicanálise do Processo de Subjetivação
Laboratório de Psicobiologia
Laboratório de Psicodiagnóstico e Psicoterapia
Laboratório de Psicogênese
Laboratório de Psicologia Ambiental
Laboratório de Psicologia do Trabalho
Laboratório de Psicologia Escolar
Laboratório de Psicopatologia e Psicanálise
Laboratório de Saúde e Desenvolvimento Humano

Instituto de Química (IQ)

Laboratório de Bioinformática
Laboratório de Catálise
Laboratório de Central Analítica
Laboratório de Desenvolvimento de Processos Químicos
Laboratório de Ensino em Físico-Química

Laboratório de Ferro-Fluído Magnético
Laboratório de Informática
Laboratório de Investigação em Sistemas Indólicos
Laboratório de Isolamento e Transferência de Moléculas Orgânicas
Laboratório de Materiais Combustíveis
Laboratório de Modelagem de Sistemas Complexos
Laboratório de Modelagem Molecular
Laboratório de Multidisciplinar - PADCT III
Laboratório de Pesquisa em Alcalóides Indólicos
Laboratório de Pesquisa em Ensino de Química
Laboratório de Pesquisa em Polímeros
Laboratório de Química Analítica e Ambiental
Laboratório de Química Computacional
Laboratório de Química Geral e Fundamental
Laboratório de Química Inorgânica Preparativa
Laboratório de Química Metodológica e Orgânica Sintética
Laboratório de Química Orgânica Prof. J.R. Marajan
Laboratório de Ressonância Magnética Nuclear
Laboratório de Síntese e Transformação de Compostos Orgânicos
Laboratório de Tecnologia Química

Instituto de Relações Internacionais (Irel)

Sala de informática

Anexo 2 – Listagem dos artigos comuns às bases de dados Scopus e Web of Science

Título	Scopus	WoS
Intelligent prognostics tools and e-maintenance	1	1
On the concept of e-maintenance: Review and current research	2	2
Formalisation of a new prognosis model for supporting proactive maintenance implementation on industrial system	3	4
An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities	4	5
Development of an e-maintenance system integrating advanced techniques	5	7
PROTEUS - Creating distributed maintenance systems through an integration platform	8	9
Using SVM based method for equipment fault detection in a thermal power plant	9	8
A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality	11	15
Remote control and maintenance outsourcing networks and its applications in supply chain management	12	14
Envisioning e-logistics developments: Making spare parts in situ and on demand - State of the art and guidelines for future developments	13	17
A web and mobile device architecture for mobile e-maintenance	15	28
A mix method of knowledge capitalization in maintenance	16	20
A proactive decision making framework for condition-based maintenance	17	19
Intelligent maintenance model for condition assessment of circuit breakers using fuzzy set theory and evidential reasoning	20	25
Predictive maintenance, its implementation and latest trends	21	42
Information requirements for e-maintenance strategic planning: A benchmark study in complex production systems	24	31
Modelling a maintenance management framework based on PAS 55 standard	25	38
Smart products and service systems for e-business transformation	26	21
Modelling using UML and BPMN the integration of open reliability, maintenance and condition monitoring management systems: An application in an electric transformer system	28	37
Application of fuzzy logic and variable precision rough set approach in a remote monitoring manufacturing process for diagnosis rule induction	29	34
Fuzzy adaptive preventive maintenance in a manufacturing control system: A step towards self-maintenance	31	27
A framework for effective management of condition based maintenance programs in the context of industrial development of E-Maintenance strategies	32	36
The framework, impact and commercial prospects of a new predictive maintenance system: Intelligent maintenance system	33	39
Distributed maintenance planning in manufacturing industries	34	35
Spare parts supply chains' operational planning using technical condition information from intelligent maintenance systems	38	29
A hybrid prognostics technique for rolling element bearings using adaptive predictive models	39	43
Characterisation of collaborative decision making processes	40	46
Remote multi-robot monitoring and control system based on MMS and web services	41	40
Smart maintenance for rooftop units	43	41
An effective procedure exploiting unlabeled data to build monitoring system	46	49
Smart Maintenance Decision Support Systems (SMDSS) based on corporate big data analytics	51	44
E-maintenance research: a multifaceted perspective	52	59
Bearing faults diagnosis using fuzzy expert system relying on an Improved Range Overlaps and Similarity method	56	52
Condition-based diagnosis of mechatronic systems using a fractional calculus approach	57	58

An intelligent maintenance model to assess the condition-based maintenance of circuit breakers	58	53
Recursive slow feature analysis for adaptive monitoring of industrial processes	63	56
Visual recognition of aircraft mechanical parts for smart maintenance	64	63
Fault detection and isolation based on bond graph modeling and empirical residual evaluation	65	75
Decision on the memory size of embedded information systems in an ubiquitous maintenance environment	71	77
Support for integrated value-based maintenance planning	73	80
A statistical methodology for the design of condition indicators	74	72
Intelligent maintenance prediction system for LED wafer testing machine	75	69
Fault diagnosis with evolving fuzzy classifier based on clustering algorithm and drift detection	76	65
E-maintenance ontology-based approach for heterogeneous distributed robotic production capabilities	77	70
IETM centered intelligent maintenance system integrating fuzzy semantic inference and data fusion	85	105
Implementation of a condition monitoring system on an electric arc furnace through a risk-based methodology	87	111
Maintenance analytics for railway infrastructure decision support	96	106
A procedure for condition-based maintenance and diagnostics of submersible well pumps through vibration monitoring	113	98
Situational Awareness Enhancement of Smart Grids Using Intelligent Maintenance Scheduling of Phasor Measurement Sensors	119	103
Dealing with missing data as it pertains of e-maintenance	121	108
A novel approach for mobile maintenance using mobile agents technology and mobile devices	127	86
Probe on network-based collaborative maintenance model for after-sales equipment	133	115
A case-based reasoning system for fault detection and isolation: a case study on complex gearboxes	140	94
Lean implementation for rail substation processes	149	102
Experimental vibratory analysis of a fan motor in industrial environment	150	99
An artificial immune intelligent maintenance system for distributed industrial environments	151	101
Gas turbine preventive maintenance optimization using genetic algorithm	163	104
Industrial internet applications for efficient road winter maintenance	167	109
Developing RCM strategy for wind turbines utilizing e-condition monitoring	183	112
Smarter maintenance through internet-based condition monitoring with indirect sensing, novelty detection, and XML	204	88

Anexo 3 – Questionário enviado aos responsáveis pelos laboratórios da UnB – Perfil 1

Pesquisa sobre Indústria 4.0 e Manutenção 4.0

Olá, sou mestrando do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos (PPMEC/UnB) e Servidor da Diretoria de Manutenção de Equipamentos da UnB (DIMEQ). Estou fazendo uma pesquisa relacionada à compra de equipamentos, à Manutenção prestada pela DIMEQ e oportunidades com o uso de novas tecnologias.

Você está convidado a responder às perguntas objetivas e comentar as suas respostas.

Gostaria das suas respostas para esta pesquisa, que poderá ser utilizada em projetos futuros da DIMEQ. Estou pedindo também o seu e-mail para contatos futuros.

Obrigado,

Endereço de e-mail *

Endereço de e-mail válido

Este formulário coleta endereços de e-mail. [Alterar configurações](#)

1. Qual é o seu grau de Instrução? *

- Ensino Médio
- Ensino Médio Técnico
- Ensino Superior em andamento
- Ensino Superior Completo
- Pós-graduação - Especialização
- Mestrado
- Doutorado
- Pós-doutorado

2. Qual é o seu cargo na UnB *

- Docente
- Técnico

3. Qual é o seu local de trabalho/laboratório *

Texto de resposta longa

4. Qual(is) é(são) o(s) equipamento(s) crítico(s) do seu local de trabalho/laboratório? *

Texto de resposta longa

5. Como é a manutenção dos equipamentos do seu local de trabalho/laboratório? *

- Somente corretiva (serviço de manutenção acionado quando ocorre a quebra do equipamento)
- Manutenção corretiva e preventiva (manutenção periódica, com ajustes, lubrificação e/ou troca de peças para evita...
- Não tenho certeza

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

6. Quem realiza a manutenção destes equipamentos? *

- DIMEQ/UnB (Diretoria de Manutenção de Equipamentos)
- Fabricante ou representante do fabricante do equipamento
- Serviço Técnico diferente da DIMEQ ou fabricante do equipamento
- Equipe do laboratório
- Outros...

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

7. Existe a previsão de aquisição de novos equipamentos para o seu local de trabalho/laboratório? *

- Sim
- Não
- Talvez

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

8. A aquisição dos equipamentos seu local de trabalho/laboratório são discutidos com outras áreas? *

- Sim, com a DIMEQ
- Sim, com o CPD
- Sim, com a PRC
- Sim, com mais de uma área citada
- Não, as outras áreas são envolvidas somente para a instalação do equipamento
- Não, a aquisição e instalação dos equipamentos é realizada sem o envolvimento de outras áreas da instituição
- Outros...

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é um termo que integra novas tecnologias de fabricação, comunicação, controle e processamento de dados nas diversas etapas do processo de manufatura. Utiliza-se de conceitos de Sistemas Ciber-físicos, Internet das Coisas (IoT), Manufatura Aditiva, entre outros.

- Sistemas Ciber-físicos: "Sistemas Ciber-Físicos (CPS) são integrações de computação com processos físicos. Computadores e redes incorporados monitoram e controlam os processos físicos, geralmente com loops de feedback onde os processos físicos afetam as computações e vice-versa." (LEE, E., 2008)
- Internet das Coisas: Pode ser considerada o conjunto de objetos físicos (máquinas, equipamentos, veículos, edificações, etc.) dotados de tecnologia capaz de coletar, transmitir dados e efetuar algumas ações. É uma evolução dos sistemas embarcados. Como exemplo podem ser citadas geladeiras que fazem listas de compras e bicicletas de aluguel controladas por aplicativos.
- Manufatura Aditiva: Trata-se de um processo mecânico no qual diversas camadas de material são progressivamente sobrepostas uma à outra com o objetivo de formar um objeto, geralmente tendo como base um modelo digital. Comumente conhecido como "impressão 3D"
- Realidade Aumentada: é a integração de elementos ou informações virtuais a visualizações do mundo real através de uma câmera e com o uso de sensores de movimento como giroscópio e acelerômetro, um exemplo bastante conhecido é o APP/Jogo para celulares "Pokemon Go"
- Big Data: é o termo em Tecnologia da Informação (TI) que trata sobre grandes conjuntos de dados que precisam ser processados e armazenados. Pode ser definido como um conjunto de técnicas capazes de se analisar grandes quantidades de dados para a geração de resultados importantes que, em volumes menores, dificilmente seria possível. Como exemplo, o Google processa diariamente mais de 3 bilhões de pesquisas em todo o mundo, sendo desse total 15% totalmente inéditas. Seu "motor" de pesquisa rastreia 20 bilhões de sites diariamente.

9. Conhecimento sobre Indústria 4.0 *

- Não conhece os conceitos da Indústria 4.0
- Conhece os conceitos da Indústria 4.0, mas não identifica oportunidades de aplicação no seu local de trabalho
- Conhece os conceitos da Indústria 4.0 e identifica oportunidades de aplicação no seu local de trabalho
- Está interessado e já desenvolve algum(s) projeto(s) piloto(s) de implantação de tecnologias da Indústria 4.0
- Não temos interesse na Indústria 4.0

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

10. Existe a necessidade ou oportunidade da utilização de tecnologias da Indústria 4.0 no seu local de trabalho/laboratório? (pode escolher mais de uma alternativa) *

- Manufatura aditiva (Impressão 3D)
- Monitoramento on-line dos equipamentos existentes
- Realidade aumentada
- Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)
- Não aplicável

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

11. Caso uma das respostas da questão anterior seja afirmativa, você identifica alguma dificuldade ou obstáculo na implantação? (pode escolher mais de uma alternativa) *

- Não identifico dificuldade ou obstáculo
- Sim, falta de maior conhecimento no assunto
- Sim, falta de recursos financeiros
- Sim, falta de recursos técnicos
- Sim, falta de equipamentos disponíveis que atendam às necessidades
- Não aplicável
- Outros...

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

Manutenção 4.0

A Manutenção 4.0 é um dos desdobramentos da Indústria 4.0, trata da evolução das manutenções preventiva e preditiva utilizando de algumas das técnicas da Indústria 4.0, como por exemplo: colocação de sensores nos equipamentos para monitoramento constante de vibrações, temperatura e outras condições do equipamento, estes dados são tratados e analisados por programas de computador indicando os melhores momentos para as intervenções de manutenção, aumentando a disponibilidade do equipamento.

12. Conhecimento sobre manutenção 4.0 *

- Não conhece os conceitos da Manutenção 4.0
- Conhece os conceitos da Manutenção 4.0, mas não identifica oportunidades de aplicação no seu local de trabalho
- Conhece os conceitos da Manutenção 4.0, e identifica oportunidades de aplicação no seu local de trabalho
- Está interessado e já desenvolve algum(s) projeto(s) piloto(s) de implantação de Manutenção 4.0
- Não temos interesse na Manutenção 4.0

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

13. Existe a previsão de que os equipamentos que serão adquiridos devam possuir interface IoT/sensoreamento remoto? *

- Deverão obrigatoriamente possuir essas interfaces
- Poderão eventualmente possuir essas interfaces
- Isso não será levado em conta na aquisição
- Outros...

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

14. Existe interesse na inclusão do seu laboratório/local de trabalho em projetos relacionados à Manutenção 4.0 que venham a ocorrer? *

- Sim
- Não
- Talvez

15. Gostaria de deixar algum comentário ou observação final?

Texto de resposta longa

Anexo 4 – Questionário enviado aos servidores da DIMEQ – Perfil 2

Pesquisa sobre Indústria 4.0 e Manutenção 4.0

Olá, sou mestrando do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos (PPMEC/UnB) e Servidor da Diretoria de Manutenção de Equipamentos da UnB (DIMEQ). Estou fazendo uma pesquisa relacionada à compra de equipamentos, à Manutenção prestada pela DIMEQ e oportunidades com o uso de novas tecnologias.

Você está convidado a responder às perguntas objetivas e comentar as suas respostas.

Gostaria das suas respostas para esta pesquisa, que poderá ser utilizada em projetos futuros da DIMEQ. Estou pedindo também o seu e-mail para contatos futuros.

Obrigado,

Endereço de e-mail *

Endereço de e-mail válido

Este formulário coleta endereços de e-mail. [Alterar configurações](#)

1. Qual é o seu grau de Instrução? *

- Ensino Médio
- Ensino Médio Técnico
- Ensino Superior em andamento
- Ensino Superior Completo
- Pós-graduação - Especialização
- Mestrado
- Doutorado
- Pós-doutorado

2. Qual é a sua seção na DIMEQ? *

Texto de resposta longa

3. Dos equipamentos atendidos pela sua seção, quais você considera críticos para a UnB? *

Texto de resposta longa

4. Geralmente como é a manutenção efetuada? *

- Somente corretiva (serviço de manutenção acionado quando ocorre a quebra do equipamento)
- Manutenção corretiva e preventiva (manutenção periódica, com ajustes, lubrificação e/ou troca de peças para evita...
- Não tenho certeza

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

5. Você participa do processo de definição das características dos equipamentos que serão adquiridos pela UnB, para os laboratórios, salas de aula, etc? *

- Sim
- Não

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é um termo que integra novas tecnologias de fabricação, comunicação, controle e processamento de dados nas diversas etapas do processo de manufatura. Utiliza-se de conceitos de Sistemas Ciber-físicos, Internet das Coisas (IoT), Manufatura Aditiva, entre outros.

- **Sistemas Ciber-físicos:** "Sistemas Ciber-Físicos (CPS) são integrações de computação com processos físicos. Computadores e redes incorporados monitoram e controlam os processos físicos, geralmente com loops de feedback onde os processos físicos afetam as computações e vice-versa." (LEE, E., 2008)
- **Internet das Coisas:** Pode ser considerada o conjunto de objetos físicos (máquinas, equipamentos, veículos, edificações, etc.) dotados de tecnologia capaz de coletar, transmitir dados e efetuar algumas ações. É uma evolução dos sistemas embarcados. Como exemplo podem ser citadas geladeiras que fazem listas de compras e bicicletas de aluguel controladas por aplicativos.
- **Manufatura Aditiva:** Trata-se de um processo mecânico no qual diversas camadas de material são progressivamente sobrepostas uma à outra com o objetivo de formar um objeto, geralmente tendo como base um modelo digital. Comumente conhecido como "impressão 3D"
- **Realidade Aumentada:** é a integração de elementos ou informações virtuais a visualizações do mundo real através de uma câmera e com o uso de sensores de movimento como giroscópio e acelerômetro, um exemplo bastante conhecido é o APP/Jogo para celulares "Pokemon Go"
- **Big Data:** é o termo em Tecnologia da Informação (TI) que trata sobre grandes conjuntos de dados que precisam ser processados e armazenados. Pode ser definido como um conjunto de técnicas capazes de se analisar grandes quantidades de dados para a geração de resultados importantes que, em volumes menores, dificilmente seria possível. Como exemplo, o Google processa diariamente mais de 3 bilhões de pesquisas em todo o mundo, sendo desse total 15% totalmente inéditas. Seu "motor" de pesquisa rastreia 20 bilhões de sites diariamente.

6. Conhecimento sobre Indústria 4.0 *

- Não conhece os conceitos da Indústria 4.0
- Conhece os conceitos da Indústria 4.0, mas não identifica oportunidades de aplicação no seu local de trabalho
- Conhece os conceitos da Indústria 4.0 e identifica oportunidades de aplicação no seu local de trabalho
- Está interessado e já desenvolve algum(s) projeto(s) piloto(s) de implantação de tecnologias da Indústria 4.0
- Não temos interesse na Indústria 4.0

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

7. Existe a necessidade ou oportunidade da utilização de tecnologias da Indústria 4.0 no seu local de trabalho/laboratório? (pode escolher mais de uma alternativa) *

- Manufatura aditiva (Impressão 3D)
- Monitoramento on-line dos equipamentos existentes
- Realidade aumentada
- Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)
- Não aplicável
- Outros...

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

8. Caso uma das respostas da questão anterior seja afirmativa, você identifica alguma dificuldade ou obstáculo na implantação? (pode escolher mais de uma alternativa) *

- Não identifico dificuldade ou obstáculo
- Sim, falta de maior conhecimento no assunto
- Sim, falta de recursos financeiros
- Sim, falta de recursos técnicos
- Sim, falta de equipamentos disponíveis que atendam às necessidades
- Não aplicável
- Outros...

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

Manutenção 4.0

A Manutenção 4.0 é um dos desdobramentos da Indústria 4.0, trata da evolução das manutenções preventiva e preditiva utilizando de algumas das técnicas da Indústria 4.0, como por exemplo: colocação de sensores nos equipamentos para monitoramento constante de vibrações, temperatura e outras condições do equipamento, estes dados são tratados e analisados por programas de computador indicando os melhores momentos para as intervenções de manutenção, aumentando a disponibilidade do equipamento.

9. Conhecimento sobre manutenção 4.0 *

- Não conhece os conceitos da Manutenção 4.0
- Conhece os conceitos da Manutenção 4.0, mas não identifica oportunidades de aplicação no seu local de trabalho
- Conhece os conceitos da Manutenção 4.0, e identifica oportunidades de aplicação no seu local de trabalho
- Está interessado e já desenvolve algum(s) projeto(s) piloto(s) de implantação de Manutenção 4.0
- Não temos interesse na Manutenção 4.0

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

10. Existe a previsão de que os equipamentos que serão adquiridos devam ^{*} possuir interface IoT/sensoreamento remoto?

- Deverão obrigatoriamente possuir essas interfaces
- Poderão eventualmente possuir essas interfaces
- Isso não será levado em conta na aquisição
- Outros...

Por favor, explique sua resposta:

Texto de resposta longa

11. Existe interesse na inclusão da sua seção de trabalho em projetos ^{*} relacionados à Manutenção 4.0 que venham a ocorrer?

- Sim
- Não
- Talvez

12. Gostaria de deixar algum comentário ou observação final?

Texto de resposta longa
