

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

BRUNO PERPETUO PEREIRA
GUILHERME COSTA ROCHA
LUCAS ANDRADE DA SILVA

APLICAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NOS SISTEMAS DE MANUTENÇÃO

SÃO PAULO

2022

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

BRUNO PERPETUO PEREIRA
GUILHERME COSTA ROCHA
LUCAS ANDRADE DA SILVA

APLICAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NOS SISTEMAS DE MANUTENÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Tecnologia em Fabricação Mecânica da Faculdade de Tecnologia de Itaquera como parte dos requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientadora: Prof^a Dra. Raquel Duaibs Ziegler.

Coorientador: Prof^o Esp. Samuel Fernandes Nunes.

SÃO PAULO

2022

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter nos permitido alcançar nossos objetivos durante tantos anos de estudos, nos dando saúde, determinação e sabedoria para superar adversidades ao longo de tantos anos.

Agradecer aos nossos familiares e amigos por todo apoio e ajuda que nos auxiliou para a elaboração deste trabalho, sem o incentivo de vocês em tantos momentos difíceis nada disto seria possível.

A professora Raquel Duaibs Ziegler e o professor Samuel Fernandes por ter nos ajudado no desenvolvimento com tamanha dedicação. Aos professores por tantos ensinamentos, paciência e conselhos que auxiliaram para nos moldar profissionalmente ao longo do curso.

“É necessário sempre acreditar
que o sonho é possível.”

(Racionais Mc's)

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo o entendimento e discussão sobre as ferramentas da indústria 4.0 aplicadas na manutenção industrial. Explicamos como é possível otimizar a gestão industrial, através de ampla pesquisa em diversos meios de informação como livros, artigos acadêmicos e sites. Obtivemos boas referências para a elaboração do trabalho, observando de forma clara e objetiva os impactos que algumas ferramentas trazem na gestão da manutenção, como na tomada de decisão estratégica. Contudo, iremos apresentar um modelo de gestão de manutenção que utiliza a indústria 4.0 e suas principais ferramentas. Apresentamos um exemplo de caso onde é utilizado sensores para coleta de dados que acarretam em melhorias na manutenção industrial. Com o trabalho elaborado, apontamos diversas tecnologias e suas aplicações. Pode se concluir que é de suma importância a utilização dessas ferramentas para a melhoria dos processos de manutenção.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Manutenção Industrial. Tecnologias de Manutenção.

Ferramentas da Indústria 4.0. Manutenção Autônoma.

ABSTRACT

The present work aims to understand and discuss the tools of industry 4.0 applied in industrial maintenance. We explain how it is possible to optimize industrial management, through extensive research in various means of information such as books, academic articles and websites. We obtained good references for the elaboration of the work, observing in a clear and objective way the impacts that some tools bring in the maintenance management, as in the strategic decision making. However, we will present a maintenance management model that uses industry 4.0 and its main tools. We present an example of a case where sensors are used to collect data that lead to improvements in industrial maintenance. With the work done, we point out several technologies and their applications. It can be concluded that it is extremely important to use these tools to improve maintenance processes.

Keywords: Industry 4.0. Industrial Maintenance. Maintenance Technologies. Industry 4.0 Tools. Autonomous Maintenance.

Lista de Figuras

Figura 1 - Revoluções Industriais	18
Figura 2 - 1ª Revolução Industrial	19
Figura 3 - 2ª Revolução Industrial	20
Figura 4 - 3ª Revolução Industrial	22
Figura 5 - Principais efeitos da Terceira Revolução Industrial.....	23
Figura 6 - Tipos de Manutenção.....	25
Figura 7 - Pilares da Manutenção	28
Figura 8 - Fluxo de um processo de manutenção	33
Figura 9 - Exemplo de uma Ordem de Serviço	35
Figura 10 - Grandes perdas que afetam o OEE	39
Figura 11 - Estrutura da manutenção preditiva 4.0	42
Figura 12 - Linha de Produção Autônoma.....	45
Figura 13 - <i>Cloud Computing</i>	47
Figura 14 - Virtualização dos servidores	48
Figura 15 - Impressão 3D com resina líquida.....	50
Figura 16 - Impressão 3D por camada.....	51
Figura 17 - Impressão 3D por feixe de elétrons	52
Figura 18 - Impressão 3D por laminação	53
Figura 19 - Fabricação Convencional X Impressão 3D	54
Figura 20 - Simulador de manutenção	56
Figura 21 - Simulador de manutenção	56
Figura 22 - Troca do óleo	57

Figura 23 - Troca de óleo	58
Figura 24 - Instalação do novo óleo	59
Figura 25 - Instalação do novo óleo	59
Figura 26 - Reparação de uma Válvula.....	60
Figura 27 - Etapas de desenvolvimento para o sistema de monitorização contínua .	63
Figura 28 - Arquitetura para a solução proposta.	64
Figura 29 - Página de monitorização e gestão de um equipamento	65
Figura 30 - Infraestrutura da automação da Brennand Cimentos.....	66
Figura 31 - Relação entre tempo gasto e descobrimento de problemas	67

Lista de Gráficos

Tabela 1 - As importantes características da Terceira Revolução Industrial.	23
Tabela 2 - Pilares da TPM e suas definições.	29
Tabela 3 - Tarefas de Manutenção.	34
Tabela 4 - Custo e produtividade	54
Tabela 5 - Tipos de Realidade Aumentada	61

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS

Iot = *Internet of Things* (Internet das Coisas)

MTBF = *Mean Time Between Failures* (Tempo Médio Entre Falhas)

MTTR = *Mean Time To Repair* (Tempo Médio Para Reparo)

OEE = *Overall Equipment Effectiveness* (Índice de Eficiência Global dos Equipamentos)

PCM = Planejamento e Controle de Manutenção

TPM = *Total Productive Maintenance*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.2. Objetivo Geral	14
1.2.1. <i>Objetivos Específicos</i>	14
1.3. Justificativa	15
2. METODOLOGIA	16
3. REVISÃO DA LITERATURA	17
4. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS	18
4.1. Primeira Revolução Industrial.....	18
4.2. Segunda Revolução Industrial.....	19
4.3. Terceira Revolução Industrial	21
5. MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	24
5.1. Manutenção Corretiva.....	26
5.2. Manutenção Corretiva Planejada	26
5.3. Manutenção Preventiva	26
5.4. Manutenção Preditiva	26
5.5. Manutenção Detectiva	27
5.6. Manutenção Produtiva Total	27
5.6.1. <i>Manutenção Autônoma</i>	29
5.6.2. <i>Manutenção Planejada</i>	30
5.6.3. <i>Manutenção de Qualidade</i>	30
5.6.4. <i>Melhoria Contínua</i>	30
5.6.5. <i>Gestão dos Ativos</i>	30
5.6.6. <i>Educação</i>	30

5.6.7. <i>Segurança, Saúde e Ambiente</i>	31
5.6.8. <i>Administração</i>	31
5.6.9. <i>Objetivo da TPM</i>	31
5.7. Planejamento e Controle de Manutenção	32
5.8. Indicadores de Manutenção	34
5.8.1. <i>Tipos de Indicadores</i>	35
5.8.1.1. Disponibilidade(D).....	35
5.8.1.2. MTBF	36
5.8.1.3. MTTR.....	36
5.8.1.4. Performance - P	37
5.8.1.5. Qualidade- Q.....	37
5.8.1.6. OEE	38
5.9. Manutenção 4.0	39
5.9.1. <i>Manutenção preditiva 4.0 machine learning</i>	40
5.9.2. <i>Arquitetura da manutenção preditiva 4.0</i>	41
5.9.3. <i>Manutenção inteligente</i>	42
6. INDÚSTRIA 4.0	44
6.1. Internet das Coisas (IoT)	44
6.2. Comunicação em Nuvem	46
6.3. Robótica e Impressão 3D	49
6.4. Realidade Virtual	55
6.5. Realidade Aumentada	60
7. POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO COM A INDÚSTRIA 4.0	62
7.1. Renault Cacia	62

7.2. Brennand Cimentos	66
8. CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

As revoluções industriais foram marcadas historicamente pelo surgimento de uma época em que os trabalhadores desempenhavam seus trabalhos em fábricas, acarretando a migração em massa para as grandes cidades, na produção de bens de consumo em grande escala e baixo custo, seguido de uma padronização de processos produtivos e a utilização de máquinas e ferramentas. Todas as três primeiras revoluções resultaram em grandes transformações ao serem implementadas, todavia, a Quarta Revolução Industrial, que engloba um amplo sistema de tecnologias avançadas, já é uma realidade (COSTA et al. 2017). Entretanto a aplicação dessas tecnologias avançadas no setor fabril, essa chamada de Indústria 4.0, é um desafio devido à falta de investimento e políticas de desenvolvimento tecnológico no Brasil. As indústrias brasileiras atuais não estão inseridas plenamente nesse novo cenário.

A Indústria 4.0 refere-se a um pensamento que propõem a junção da automação com a tecnologia da informação visando o desenvolvimento de sistemas produtivos autônomos (PERRINI, 2018). Tal modelo industrial faz uso de diversas ferramentas que possibilitam essa autonomia além de que parte dessas ferramentas tem grande potencial de usabilidade na manutenção.

A alta capacidade de comunicação entre os sistemas da indústria 4.0 traz um excelente tempo de resposta às demandas internas e externas da empresa, nesse ambiente altamente automatizado é fundamental que a parte da manutenção possua um conjunto de tecnologias e ferramentas capazes de responder celeremente a quaisquer eventualidades que venham a ocorrer (PERRINI, 2018). A estagnação de uma linha de produção devido à quebra de máquinas ou equipamentos deve ser minimizada e possivelmente evitada, através de planejamento e controle.

Ao longo do trabalho é abordado a história das revoluções industriais, sua trajetória e contexto histórico até a Indústria 4.0, dando ênfase no desenvolvimento da manutenção no setor industrial. O estudo teórico é composto por diversos autores, onde o foco é identificar as principais ferramentas da indústria 4.0 e quais possuem potencial de inserção na área da manutenção. É abordado suas finalidades, impactos, melhorias e importância. Visando melhorar a qualidade de produtos e/ou serviços.

1.2. Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo analisar as ferramentas da indústria 4.0 aplicadas na gestão da manutenção industrial.

1.2.1. Objetivos Específicos

- Identificar os aspectos positivos e negativos que trazem a aplicação da manutenção 4.0;
- Pesquisar os modelos e funcionamento das ferramentas como IOT e Big Data e como pode ser utilizada no setor de manutenção;
- Discutir casos de empresas que utilizam estes modelos de gestão;
- Analisar o funcionamento das ferramentas da indústria 4.0 e utilizá-las no departamento de manutenção industrial para um melhor desempenho da equipe e dos ativos, para monitoramento em tempo real e controle dos processos, aplicando a internet das coisas e o Big Data na geração de dados;
- Apresentar exemplos de casos que obtiveram ganhos com a aplicação destas tecnologias 4.0.

1.3. Justificativa

A manutenção é um dos setores mais importante de uma indústria, responsável por manter um bom funcionamento das máquinas, equipamentos e utilidades industriais. Com o avanço das tecnologias 4.0, as empresas competitivas investem em inovação para acompanhar o mercado crescente, baseado nesta necessidade, o trabalho traz uma pesquisa da gestão da manutenção baseada nas ferramentas da indústria 4.0, tornando isto como foco do desenvolvimento da pesquisa.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado por meio da metodologia qualitativa, baseando-se no método da pesquisa bibliográfica. Foi efetuada uma ampla pesquisa em teses de doutorado, dissertações de mestrado, livros, artigos científicos e trabalhos de conclusão de curso, além de pesquisas de literaturas que apresentam informações sobre o tema, e que contribuiriam para a formação do trabalho.

Foi desenvolvido os resultados obtidos no decorrer do trabalho e apresentado os exemplos de aplicação das ferramentas tecnológicas da Indústria 4.0 no ramo da manutenção industrial. Considerando os conceitos abordados e discutidos, conclui-se a importância da introdução das tecnologias da Indústria 4.0 no campo da manutenção industrial.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Nos últimos anos com o avanço tecnológico é observado dentro das indústrias o uso da automação e robótica, que oferecem inúmeras vantagens, sendo considerada uma estratégia dentro das organizações.

Os objetivos da manutenção industrial devem estar alinhados com os interesses da empresa, já que a manutenção afeta na rentabilidade do processo produtivo e na qualidade da produção de um produto. O segredo para isso está em achar um ponto de equilíbrio entre benefício e custo que se torne um aspecto positivo entre a manutenção e o faturamento da empresa (SANTOS e PACHECO, 2016).

É de suma importância a disponibilidade dos equipamentos que estejam relacionado ao processo produtivo para a empresa ser competitiva. Esta disponibilidade está altamente relacionada a manutenção, portanto a manutenção exerce um papel de extrema importância visto que, ela deve manter os equipamentos em boas condições para operação (BALDISSARELLI e FABRO, 2019).

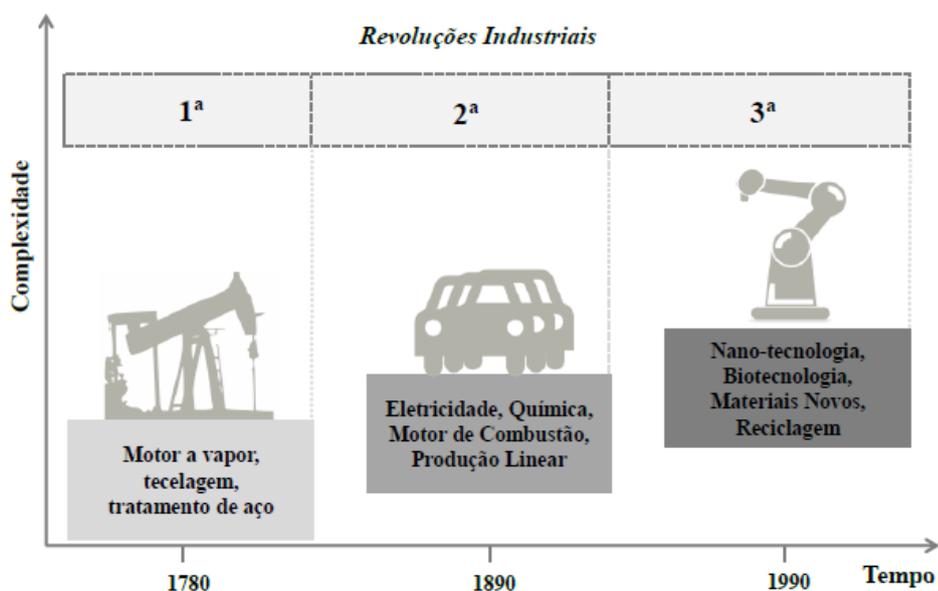
A gestão da manutenção deve acompanhar as mais recentes tecnologias que tragam inovações nos procedimentos e nas operações da manutenção dos equipamentos. Os equipamentos novos devem ter pessoas qualificadas para utilização e acompanhamento, onde na maioria das vezes é necessária uma capacitação para manutenção de tais equipamentos. É importante ressaltar que cada organização deve se adequar a sua realidade de investimentos na manutenção, para que possa encontrar uma forma de gestão mais efetiva e ajude no desempenho dos processos produtivos (SACOMANO et al., 2016).

Em um estudo de caso da Renault Cacia S.A. foi desenvolvido uma ferramenta para monitoramento de equipamentos que fornece informações sobre o estado dos equipamentos. Esta ferramenta com base em algoritmos consegue uma melhor previsão de falhas assim podendo programar manutenções corretivas evitando paragens no tempo de produção (INOCÊNCIO, 2017).

4. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

A indústria como conhecemos atualmente sofreu diversas mudanças durante a história. As Revoluções Industriais não podem estar somente relacionadas as invenções ou descobertas de fontes de energia e maquinários por exemplo. Entretanto, esses são fatores de muita importância para o desenvolvimento da economia nos últimos séculos pois com ele foi possível a evolução de maquinários, sistemas de comunicações e transportes, que possibilitou o mundo ficar mais globalizado, conectando pessoas e informações. Máquinas são relatadas a tempos nas revoluções industriais, contudo a ampliação das máquinas e suas características é chamada de maquinismo (DATHEIN, 2003). A Figura 1 abaixo mostra as três primeiras grandes revoluções ao longo do tempo e quais foram os principais adventos utilizados:

Figura 1 - Revoluções Industriais



Fonte: Adaptado de Dombrowski e Wagner (2014)

4.1. Primeira Revolução Industrial

De acordo com De Masi (1999), a percepção do desenvolvimento da sociedade industrial pode ser observada em três momentos diferentes. O primeiro foi chamado de Primeira Revolução Industrial, que foi devido a criação e utilização da máquina a vapor.

A primeira revolução industrial figurou-se no final do século XVIII até o século XIX e durante esse período as mudanças foram significativas. A produção fabril foi ampliada, bem como os transportes e comunicações, com o surgimento de estradas de ferros, telégrafo e navegação de navios a vapor (GUEDES e ROSÁRIO, 2005).

Durante esse período a manutenção era essencialmente corretiva, sendo mais voltada para limpeza de máquinas e lubrificação após falhas, tendo em vista que a produção era uma prioridade e os equipamentos eram simples e superdimensionados. (INDUSTRIE 4.0, 2013). Um exemplo foi na indústria têxtil do algodão na Inglaterra que na década 1730 teve uma melhoria no tear de tecer permitindo que a produção fosse feita mais rápida e elaborando peças mais largas (DATHEIN, 2003). A figura 2 abaixo mostra os principais pontos da primeira revolução.

Figura 2 - 1ª Revolução Industrial



Fonte: Industrie 4.0 (2013)

4.2. Segunda Revolução Industrial

Na segunda metade do século XIX, tem o início da Segunda Revolução Industrial, que começa uma série de desenvolvimentos em diversos ramos da indústria, entre elas química, petróleo, aço e a principal que foi a elétrica. Durante esse período houve outros progressos extremamente importantes como, por exemplo,

desenvolvimento aeronáutico, produção em massa de bens de consumo, desenvolvimento no ramo alimentício com a enlatamento de comidas e ainda a criação do telefone magnético. (CONTREIRAS, 2015)

Segundo Guedes e Rosário (2005), a imigração para a segunda revolução industrial é bem demarcada pelo uso de novas fontes de matérias-primas e energia, notoriamente se referindo a eletricidade. No início do século XX, a revolução nos transportes e nas comunicações aumenta dentro das indústrias automotivas e aeronáutica, bem como na telefonia e transmissões de rádio.

De acordo com Quintaneiro, Barbosa e Oliveira (2003) a eletricidade foi o principal ponto da segunda revolução, pois ela colaborou para a produção em larga escala do trabalho, pois ela colocou um fim na ideia de que a produção se encerrava com a noite. O impacto nas relações trabalhista foi tão grande que começaram a ter diálogos para melhores condições que se comentam até os dias atuais. É importante lembrar que tais discussões são compreendidas devido que antes de entrar com máquinas e equipamentos para indústria, grande parte da produção era feita por seres humanos e animais (OSSEGE; GARRAFA, 2015). A figura 3 mostra os avanços significativos na segunda revolução.

Figura 3 - 2ª Revolução Industrial



Fonte: Industrie 4.0 (2013)

Como houve um grande aumento na mecanização e na complexidade das instalações industriais, foi necessário um avanço maior na manutenção pois com o aumento em produtividade era necessário uma disponibilidade e confiabilidade, para que a empresa pudesse se manter competitiva tendo um bom funcionamento das máquinas. A partir dessa conscientização foi gerado o conceito de manutenção preventiva. Durante esse período, os custos de manutenção começaram a ser maiores do que os custos operacionais portanto, houve a necessidade de se desenvolver mais sistemas de planejamento e controle da manutenção (KARDEC, NASCIF, 2012).

Outro fator que incentivou o desenvolvimento da manutenção foi a quantidade de capital investido, tanto nos equipamentos quanto para evidentemente na manutenção. Com a automação e mecanização cada vez mais evidente nas indústrias, sempre em busca de qualidade de produto, surgiu a necessidade de ter equipamentos cada vez mais confiáveis para produção para evitar perdas produtivas assim surgindo a manutenção preditiva (KARDEC, NASCIF, 2012).

4.3. Terceira Revolução Industrial

A Terceira Revolução Industrial iniciou-se na década de 1970 (COSTA, LAFRAIA, 2017), caracterizada pela reestruturação do capitalismo. Como resultado, o sistema econômico apresentou a cooperação como um novo paradigma, argumentando que os objetivos só podem ser alcançados em conjunto. Esta revolução apresentou formas diferentes de gerenciar a economia, havendo uma negociação mais facilitada, onde empresas entram em consenso afim de encontrar uma ação econômica mais precisa (FIDELIS; REIS, 2016). A figura 4 mostra os principais pontos da terceira revolução:

Figura 4 - 3ª Revolução Industrial

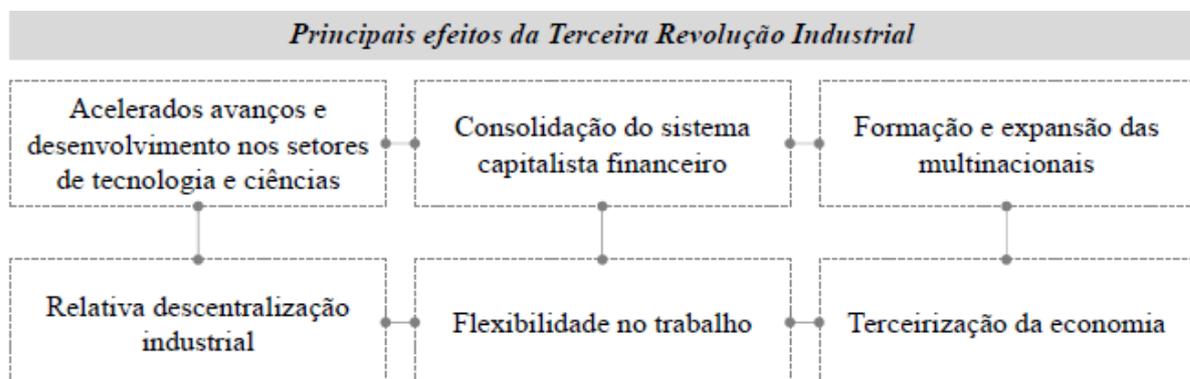
Fonte: Industrie 4.0 (2013)

Esta revolução industrial teve um grande papel na instrumentação da economia financeira, gerando um desenvolvimento acelerado nos meios de comunicação e transporte, que permitiu uma grande integração mundial que ficou conhecida como globalização (CONTREIRAS, 2015). Para Costa et al. (2017), ela ficou mais conhecida devido ao uso da tecnologia usada principalmente no Japão por volta dos anos 70, composta principalmente por biotecnologia, informática, máquinas CNC e microeletrônica. As principais características e efeitos da Terceira Revolução são mostrados na tabela 1 e figura 5 abaixo:

Tabela 1 - As importantes características da Terceira Revolução Industrial.

As importantes características da Terceira Revolução Industrial
O uso de diversas fontes de energia como petróleo, energia hidrelétrica, nuclear, eólica, entre outras. Na década de 90, pôde-se verificar o aumento considerável do uso de energia e também a preocupação em diminuir o uso de fontes poluidoras.
Utilização de recursos da informática na produção industrial
Redução crescente da mão-de-obra humana, que foi substituída por computadores, máquinas, sistemas automatizados
Aumento dos direitos trabalhistas
Globalização
Avanço na área da biotecnologia, expandindo a produção e eficiência nas indústrias de medicamentos e conseqüentemente melhorando a qualidade de vida das pessoas
Aparecimento de grandes potências industriais e econômicas (Alemanha, China e Japão)
No início do século XXI, ocorreu a massificação dos produtos tecnológicos, voltados na era da comunicação e internet
A partir dos anos de 1980, grande parte das indústrias evidenciaram a preocupação com o meio ambiente, assim, buscaram adaptar os processos produtivos para minimizar os impactos negativos

Fonte: adaptado de Contreiras (2015)

Figura 5 - Principais efeitos da Terceira Revolução Industrial

Fonte: Adaptado de Contreiras (2015)

Como em toda as revoluções, as questões voltadas a valor do trabalho e produtividade humana foram redefinidas, já que precisaram se adaptar as tecnologias que foram tornando se mais acessíveis. Com isso, o setor tecnológico que busca sempre inovações de mercado busca também inovar na forma de gestão do trabalho atribuindo aos colaboradores novas formas laborais, sempre aprimorando para a garantia de produtividade individual e das organizações (OSSEGE; GARRAFA, 2015).

Os avanços na manutenção desse período são de suma importância, já que a qualidade de produtos começa a se tornar um importante alvo dentro da indústria, a manutenção torna-se uma fiel aliada pois ela se torna um meio de garantir os padrões de qualidade pré-estabelecido. Pontos como de paralização de maquinários foram de extrema preocupação pois entravam em tendencia mundial o uso do sistema *just-in-time*, onde estoques eram reduzidos então era necessário a disponibilidade de máquinas para produção a qualquer hora (KARDEC, NASCIF, 2012).

Nessa geração de manutenção:

- A manutenção preditiva se tornou mais presente;
- Com os avanços da informática, pode-se utilizar softwares que auxiliaram no planejamento, controle e acompanhamento de serviços de manutenção (KARDEC, NASCIF, 2012).

5. MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção de ativos físicos de acordo com a NBR 5462/1994, consiste na junção de ações técnicas e administrativas coordenadas para manter e recolocar os equipamentos em funcionamento e condições de atender ao seu trabalho. Ela é responsável por manter e até mesmo adequar o item para novos tipos de trabalho de acordo com suas particularidades e adaptações.

A maioria dos processos de fabricação utiliza-se de máquinas e ferramentas para executar as atividades de trabalho, a manutenção tem por objetivo consertar e manter esses equipamentos em pleno funcionamento com técnicas, substituição de peças, adequações de segurança para os operadores, lubrificação e outros serviços que em conjunto, mantém a empresa produzindo seus produtos.

É importante ressaltar que ações tomadas para manter os ativos em pleno funcionamento vão de manutenções corretivas até planejadas de acordo com a necessidade da empresa. Uma gestão estratégica e planejada é de suma importância para manter um bom desempenho nos processos produtivos de forma a aumentar a confiabilidade, disponibilidade e até mesmo a segurança do segmento industrial (GRESSLER, SELEME, SILVA, MARQUES, 2020).

Saber o que é a manutenção, bem como, as formas de se executar, traz grandes resultados de acordo com as necessidades da empresa, onde algumas delas utilizam apenas manutenções corretivas, e outras até ferramentas avançadas de softwares especializados para um melhor desempenho dos ativos. Nos tempos atuais, pode-se utilizar diversas ferramentas na gestão da manutenção industrial, algumas atuais e outras que já estão no mercado a um bom tempo, e outras que vão ganhando espaço e aparecendo conforme as necessidades e desenvolvimento das indústrias (KARDEC, NASCIF, 2012).

Figura 6 - Tipos de Manutenção



Fonte: Manutenção (2011)

Atualmente, existem diversos tipos de manutenção, dentre elas podemos destacar os tipos mais utilizados de acordo com a imagem Anterior:

5.1. Manutenção Corretiva

A mais antiga e ainda utilizada, consiste em corrigir uma falha que resulta em um mal ou não funcionamento do ativo que precisa de uma ação que o garanta a volta das suas funções, seja ela um ajuste ou troca de um componente. (AUGUSTO,2019). A corretiva também pode ser descrita como uma manutenção reativa, ou seja, agir em consequência de uma parada de máquina que pode gerar impacto na produção da empresa.

5.2. Manutenção Corretiva Planejada

A manutenção corretiva programada é geralmente utilizada quando não temos o componente para a troca ou quando naquele momento, não é conveniente aplicar um especialista para executar a tarefa por ele precisar estar alocado em um equipamento mais crítico que deve ser atendido com maior emergência.

5.3. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva provém da necessidade das indústrias de agir antes da falha, ou seja, tomar uma ação de forma periódica a fim de manter o bom funcionamento do equipamento. Ela utiliza de parâmetros bem definidos para tomada de decisões que possibilitem a utilização do equipamento baseada em checklist e até mesmo recomendações do fabricante (SILVA,2019). O objetivo geral da manutenção preventiva consiste em reduzir o número de manutenções corretivas e aumentar o funcionamento do equipamento em horas úteis, bem como, prevenir o risco de acidentes causados por quebra de equipamentos.

5.4. Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva baseia-se no acompanhamento e análise periódica dos equipamentos e componentes com intuito de detectar possíveis falhas para a tomada de decisão sobre uma possível troca de componente, geralmente, quando um equipamento está prestes a falhar, apresentam sintomas que podem acarretar uma quebra. Quando o técnico realiza a inspeção e encontra esses sinais como ruídos e

vibrações, passa para a gestão que com base nesses dados, toma uma ação preventiva ou corretiva. (KARDEC, NASCIF, 2012).

5.5. Manutenção Detectiva

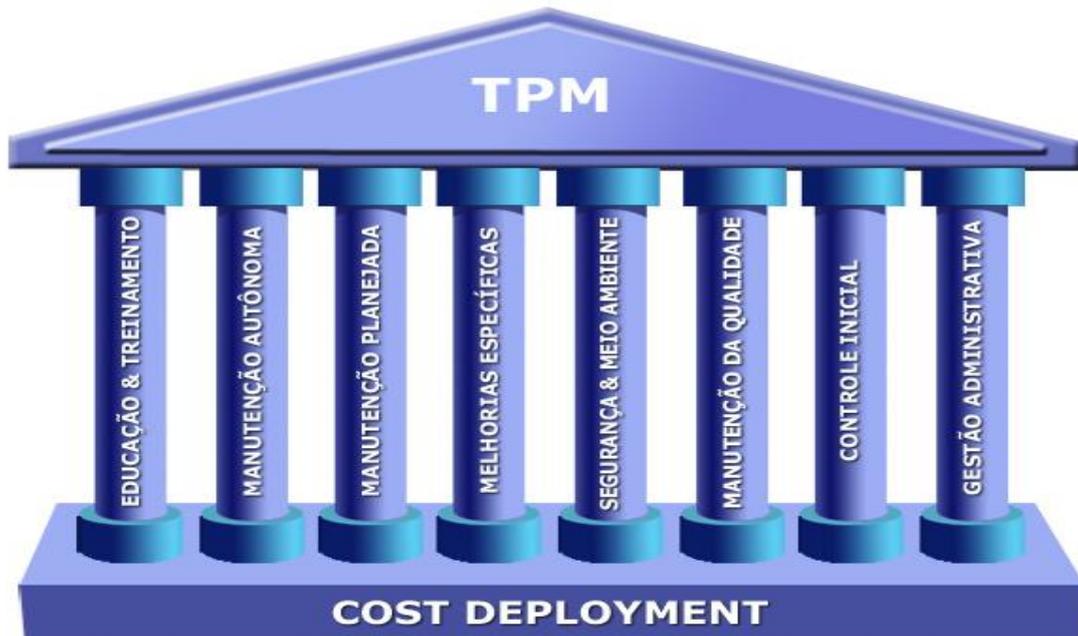
De acordo com Kardec, Nascif (2012), a manutenção detectiva aparece no cenário industrial na década de 90, ela consiste pela necessidade de executar uma detecção de falhas que não são perceptíveis. A detecção dessas falhas é realizada por análises feitas por integrantes da manutenção com habilitação para a atividade, ela também é fundamental para a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos. Com o constante desenvolvimento das tecnologias, cada vez mais encontramos computadores digitais para controle de manutenções industriais, até mesmo, sistemas supervisórios que se aplicam também a manutenção detectiva.

Para esta manutenção, utiliza-se de sistemas supervisórios, Controladores lógicos programáveis, sistemas sensorizados, dentre outras tecnologias para identificar as falhas com a utilização de computadores de processo (KARDEC, NASCIF, 2012).

5.6. Manutenção Produtiva Total

A manutenção produtiva total é uma política de manutenção desenvolvida pelos japoneses na década de 70, ela nasce da necessidade de competitividade das empresas e consiste basicamente na redução de desperdícios industriais, focada na maior eficiência do sistema produtivo. A metodologia tem um foco na eliminação de falhas, preparação e setup para um maior aproveitamento dos ativos em seu período de trabalho (NETTO, 2008).

Figura 7 - Pilares da Manutenção



Fonte: O que é TPM? (2011)

Os pilares da TPM (Figura 7), são as bases para o desenvolvimento e aplicação da manutenção produtiva, ou seja, os meios para atingir essa filosofia de trabalho focada nos desperdícios e gestão dos recursos da manutenção. Para explicar melhor esses pilares, A tabela 2 a seguir explica sobre cada tópico individualmente:

Tabela 2 - Pilares da TPM e suas definições.

Pilar	Definição	Características
Manutenção Autônoma	Atribui responsabilidade a manutenção de rotina tal como limpeza de posto, arrumação, entre outros (Colaborador)	<ul style="list-style-type: none"> • Atribui lado crítico ao colaborador; • Aumenta conhecimento do colaborador acerca do equipamento que usa; • Garante manutenção.
Manutenção Planejada	Agenda tarefas de manutenção baseada em informações de falhas (taxa de falhas)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do tempo de paragem; • Possibilita manutenção em momentos de paragem produtiva.
Manutenção de Qualidade	Aplicação de Análise de Causas para eliminar defeitos recorrentes	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de projetos de melhoria devido a incidentes de qualidade; • Redução do número de defeitos; • Diminui exponencialmente custos com retrabalho.
Melhoria	Criação de equipas (<i>Task Force</i>) para agirem de modo ativo em melhorias	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas recorrentes são identificados e tratados por equipas multidisciplinares.
Gestão de novos ativos	Através do <i>knowhow</i> possibilita a melhoria ganha através do TPM no design e concessão de novos equipamentos produtivos	<ul style="list-style-type: none"> • A segunda máquina sairá melhor do que a primeira; • Melhorias contínuas.
Educação	Conhecimentos dos gestores, pessoal de manutenção e colaboradores do processo produtivo	<ul style="list-style-type: none"> • Rotina da manutenção diária por parte do colaborador; • Pessoal do departamento de manutenção desenvolve técnicas de manutenção mais assertivas.
Segurança, Saúde e Ambiente	Manter um ambiente limpo e seguro	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar problemas de segurança e higiene; • Local sem acidentes.
Administração	Aplicação de ferramenta TPM ao nível administrativo	<ul style="list-style-type: none"> • Estender os benefícios do TPM para além do chão de fábrica; • Estender e suportar o departamento de produção de forma mais consistente.

Fonte: adaptado de PERRINI (2018)

5.6.1. Manutenção Autônoma

O objetivo da manutenção autônoma é capacitar os operadores para que eles tenham responsabilidade na manutenção das máquinas, executando tarefas básicas de manutenção como limpeza, organização e lubrificação (TADASHI, 2006).

5.6.2. Manutenção Planejada

O pilar da manutenção planejada é responsável por melhorar a eficiência global dos ativos e evitar paradas por falhas. Pode-se dizer que para evitar essas paradas, utiliza-se de manutenções preventivas e preditivas voltadas a programações baseadas em históricos de manutenção e recomendações do fabricante com o objetivo de evitar quebras, acompanhando e agindo sobre as anomalias apresentadas.

5.6.3. Manutenção de Qualidade

Este é voltado a qualidade dos produtos produzidos do equipamento, agindo para que não seja produzido peças de refugo, para este pilar utiliza-se de ferramentas de controle de processos para analisar as causas raiz dos problemas que geram pelas defeituosas, identificar e agir para redução de desperdícios. (TADASHI, 2006)

5.6.4. Melhoria Contínua

Envolver toda a equipe de forma multidisciplinar para identificar possíveis pontos de melhoria nos processos de produção, qualidade e manutenção.

5.6.5. Gestão dos Ativos

Trabalhar em conjunto para obter produtos mais simples de produzir e máquinas com uma operação mais fácil, tornando o processo de produção mais bem adequado e rápido.

5.6.6. Educação

Realizar treinamentos e capacitar a equipe de colaboradores para se adequar as novas tecnologias emergentes, garantindo um melhor desempenho, uma vez que todos os profissionais se qualificam, o uso dos equipamentos torna-se melhor e maior.

5.6.7. *Segurança, Saúde e Ambiente*

O objetivo deste pilar é manter o ambiente de trabalho mais seguro, limpo e organizado para o colaborador e o desenvolvimento mais sustentável, para isto, é necessário que a preocupação com o meio ambiente, políticas de reciclagem e treinamentos de segurança do trabalho sejam realizados de forma contínua, conscientizando toda a equipe dos perigos e impactos que estão presente no dia a dia da empresa (TADASHI, 2006).

5.6.8. *Administração*

O setor administrativo da empresa também deve se preocupar e participar da TPM, se preocupando com a qualidade e eficiência dos ativos, para isto é necessário que a equipe administrativa utilize de ferramentas como o 5s e o Lean Office com o intuito de aumentar o desempenho dos processos. (TADASHI, 2006).

5.6.9. *Objetivo da TPM*

O objetivo da TPM consiste em promover uma cultura integrativa da equipe de operadores com a manutenção e às máquinas, contribuindo com tarefas que fazem melhorar o desempenho dos equipamentos, realizando atividades voltadas a limpeza, organização e checando diariamente pontos de possíveis falhas dos ativos de forma a identificar potenciais quebras. Com esta metodologia, é possível alcançar uma melhoria estrutural na qualidade das máquinas por ter um acompanhamento diário do operador, mantendo assim, a equipe contribuindo em conjunto com a mesma finalidade, para isso, é necessário realizar treinamentos e criar *checklist's* contendo informações básicas para efetuar verificações em períodos que as tarefas do operador são menos produtivas, como antes do expediente e após o almoço (WYREBSKI 1997).

É importante ressaltar que a TPM deve fazer parte da cultura organizacional e administrativa da empresa pois além da operação, a gerencia também tem que se adequar a esta cultura de melhoria contínua, sem a colaboração de todos e sem definir metas a serem alcançadas, a metodologia não tem eficiência, além disto, é necessário fazer análises periódicas para comparar a redução no índice de defeitos e falhas das

máquinas, apresentando os pontos de melhoria e os próximos passos a serem tomados (WYREBSKI 1997).

5.7. Planejamento e Controle de Manutenção

O setor de PCM é responsável por todas as atividades de planejamento da manutenção, ela surgiu na década de 90 devido a necessidade e crescente atividade das indústrias e para acompanhar o desenvolvimento das tecnologias emergentes, conhecida também como engenharia de manutenção, é um setor que está associada a estrutura de manutenção da empresa, as funções que são realizadas pelo PCM, atividades relativas a coordenação e controle das manutenções, ela utiliza de estratégias baseada nos dados coletados das ordens de serviço para otimizar os tempos disponíveis de manutenção e mão de obra para um melhor desempenho dos materiais e ativos (CAMPBEL, 2017).

O sistema planejado de manutenção exige ter um controle de dados e de ferramentas para que possa mensurar os custos de manutenção, bem como, as atividades realizadas para a tomada de decisão estratégica da engenharia, por tanto, prever os gastos e os tempos alocados fazem parte da rotina dos analistas, programadores e coordenadores de manutenção, principalmente nas rotinas de programação de preventivas e tempos de máquina parada, que por sua vez afetam o lucro da empresa (CAMPBEL, 2017).

A falta de um bom planejamento da manutenção pode acarretar resultados insatisfatórios para a empresa, por conta deste fato, é necessário o sistema de gestão, para que possa obter um bom desempenho e aproveitamento de seus recursos na área da manutenção (LAMB et al., 2013).

Segundo Campbel (2017) os ativos de uma empresa, de acordo com seu nível de prioridade, devem ser classificados com o quanto aquele equipamento afeta no lucro da empresa, para fins de manutenção, a criticidade do equipamento deve ser definida como:

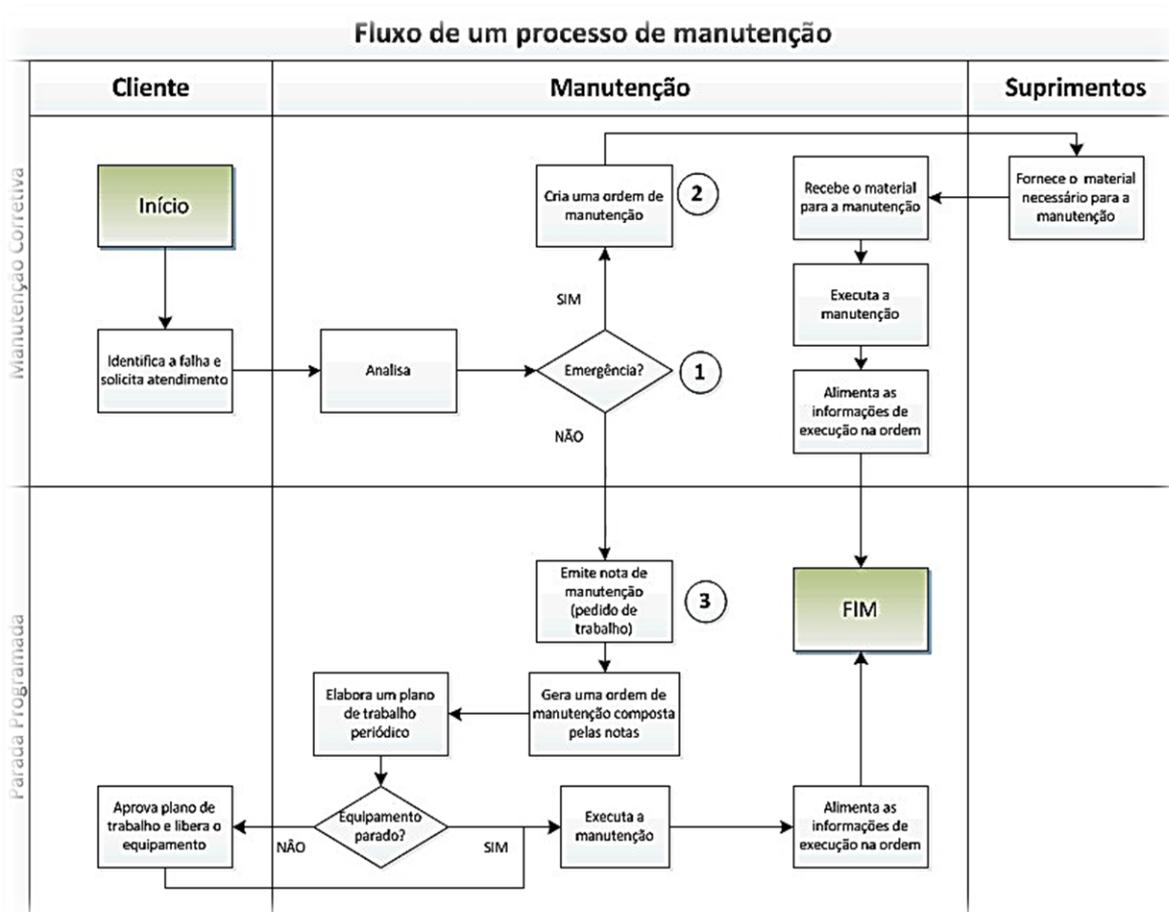
A- Item crítico, afeta o lucro da empresa pois faz parte essencial no processo produtivo, alta criticidade;

B- Complementa o processo produtivo e deve ser atendido assim que possível, média criticidade;

C- Equipamento comum, não é uma prioridade da empresa porque não afeta o lucro de maneira considerável. Baixa criticidade. (TAVARES, 1996)

A Figura 8, mostra o fluxo do processo de manutenção levando como base a equipe de manutenção, criticidade e o planejamento para programação da corretiva:

Figura 8 - Fluxo de um processo de manutenção



Fonte: Silveira (2012)

De acordo com Tavares (1996), o setor de manutenção em termos de organização se define em mantenedores que executam as atividades de manutenção e do planejamento e controle de manutenção que utilizam dos métodos e ferramentas

relativas à engenharia de manutenção para otimizar e organizar os recursos. Resumidamente, podemos classificar as atividades de acordo com a Tabela 3:

Tabela 3 - Tarefas de Manutenção.

Equipe de manutentores	PCM
Substituição de componentes	Dados e Indicadores
Lubrificação dos equipamentos	Programação de manutenção
Ajustes	Preventiva
Reformas de máquinas e equipamentos	Serviços externos de manutenção

Fonte: elaborado pelo Autor

As atividades programadas, são realizadas e efetuadas em dias e horários definidos pelo PCM, para um melhor aproveitamento de recursos, dependendo da prioridade do equipamento e da mão de obra disponível, outro fator importante é a disponibilidade de materiais para realizar a troca em uma eventual manutenção.

5.8. Indicadores de Manutenção

Os indicadores de manutenção podem ser definidos como dados estatísticos (informações, números, tempos, custos) extraídos do planejamento e das atividades de manutenção que apontam o que está sendo realizado pela equipe de manutenção. Podem ser utilizados para analisar e controlar o que ocorre no processo e tomar medidas para reduzir e otimizar as manutenções de acordo com às análises da equipe de planejamento (SILVA, 2016). Eles podem ser coletados das solicitações de serviço (SS) e ordens de serviço (OS).

Para compreender melhor esses dados, a Figura 9 exemplifica uma ordem de serviço contendo dados e informações pertinentes para a geração de indicadores.

Figura 9 - Exemplo de uma Ordem de Serviço

LOGO DA EMPRESA		Ordem de Serviços Nº		1096	
TAG: Camara_01		Descrição do equipamento: Camara			
Motivo:					
Tipo de serviço: <input checked="" type="checkbox"/> CORRETIVA <input type="checkbox"/> PREVENTIVA <input type="checkbox"/> MELHORIA <input type="checkbox"/> PREDIAL					
Parou a máquina?		Causa:(Conferir no verso)			
Descrição do serviço a ser realizado:					
Defeito na porta.					
Descrição do serviço realizado:					
Início da Ocorrência		Data: ____/____/____	Hora: ____:____	Mão de Obra	
				Nome	Data:
				Tempo	Regime
Início do Conserto		Data: ____/____/____	Hora: ____:____		

Fonte: Guia do Excel (2022)

Os indicadores são fundamentais para um bom desempenho do planejamento de manutenção, portanto, é importante que os valores extraídos sejam confiáveis para serem efetuados às análises e o controle dos ativos, também geram histórico dos acontecimentos que podem ser utilizados para uma decisão estratégica da manutenção e para calcular os indicadores, tanto para melhora quanto para mudanças nas formas de executar as manutenções, é por esses fatores que os indicadores e o preenchimento das ordens de serviço devem estar coerentes(SOUZA,2021).

5.8.1. Tipos de Indicadores

Entre os Indicadores de manutenção, apresento a seguir equações utilizadas para calcular os dados das atividades realizadas no processo:

5.8.1.1. Disponibilidade(D)

De acordo com Souza (2021), a disponibilidade é o indicador que demonstra o tempo em que a máquina esteve em condições de produção, ou seja, que estava apta para operação. Para calcular este indicador usa-se o valor em porcentagem, conforme demonstrado na Equação (1).

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{tempo total de produção} - \text{tempo de máquina parada}}{\text{tempo total de produção}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

- tempo total de produção: é o tempo em que a máquina tem para trabalhar;
- tempo de máquina parada: é o tempo em que o equipamento esteve em manutenção, não estava produzindo.

Pode-se utilizar esse indicador para analisar se os equipamentos estão em boas condições e que estão tendo poucas paradas para manutenção.

5.8.1.2. MTBF

O indicador MTBF do inglês (*Mean Time Between Failures*), ou tempo médio entre falhas, é o indicador responsável por calcular o intervalo médio em que pode ocorrer uma nova falha do equipamento, com base neste indicador é possível ter uma análise do que está acontecendo com a máquina devido ao seu histórico de manutenção, tornando possível uma previsão de outra possível falha (SOUZA, 2021).

Para calcularmos o MTBF, pode ser utilizado a equação (2):

$$\text{MTBF} = \frac{\text{disponibilidade (h)}}{\text{número de falhas}} \quad (2)$$

Para o MTBF, consideramos que:

- Quanto maior o tempo entre uma falha e outra, melhor;
- O MTBF é geralmente um valor que é calculado como média, portanto, não deve ser considerado uma regra;
- Ele pode ser utilizado para estimar quando vai acontecer uma nova falha no equipamento.

5.8.1.3. MTTR

O MTTR do inglês (*Mean Time To Repair*), ou todo português tempo médio em reparo, é o tempo médio em que o equipamento permanece em manutenção. O indicador demonstra o tempo em que o manutentor demora em média em um reparo no equipamento, se o MTTR indicou que em média o manutentor ficou 1h em reparo

no equipamento, quer dizer que geralmente, a manutenção naquele equipamento medido é em média 1h. Ele é de alta importância para calcular a eficiência da equipe em reparos dos ativos (SILVA, 2016).

O MTTR é calculado conforme Equação (3):

$$MTTR = \frac{\text{tempo total de máquina parada por falhas (h)}}{\text{número de falhas na máquina}}$$

(3)

Para este indicador, é convencional que:

- Quanto menor o tempo em reparo, melhor;
- É um valor médio, portanto, não deve ser levado como uma regra;
- Ele indica em média, em quanto tempo temos o equipamento de volta para produção.

5.8.1.4. Performance - P

Segundo Rodrigo (2015), a performance das máquinas é muito importante para um processo produtivo pois relaciona a velocidade do equipamento a sua capacidade ideal, com esta equação, é possível saber se a máquina está atendendo o desempenho definido pelo fabricante. Para cada máquina que é projetada e fabricada, existe a velocidade do ciclo teórico (V_{ct}), esse parâmetro é definido pelo fabricante e pode ser achado em manuais técnicos dos equipamentos e pode ser dado pelas medições realizadas nos processos produtivos.

Para calcular este indicador, utiliza-se a seguinte equação (4):

$$P = \frac{V_{cr}}{V_{ct}} \times 100\%$$

(4)

Onde:

- V_{cr} - Velocidade do ciclo real
- V_{ct} - Velocidade do ciclo teórico

5.8.1.5. Qualidade- Q

A qualidade é um fator que toda indústria precisa buscar e trabalhar para um bom desempenho, ela busca formas de manter a produção de acordo com as

especificações e evitar os desperdícios, abaixar o valor das unidades produzidas (U_p) diminuindo as unidades de refugo (U_r), obtém-se o número de unidades boas (U_b) (MEGIOLARO, 2015).

O índice de qualidade (Q), é calculado pela seguinte equação (5):

$$Q = \frac{U_b}{U_p}$$

(5)

Onde:

- U_b = Unidades produzidas boas
- U_p = Unidades totais produzidas

5.8.1.6. OEE

O índice de efetividade do equipamento, do inglês (*Overall Equipment Effectiveness*), é o principal indicador da manutenção, ele foi criado e introduzido por Seiichi Nakajima, como um indicador fundamental para calcular o desempenho de um equipamento, o OEE também faz parte da metodologia TPM como principal indicador. É importante a aplicação do OEE porque ele mede a efetividade do equipamento de forma direta (OEE, 2021).

Para calcular o OEE, utiliza-se o produto da performance x qualidade x disponibilidade, conforme a seguinte equação (6):

$$OEE\% = P\% \times Q\% \times D\%.$$

(6)

Onde:

- P = performance %
- Q = Qualidade %
- D =Disponibilidade %

Para aumentar o valor do OEE, precisamos saber quais são as grandes perdas que afetam a produtividade do equipamento e identificar os seus 6 maiores impactos para reduzi-los e eliminá-los. A Figura 10, demonstra os maiores fatores que impactam na efetividade do OEE:

Figura 10 - Grandes perdas que afetam o OEE



Fonte: ACCEPT Quality Control Solutions (2019)

5.9. Manutenção 4.0

Tendo em vista o crescente avanço tecnológico, as empresas devem sempre buscar mudanças nos processos de manutenção e suas tecnologias, uma forma é acompanhar as ferramentas emergentes das revoluções industriais. A indústria 4.0 é uma transformação digital nos meios de trabalho, logo, a manutenção 4.0 também é uma inovação que busca formas de digitalizar os processos de manutenção, utilizando ferramentas via softwares que melhoram as operações e monitoramento dos equipamentos, eliminando desperdícios e controlando em tempo real as falhas e os meios de produção, atacando os prejuízos industriais (MANUTENÇÃO 4.0, 2021).

De acordo com Righetto (2020), para atender as demandas de produção atual que exigem uma entrega *just in time*, em outras palavras, produzir no tempo certo, na quantidade certa e com qualidade a partir da demanda solicitada, as empresas buscam reduzir a ociosidade das máquinas de forma a atender estas demandas, pois para ter uma produção confiável, é necessário sempre que tiver programação de pedidos, o ativo esteja em condições de trabalho e produzindo com confiabilidade, com isto, muitas organizações enxergaram na manutenção 4.0 às ferramentas que

podem solucionar estes problemas industriais, que sofrem repetidas vezes com os prazos de entrega afetados por paradas de máquina não planejada, prejudicando diretamente o lucro cessante da empresa. Para tal problema, os dispositivos interconectados, sensores e a internet das coisas, são fundamentais no processo de monitoramento e controle de falhas, possibilitando um acompanhamento em tempo real via geração de dados das variáveis do processo e dos componentes das máquinas.

Com o advento da indústria 4.0 e uma crescente automatização dos processos produtivos, surgem novas ferramentas como meios de monitoramento e controle de processos, pensando nisto, para aumentar a confiabilidade e a competitividade da empresa, é necessário se adequar aos padrões mundiais de desenvolvimento. A seguir apresento ferramentas que são utilizadas na manutenção 4.0:

- Internet das Coisas (IOT);
- Sensores sem fio;
- Computação em nuvem;
- Inteligência Artificial (IA);
- *Big Data*;
- *Machine Learning*;
- Realidade aumentada.

A utilização dessas tecnologias é aplicada para modernizar os processos de fabricação, controlando e monitorando em tempo real as variáveis do processo e gerando informações para tomada de decisões do planejamento, como: falhas, vibrações e variações do processo, indicando as conformidades e não conformidades do processo (MANUTENÇÃO 4.0, 2021).

5.9.1. Manutenção preditiva 4.0 machine learning

A manutenção preditiva 4.0 que utiliza o *machine learning* ou em português (aprendizado de máquina), consiste em um conjunto de sensores que coleta dados em tempo real do equipamento e que geram histórico de falhas acontecidas no período de monitoramento, a junção destes dados com algoritmos aplicados para aprendizado de máquina, podem prever às potenciais falhas, com isto, agir

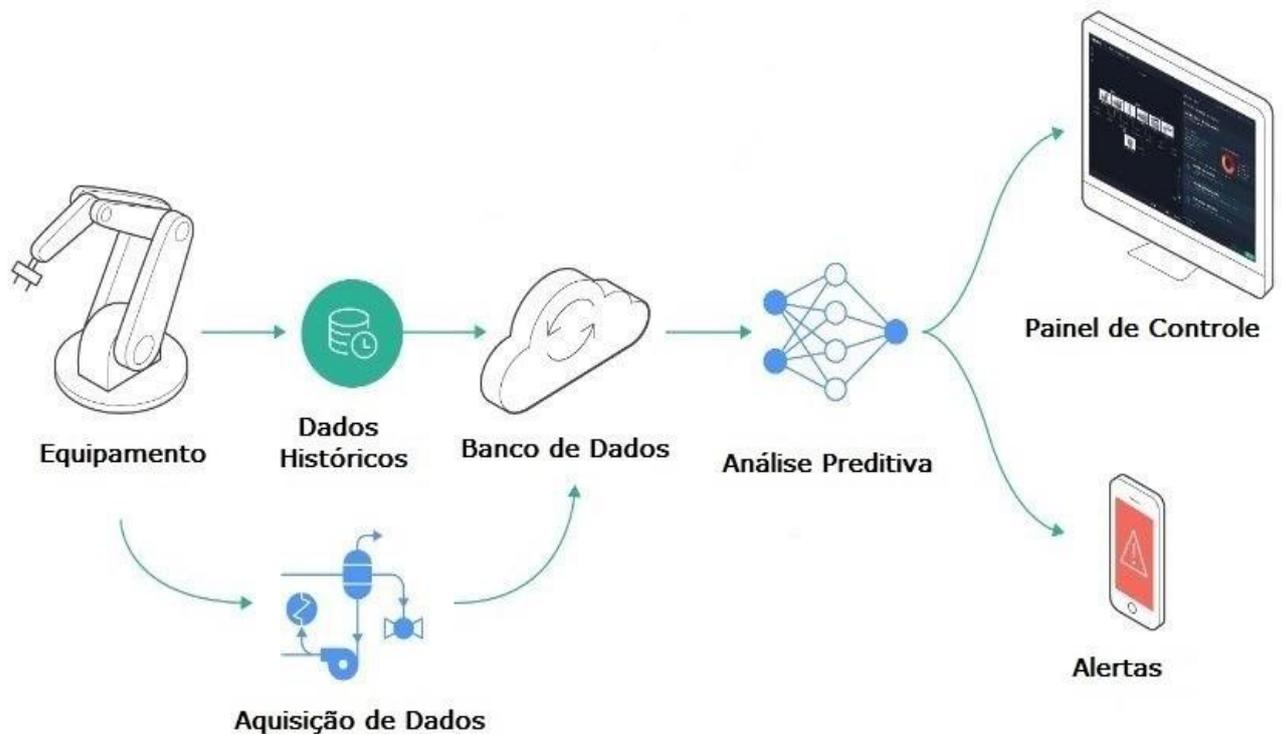
preventivamente e substituir o componente em uma parada programada, aumentando assim, o período de atividade da máquina (RIGHETTO, 2020).

5.9.2. Arquitetura da manutenção preditiva 4.0

Às novas tecnologias emergentes da indústria 4.0 aplicadas a manutenção, proporcionam a manutenção preditiva online, às máquinas estão conectadas por um sistema de dados em uma unidade de nuvem desenvolvida para análise preditiva, os dados são processados via sistema que gera informações do processo e ajuda na tomada de decisão da manutenção industrial (MOTAGHARE, 2018).

A Figura 11 exemplifica a arquitetura da manutenção preditiva 4.0

Figura 11 - Estrutura da manutenção preditiva 4.0



Fonte: Righetto (2020)

O histórico de falhas que é gerado a partir da aquisição de dados é muito importante no planejamento estratégico da manutenção, pois o painel de controle tem a informação em tempo real vai estar conectada com a equipe de manutenção fazendo diversas análises, facilitando a inspeção da máquina. É de suma importância que o sistema esteja funcionando adequadamente para que possa monitorá-lo e identificar qualquer não conformidade, para isto, os sensores de monitoramento são responsáveis pela captura de dados do processo de acordo com os parâmetros programados da máquina (MOTAGHARE, 2018).

5.9.3. Manutenção inteligente

De acordo com Smart, (2020?) quando falamos de indústria 4.0, a manutenção inteligente consiste na aplicação de ferramentas digitais utilizadas para contribuir com a equipe técnica, encaminhando em tempo real informações e dados enviados a um

sistema de controle de processo, tornando a assistência técnica acessível para toda a equipe, analisando o que está acontecendo na fábrica e agindo quando necessário.

O processo de manutenção das indústrias envolvem análises de dados e históricos de reparos anteriores que exigem uma inteligência na tomada de decisões e sistemas capazes de informar e detectar por via de gráficos e indicadores que informam a rotina e as falhas dos equipamentos em tempo real, considerando esses fatores, fica evidente que os profissionais envolvidos no processo necessitam se capacitar para se adequar a esse quadro necessário para um bom desempenho com confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, logo, o setor de manutenção deve deter o conhecimento do processo de forma inteligente (GONÇALVES, 2011)

As manutenções inteligentes são responsáveis por analisar e detectar as falhas e anomalias antes mesmo da equipe de manutenção pois conta com tecnologias de sensores que geram dados das variáveis do processo, detectando às não conformidades e enviando alertas, otimizando assim, o tempo de resposta do time de manutentores, que quando alertados, podem tomar uma ação corretiva ou preventiva de forma programada sem interromper a produção, além disto, o próprio sistema é capaz de realizar ajustes de regulação automaticamente sem o auxílio humano, evitando assim, desgastes e avarias de processo, detectando aumento de pressão, temperatura, parâmetros que estão fora do programado e mudar a variável para a que atende o processo (SMART, 2020?).

Existem várias formas de digitalizar o processo de produção, mas quando falamos de manutenção inteligente, é possível identificar algumas vantagens que torna viável a utilização desta tecnologia como:

- Aumento na capacidade de visualização do processo;
- Comunicação em tempo real da equipe de manutenção;
- Reduzir gastos com mão de obra para manutenção;
- Aumento de paradas programadas;
- Redução de tempo de resposta da equipe de manutenção;
- Maior produtividade do ativo;
- Melhoria considerável nas análises de falhas.

É importante sempre observar que quando falamos de indústria 4.0, temos também consequências negativas, neste sentido, às tecnologias digitais também afetam de forma negativa a indústrias como:

- Redução de empregos por prestar atividades que necessitavam de mão de obra;
- Falta de mão de obra qualificada;
- Alto custo de implementação.

É importante conhecer estes novos sistemas e entender seu funcionamento pois o profissional do futuro terá que encarar estes desafios e deve se adequar com as novas tecnologias. O futuro da indústria com certeza é a fábrica inteligente, a transformação digital que nos aguarda leva tempo e levam as empresas a buscar tecnologias, nesse contexto, a manutenção inteligente também necessita de inovação e tecnologia para se crescer no mercado, além de mão de obra capacitada para operar e entender estes novos sistemas (SMART, 2020?).

6. INDÚSTRIA 4.0

6.1. Internet das Coisas (IoT)

O conceito Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) surgiu em 1999, por Kevin Ashton (PERRINI, 2018). A concepção de Kevin Ashton era a interligação dos computadores através de redes, trabalhando de forma independente sem intervenção humana. Sendo o papel do homem unicamente de supervisionar as operações executadas, acarretando a otimização dos recursos.

Atualmente, esse conceito tem se tornado realidade com o desenvolvimento de tecnologias que possibilitam tal interligação, que vão desde pessoas e seus computadores pessoais, até sensores de movimentos que controlam acesso ou verificam se uma porta está devidamente fechada.

Com a implementação do conceito de Internet das Coisas no ramo industrial temos um novo termo denominado, Internet Industrial das Coisas (IIoT – *Industrial Internet of Things*). Do qual tratava-se da utilização do IoT no ambiente industrial. O conceito de IIoT refere-se à interligação das máquinas através de redes, onde é

6.2. Comunicação em Nuvem

A coleta e análise de dados pelo IIoT é constante e se mantém compartilhada entre os setores da empresa, desde a parte de produção até o setor gerencial. Devido a essa interconexão constante entre máquinas e equipamentos a produção de dados torna-se volumosa. Esse grande volume de dados acarreta a sua inviabilidade de armazenamento físico, sendo executado apenas por uma única empresa (BORLIDO, 2017).

A comunicação em nuvem é uma ferramenta que surge com o intuito de solucionar essa grande demanda por espaço de armazenamento e compartilhamento de dados. O armazenamento através da nuvem é realizado por servidores digitais e não de forma local como nos servidores físicos. Possibilitando menor gasto com dispositivos de armazenamento físico como o disco rígido. Além disso, o gasto de manutenção de um servidor é menor quando comparado aos gastos de aquisição de equipamentos de armazenamento físico.

De acordo com Borlido (2017), à disponibilidade de gigabytes gratuito, a segurança de dados armazenados e a sincronização automática de ficheiros, são as principais vantagens dos serviços de armazenamento em nuvem. Outra vantagem da nuvem é a possibilidade de sincronização automática que, mesmo *off-line*, ao alterar-se um documento, ele é replicado no servidor onde se encontra armazenado quando conectar-se a nuvem.

Algumas empresas prestam serviços na área de armazenamento em nuvem como o OneDrive da Microsoft, o Google Drive da Google, e o DropBox, da DropBox Inc, cada um com suas características referentes a segurança, sincronização e armazenamento.

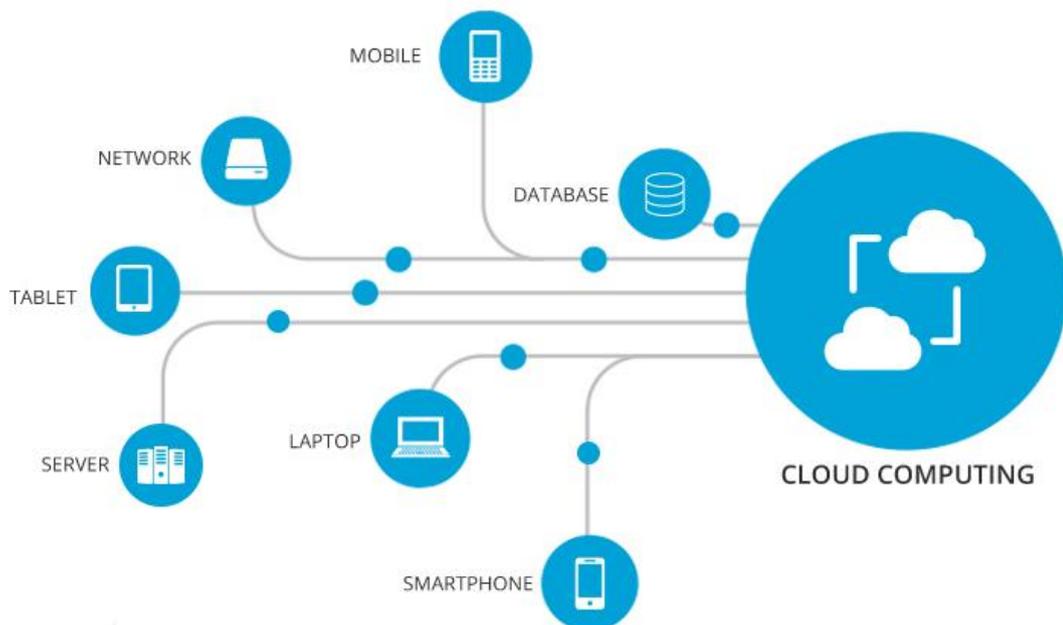
Além dos benefícios já citados, podemos mencionar dois termos que apresentam vantagens referentes ao espaço físico da empresa e a redução de custo, o *Cloud Computing* e a Virtualização.

Segunda a Mandic (2022?) O *Cloud Computing* trata-se da utilização de recursos de hardware como processadores, memória e armazenamento de dados de maneira integrada através da internet, sem a necessidade de investimento em equipamentos que, na maioria das vezes, elevariam o gasto da empresa.

Devido essa integração pela internet o *Cloud Computing* está fortemente ligado a redução de custos, visto que utiliza de equipamentos com menor tecnologia para servirem de ponto de acesso enquanto os equipamentos mais tecnologicamente robustos, estes em menor quantidade, são responsáveis pela alta performance e processamento.

A figura a seguir esquematiza o funcionamento do *Cloud Computing*, onde é possível observar a relação de comunicação entre equipamentos com menor performance com um equipamento de alta performance, este responsável pelo processamento bruto de todo o processo.

Figura 13 - Cloud Computing



Fonte: Tech Trainees (2018)

A Virtualização, ainda de acordo com a Mandic (2022?), trata-se da capacidade de isolar os sistemas e aplicações do hardware em consequência da criação de infraestruturas virtuais a partir de uma única estrutura física, onde um computador de alta performance é capaz de substituir os serviços de vários outros computadores, poupando espaço físico e garantindo o atendimento da demanda.

A figura a seguir demonstra a substituição de computadores de menor capacidade de processamento por um computador de alta performance, estando a Virtualização fortemente ligada a economia de espaço físico dentro de uma empresa.

Figura 14 - Virtualização dos servidores



Fonte: CRMG (2014)

Apesar de o *Cloud Computing* ser considerado uma evolução da Virtualização, eles se diferem, a virtualização está ligada a economia de espaço físico empresarial como também a custos inerentes à aquisição de equipamentos e à manutenção dos mesmos. Enquanto o *Cloud Computing* está mais associado com a redução de custos do que a economia de espaço.

Luiz Alcoba (2013) diferencia estes dois termos da seguinte maneira:

“Essencialmente, a virtualização difere da computação na nuvem porque é um software que manipula o hardware, enquanto a computação na nuvem é o resultado dessa manipulação.”

É importante salientar que, apesar de apresentar muitos benefícios voltados a redução de custo, há pontos negativos que devem ser considerados, sendo estes ligados a cibersegurança. Considerando que a maior parte das informações de uma empresa é sigilosa e vital para garanti sua competitividade.

Segundo a Revista Mirante, os fatores de risco de um modelo de implementação em nuvem são:

- Investimentos necessários em segurança, que geram riscos de indisponibilidade, perda, roubo ou divulgação de dados e/ou informações;
- Competências de TI na Nuvem, que incluem riscos de indisponibilidade, perda, roubo e/ou divulgação, perda de desempenho e performance de softwares ou sistemas;

- O espaço em disco, sendo uma das principais desvantagens da utilização da virtualização, pois cada máquina virtual precisa de todos os arquivos do sistema operacional instalado;

6.3. Robótica e Impressão 3D

De acordo com Finance (2015), a impressão 3D refere-se a um grupo de tecnologias que produzem objetos através de adição de material, em vez de remover, como é utilizado nos métodos mais tradicionais de fabricação. É bem presente atualmente e pode ser utilizada na Indústria 4.0 e na manutenção industrial.

A impressão 3D possui basicamente 4 tipos de processos ligados a fabricação, cada deles com sua peculiaridade no processo aditivo (FINANCE, 2015):

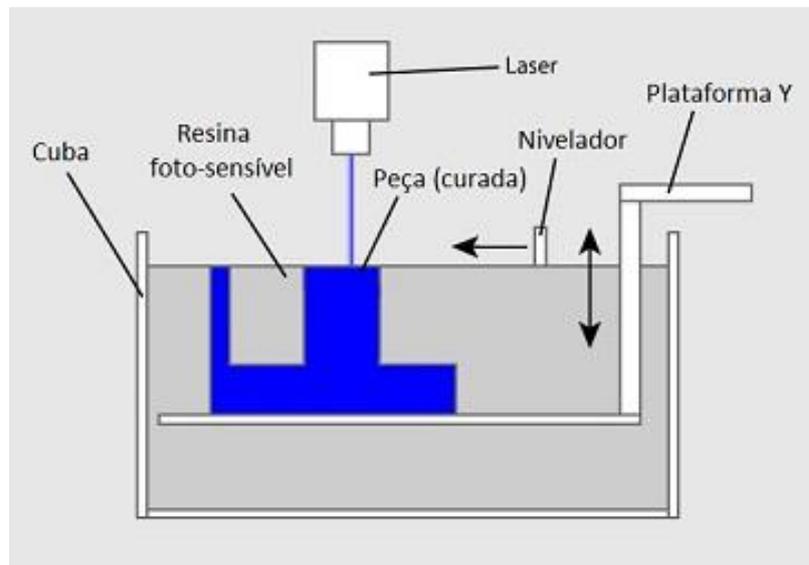
- Polimerização luminosa;

Um plástico ou resina líquida, sensível a luz, é endurecido através de ação luminosa. A estereolitografia, e o processo luminoso digital (DLP) são alguns exemplos de processos de impressão 3D que utilizam a polimerização luminosa, e diferenciam-se apenas pelo tipo de luz utilizada (FINANCE,2015).

As impressoras 3D que utilizam essa tecnologia são capazes de construir camadas inteiras de uma só vez. Proporcionando maior qualidade para a peça e velocidade de produção. Contudo, seu custo e complexibilidade de manuseio são elevados (PRINT IN 3D,2018).

A Figura 15 apresenta uma cuba com resina líquida que é endurecida através de ação luminosa.

Figura 15 - Impressão 3D com resina líquida



Fonte: 3d Lab (2018)

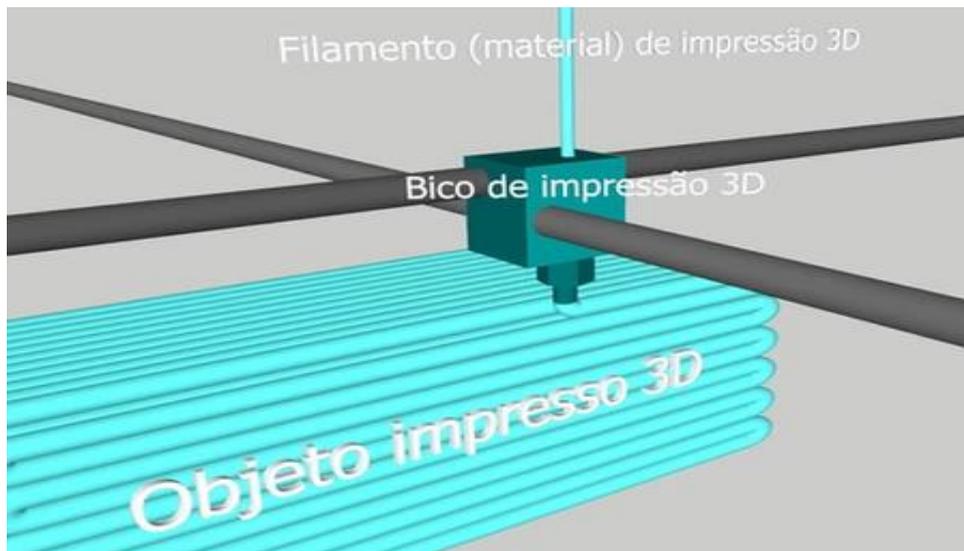
- Acréscimo de extrusão;

Filamentos de plástico são aquecidos e depositados de camada em camada. Ao entrar em contato com a camada anterior o plástico esfria e funde, formando a peça (FINANCE,2015).

As impressoras que utilizam esta tecnologia funcionam através de modelagem por deposição fundida (FDM), sendo essa a tecnologia de impressão 3D mais acessível de todas. Apesar de ser um processo demorado, permite a produção de protótipos funcionais e/ou produtos finais (PRINT IN 3D,2018).

A Figura 16 mostra o funcionamento da modelagem por deposição fundida, onde o bico de impressão tem a capacidade de movimentar-se em 3 eixos em relação ao objeto de impressão.

Figura 16 - Impressão 3D por camada



Fonte: Print in 3D (2018)

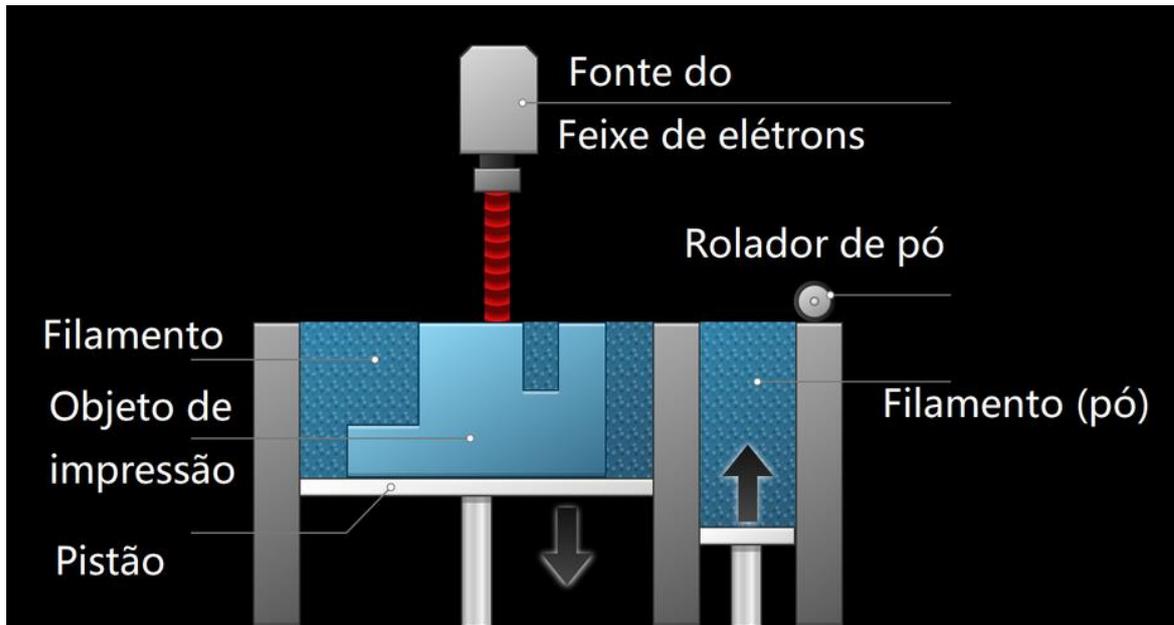
- Compositor de matérias granulares;

Utiliza a mesma tecnologia da polimerização luminosa, sendo a luz responsável pela modificação das propriedades do material, entretanto, no lugar da resina líquida é utilizado um pó.

Exemplos de impressoras 3D que funcionam embasados nesta tecnologia são: a Sinterização Seletiva a Laser (SLS), que altera as propriedades do pó; a Fusão Seletiva a Laser (SLM), que derrete e funde pós metálicos através de um laser super potente; e a Fusão de Feixe de Elétrons (EBM), que utiliza raios de elétrons para modificar as propriedades do pó. O custo de fabricação utilizando este tipo de impressão 3D é altamente elevado (PRINT IN 3D,2018).

A Figura 17 esquematiza o funcionamento da impressão 3D por EBM, onde o pó metálico derrete em contato com o feixe de elétrons, formando o objeto de impressão.

Figura 17 - Impressão 3D por feixe de elétrons



Fonte: Print in 3D (2018)

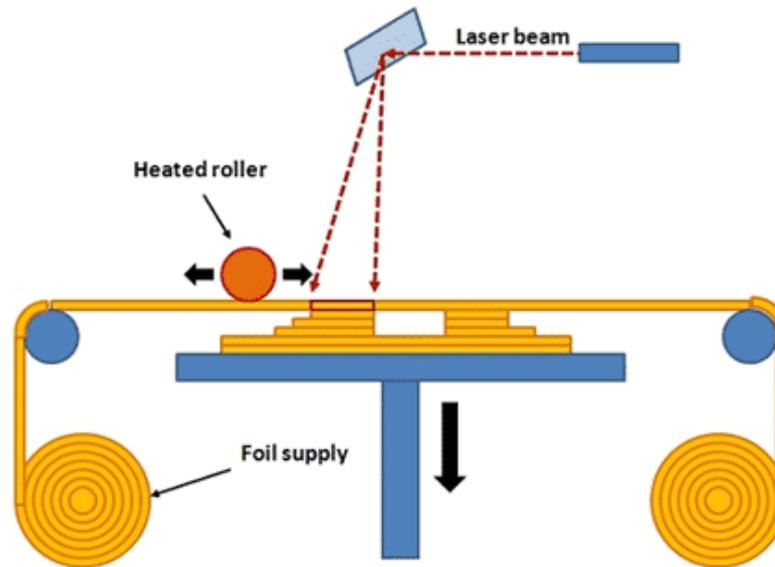
- Laminação em camadas

Nesse tipo de impressão 3D o objeto é fabricado, camada por camada por meio de laminação (FINANCE, 2015).

A fabricação de objetos laminados (*Laminated Object Manufacturing*, LOM), é um sistema de prototipagem rápida. Onde camadas de papel revestido com adesivo, plástico ou laminados de metal são fundidos usando calor e pressão e, em seguida, cortados com um laser controlado por computador (3D LAB, 2018).

A Figura 18 demonstra o processo de impressão por laminação, onde o rolo aquecido passa pelas folhas revestidas com adesivo, em seguida o laser corta a peça de acordo com as dimensões desejadas.

Figura 18 - Impressão 3D por laminação



Fonte: 3dLab (2018)

A utilização da impressão 3D torna a fabricação de um produto mais flexível, podendo atender as necessidades específicas do mercado, agilizar a prototipagem de um equipamento e identificar falhas e melhorias.

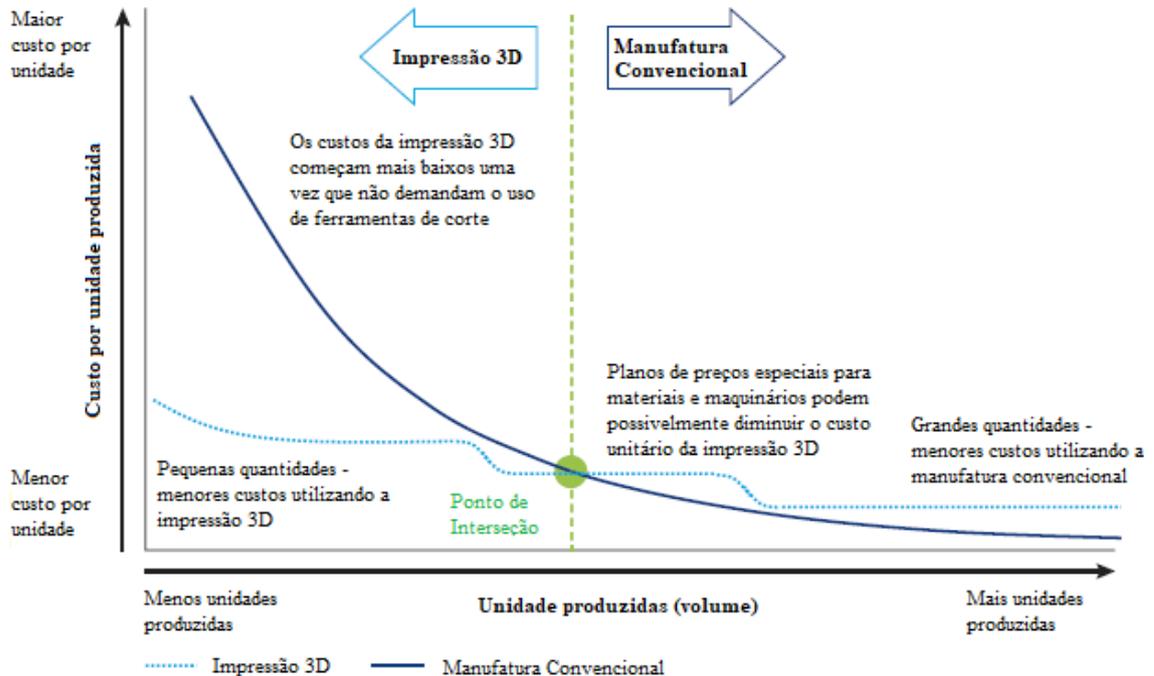
Print in 3D (2018) estende essa flexibilização da produção para o fator preço e produtividade. A tabela a seguir apresenta a produtividade, velocidade, preço e precisão das tecnologias de impressão 3D, apresentando vantagens e desvantagens de acordo com sua aplicação.

Tabela 4 - Custo e produtividade

Tecnologia	Velocidade	Precisão	Produtividade	Preço	Diversidade de Materiais
DLP	Baixo	Alto	Alto	Médio	Médio
FDM	Médio	Médio	Alto	Baixo	Alto
SLS	Médio	Alto	Alto	Alto	Alto
SLM	Baixo	Médio	Baixo	Alto	Baixo
EBM	Médio	Alto	Médio	Alto	Baixo
LOM	Alta	Médio	Médio	Baixo	Médio

Fonte: Print in 3D (2018)

Além do preço de tais ferramentas, seu custo também é afetado pela quantidade de produtos fabricados como podemos observar na Figura 19, a seguir.

Figura 19 - Fabricação Convencional X Impressão 3D

Fonte: Adaptado de Finance (2015)

O ponto de intersecção, de cor verde, representa o ponto de equilíbrio no gráfico, onde independentemente do método de fabricação seu custo é o mesmo.

Finance (2015) afirma que, a impressão 3D apresenta vantagens em relação a produção em pequena escala. Já a fabricação convencional ainda oferece vantagem em relação aos custos de produção quando a quantidade a ser produzida é volumosa, sendo assim mais vantajosa que uma produção por impressão 3D, entretanto essa realidade pode mudar.

Uma das maneiras de reduzir o custo de produção em larga escala pela impressão 3D trata-se de um plano de preços especiais em negociações de grande escala (FINANCE, 2015).

Borlido (2015) afirma que a tendência é que a produção em massa seja bem menos visível uma vez que a impressão 3D oferece precisamente o contrário: vantagens enormes para pequenos volumes.

6.4. Realidade Virtual

A Realidade Virtual (RV) é um conceito presente na área da computação e se constitui pela criação de um ambiente virtual no qual se pode interagir, os quais são criados no intuito que os usuários não consigam diferenciar o real do virtual (FIALHO, 2018).

Como ferramenta da Indústria 4.0, pode representar grandes avanços para o ambiente industrial, em especial no setor de manutenção industrial. Através de sua utilização é possível realizar simulações com diferentes níveis de dificuldades, proporcionando um treinamento com condições mais próximas da realidade (JUNIOR, s.d.).

Um exemplo de aplicação da realidade virtual para treinamento de procedimentos de manutenção é apresentado pela VirtuaSIM, onde é possível executar a troca de óleo de um componente mecânico de uma aeronave conhecido como IDG.

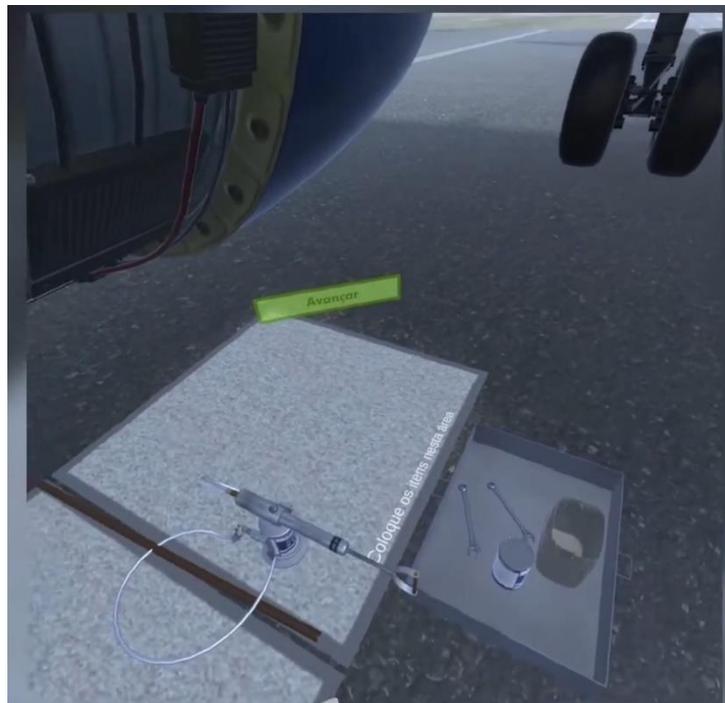
De acordo com Adriano (2012?), IDGs são unidades Hidromecânicas que trabalham com um sistema fechado de arrefecimento e filtragem de óleo, as Figuras 20 e 21 a seguir apresenta a tela inicial de um simulador de manutenção de aeronaves e as ferramentas para a troca de óleo.

Figura 20 - Simulador de manutenção



Fonte: VirtualSIM (2020)

Figura 21 - Simulador de manutenção



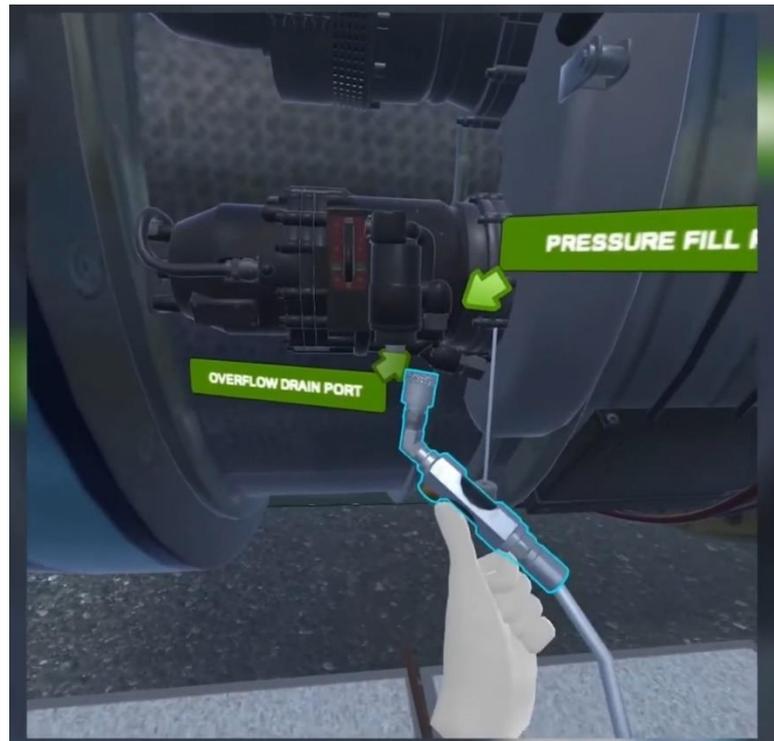
Fonte: VirtualSIM (2020)

Como o circuito de óleo do IDG é um sistema fechado e não tem consumo ou perda de quantidade de óleo em seu interior durante o funcionamento, alguns

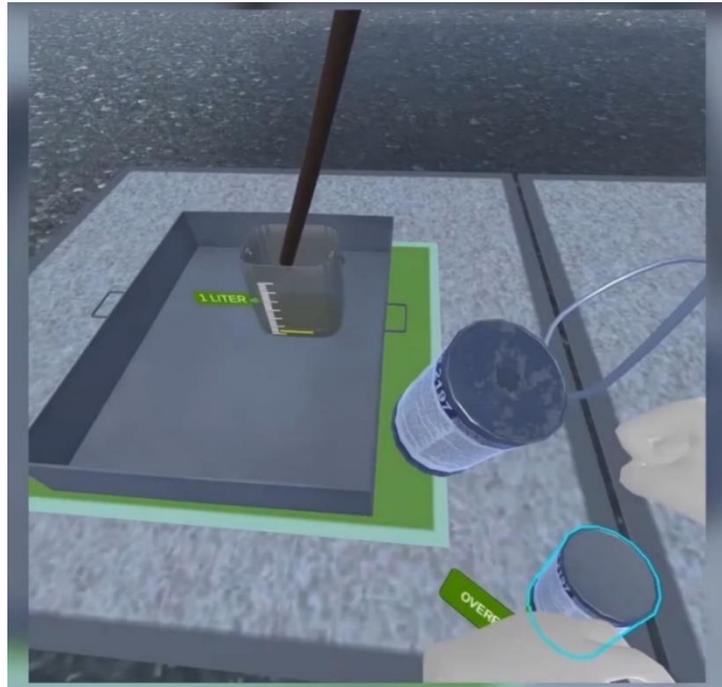
operadores levavam tempo demais para executar trocas de óleo e filtros (Adriano, 2012?).

Nas Figuras 22 e 23 abaixo temos a abertura do componente e a remoção do óleo antigo.

Figura 22 - Troca do óleo



Fonte: VirtualSIM (2020)

Figura 23 - Troca de óleo

Fonte: VirtualSIM (2020)

Após a remoção, o operador instala um novo óleo para manter a peça em perfeito funcionamento e fecha o componente, como mostra as Figuras 24 e 25 a seguir.

Figura 24 - Instalação do novo óleo



Fonte: VirtualSIM (2020)

Figura 25 - Instalação do novo óleo



Fonte: VirtualSIM (2020)

Caso o treinando não consiga executar o procedimento de maneira correta, o sistema retornará ao modo de treinamento anterior, possibilitando repetir o simulado.

Quando o usuario consegue efetuar todos os procedimentos corretamente, o sistema entende que o conteudo foi dominado e permitira o mesmo escolher um novo procedimento de manutenção.

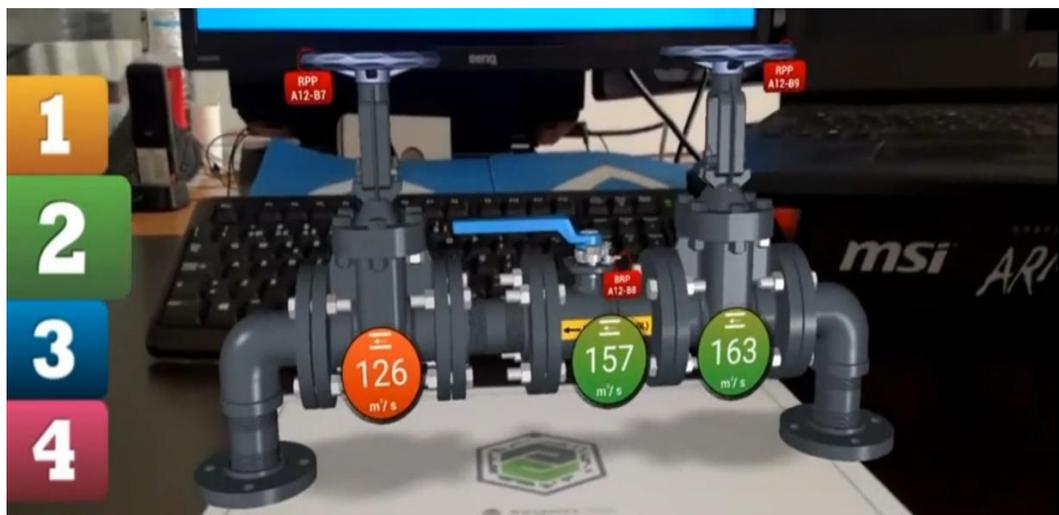
6.5. Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada é a interseção entre o ambiente real e o ambiente virtual, ou seja, é uma particularização da Realidade Misturada (DE OLIVEIRA, 2009).

As simulações proporcionadas pela realidade aumentada contribuem na diminuição de custos, na antecipação de problemas, a previsão de tempo médio da realização da atividade realizada, visualização de possíveis processos a serem implantados, modificados ou corrigidos e por fim impactar de maneira prolífera na produtividade industrial, seja pela rápida manutenção com baixo custo, seja pela capacitação em pouco tempo com a utilização deste aparato tecnológico (ABREU et al.,2018).

A figura 26 baixo demonstra a utilização da realidade aumentada na manutenção de uma válvula.

Figura 26 - Reparação de uma Válvula



Fonte: TCA Innocation Experts(2017)

Além disso, a utilização de Realidade Aumentada também possibilitaria o usuário a obter mais fácil e rapidamente informações de outros setores da empresa e/ou indústria (ABREU et al.,2018).

Tabela 5 - Tipos de Realidade Aumentada

Sistema de visão ótica direta	Utiliza equipamentos como óculos e capacetes com lentes, que permitem o recebimento das imagens virtuais ajustadas ao ambiente real, projetando a combinação de ambas, diretamente aos olhos do usuário.
Sistema de visão direta por vídeo	Também através de capacetes, porém com microcâmeras acopladas que permitem misturar os ambientes reais e virtuais e apresentá-los diretamente aos olhos do usuário pelo monitor montado no próprio capacete
Sistema de visão baseado em monitor	Utiliza uma webcam para capturar a cena real. Após esta captura, a imagem é gerada através de programas, misturada com objetos da realidade virtual e apresentada, para o usuário, na tela de seu monitor.
Sistema de visão ótica por projeção	Utiliza superfícies do ambiente real, onde são projetadas imagens holográficas tridimensionais dos objetos virtuais, cujo conjunto é apresentado ao usuário que o visualiza sem a necessidade de nenhum equipamento auxiliar.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2009)

A utilização da Realidade Aumentada torna-se uma opção extremamente viável uma vez que o espaço físico necessário para sua utilização é mínimo e a partir do mesmo o acesso aos dados seria possível e facilitado. O técnico pode facilmente deixar ao alcance de seus olhos, na visão periférica por exemplo, as páginas dos manuais e das fichas que ele necessita para o serviço.

7. POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO COM A INDÚSTRIA 4.0

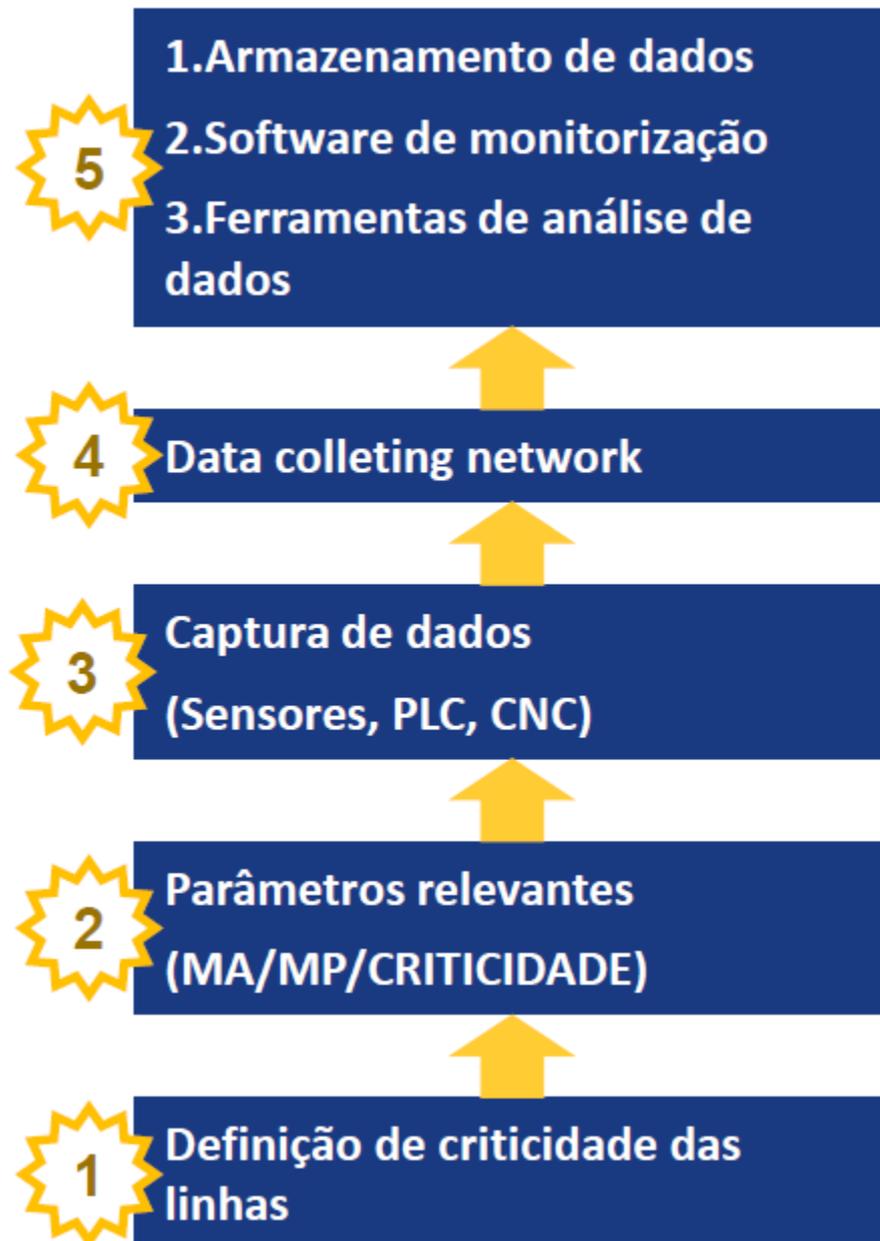
7.1. Renault Cacia

Com a manutenção exercendo cada dia mais um papel estratégico dentro das organizações, fica cada dia mais necessário políticas e práticas para que ela possa reduzir custos e aumentar eficiência em equipamentos da linha produtiva. Sendo assim a Renault Cacia, juntamente com a Universidade de Aveiro buscaram se unir para apresentar o projeto de uma ferramenta de monitorização de equipamentos que possui a capacidade de coletar e fornecer informações que ajudam a equipe de manutenção a evitar paradas por falhas desnecessariamente bem como um histórico para ações preventivas na manutenção (INOCÊNCIO, 2017).

No âmbito da manutenção a Renault Cacia busca sempre encontrar soluções em três processos: a manutenção corretiva, preventiva e o plano de manutenção autónoma sendo esse último crucial para a facilitação das tarefas feita tanto pelo operador como pelo supervisor da equipe de manutenção (INOCÊNCIO, 2017).

Para desenvolver o sistema de monitorização contínua foi separado em fases conforme figura abaixo:

Figura 27 - Etapas de desenvolvimento para o sistema de monitorização contínua



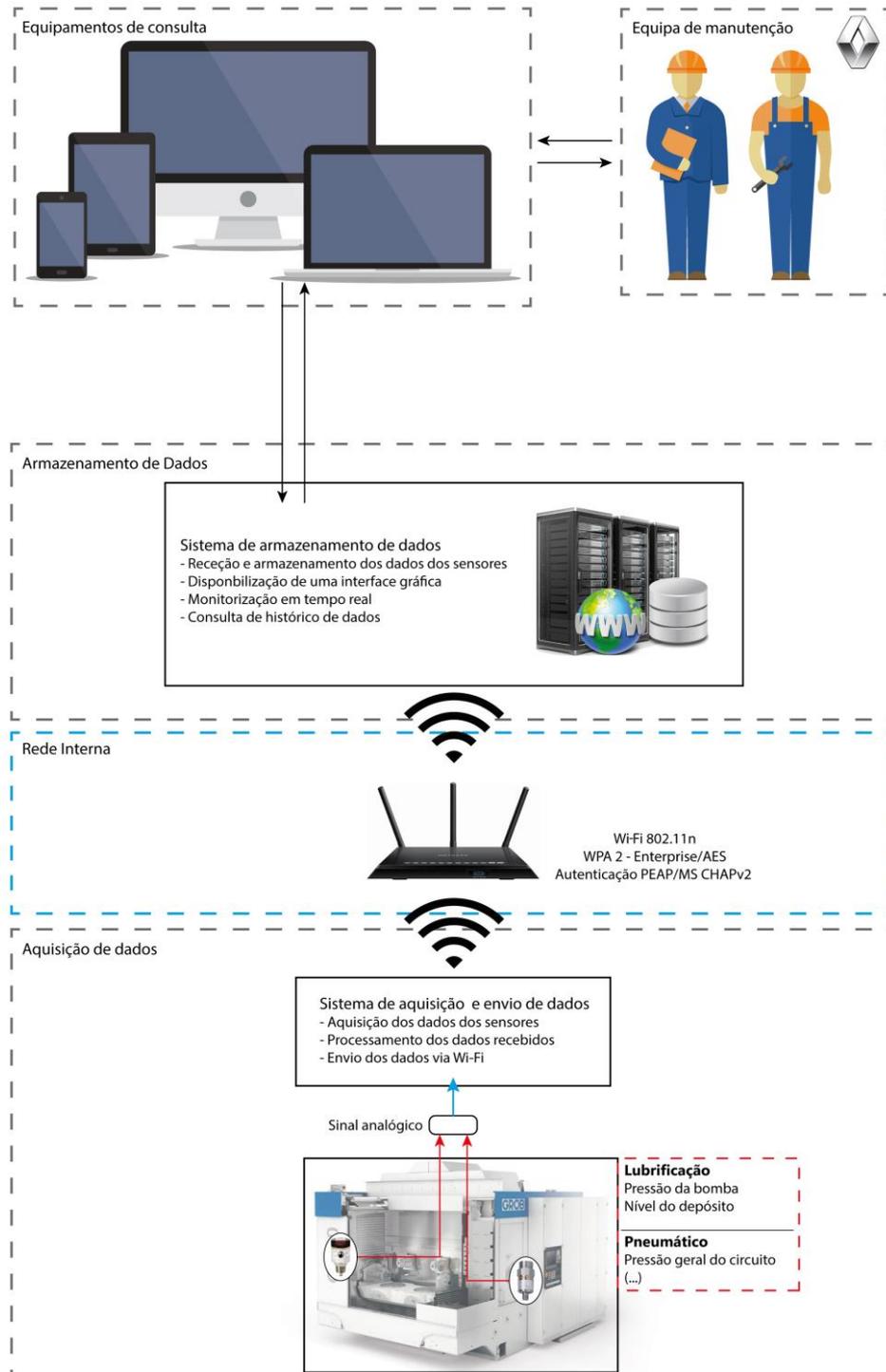
Fonte: Inocêncio (2017)

Antes de desenvolver qualquer solução, houve a necessidade de entender a criticidade de cada linha de produção e o desempenho e longevidade de cada equipamento. Tendo entendido todas essas variáveis foi estudado soluções para a redução de custos, aproveitar sensores já existente e ter uma fácil instalação para expandir para outros equipamentos (INOCÊNCIO, 2017).

Com uma solução já elaborado, partiram para a esquematização da proposta, onde prevê-se a instalação de sensores que através de sinais elétricos pudesse captar informações como pressão, temperatura, nível entre outros para serem

processados e armazenados para uma futura utilização, com um sistema que possa ser capaz de realizar tudo isso e disponibilizar com uma interface gráfica para facilitar a leitura de dados (INOCÊNCIO, 2017).

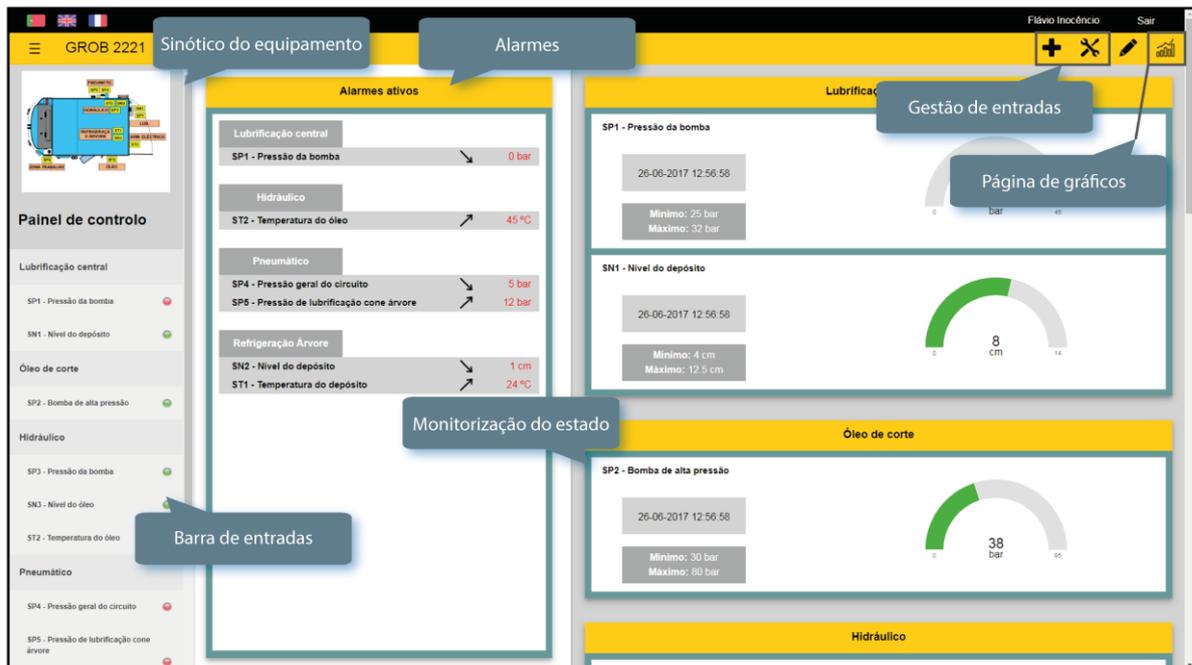
Figura 28 - Arquitetura para a solução proposta.



Fonte: Inocêncio (2017)

Através da imagem é possível ver que a solução desenvolvida possui uma interação entre si, desde a coleta de informações com sensores, comunicação via Wi-Fi com os sistemas de armazenamento de dados e comunicação da interface gráfica com os equipamentos de consulta conforme imagem abaixo (INOCÊNCIO, 2017).

Figura 29 - Página de monitorização e gestão de um equipamento



Fonte: Inocência (2017)

Cada equipamento precisa estar registrado com nome, referência, posicionamento na empresa. Na página é possível monitorar entradas de fluidos, alarmes que os sensores passam para a interface além de uma informação mais detalhada sobre esses alarmes expandindo assim a situação do equipamento visualizando como por exemplo o estado da pressão da bomba e o nível do reservatório (INOCÊNCIO, 2017).

É notório que o avanço implantado na Renault contribui amplamente na manutenção e monitoramento de equipamentos com adaptação a digitalização de processos. Com uma interface de fácil entendimento e intuitiva fica possível uma integração entre os setores da empresa como PCP e PCM para facilitar paradas programadas e verificar disponibilidade de equipamentos para produtividade fabril (INOCÊNCIO, 2017).

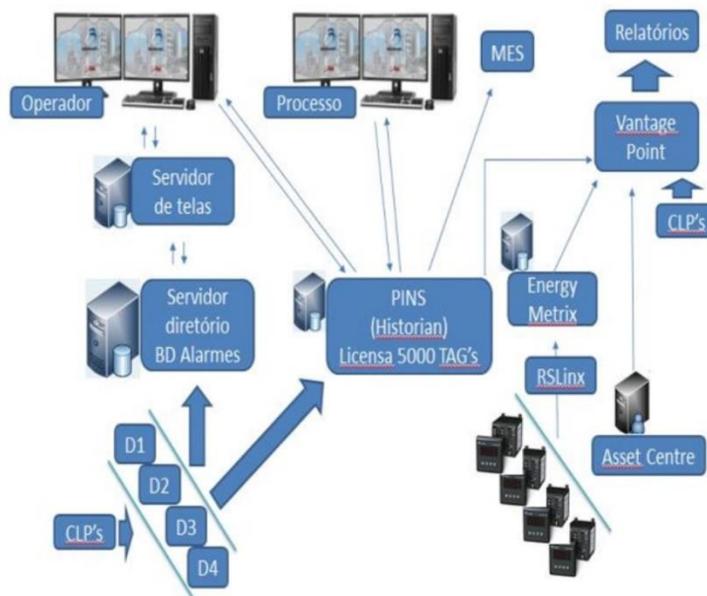
7.2. Brennand Cimentos

Este exemplo de caso apresenta os principais aspectos da automação da fábrica da Brennand Cimentos situada em Sete Lagoas-MG, assim como descreve as opções disponíveis dentro do conceito indústria 4.0 aplicáveis à melhoria dos processos de manutenção, com o objetivo de resolver os problemas existentes no gerenciamento e fiscalização dos serviços de manutenção executados.

Segundo Ferreira (2020) o estudo evidenciou que as tecnologias da quarta revolução industrial armazenam os dados coletados na planta, analisam e geram conhecimento em forma de melhorias contínuas no próprio processo.

Conforme informações fornecidas pelo setor de automação da Brennand Cimentos, criou-se um croqui para representar o mundo virtual da forma como os softwares da Rockwell Automation foram interligados para implementar a solução.

Figura 30 - Infraestrutura da automação da Brennand Cimentos



Fonte: Ferreira (2020)

De acordo com Ferreira (2020) os sistemas MES11, EnergyMetrix, AssetCentre e o VantagemPoint complementam a automação da infraestrutura, todos interligados através do RSLinx.

Todos os sinais do chão de fábrica são ligados aos CLP's. Estes estão separados por setores de produção interligados em duas redes virtuais garantindo

assim segurança. Devido ao alto volume de dados, foram utilizados quatro diretórios de domínio que disponibilizam as informações ao servidor de telas e ao PINS (Ferreira 2020).

Dentre os benefícios das ferramentas da indústria 4.0 podemos destacar o uso de dispositivos moveis para comunicação automatizada dentro do processo de fabricação. Na Brennand Cimentos a produção de cimento é monitorada através de sensores, cuja a função é saber a altura da camada do material em relação a mesa de produção.

Entretanto, quando ocorre a quebra desse sensor o tempo gasto entre descobrir o problema e as perdas decorrentes da parada de produção são elevadas tornando necessário um tempo de resposta maior para tais eventualidades.

Figura 31 - Relação entre tempo gasto e descobrimento de problemas



Fonte: Ferreira (2020)

A utilização de dispositivos moveis para comunicação automatizada se faz necessária. Visto que, ao apresentar falha na linha de produção o responsável será notificado de forma imediata, diminuindo o tempo de resposta de uma falha.

Quando alguma manutenção específica se faz necessária, a automação da fábrica gera alarmes para que o funcionário da operação da fábrica atenda rapidamente ao chamado.

Com as informações fornecidas pela Brennand Cimentos podemos destacar vários aspectos de destaque em automatização voltadas a melhorias no gerenciamento de manutenções. As novas tecnologias permitiram grandes ganhos de produtividade e enorme dinamismo em toda a cadeia de produção.

8. CONCLUSÃO

Em virtude dos fatos mencionados e da pesquisa que foi realizada, é possível notar que as tecnologias emergentes da indústria 4.0 são aplicáveis no âmbito da manutenção, trazendo mudanças tecnológicas e otimizando o fluxo do processo, tornando o tema relevante e necessário.

Para o desenvolvimento industrial, fica evidente que as empresas devem se adequar e se atualizar nos modelos de gestão, pois com o advento da indústria 4.0, a fábrica torna-se inteligente e conectada, paralelamente a isto, a gestão de recursos é muito importante e necessária, excepcionalmente, às máquinas que são os ativos que produzem os produtos.

Foram apresentadas ferramentas e aplicações da manutenção 4.0, bem como, conceitos e aplicações de sistemas de monitoramento e controle, tornando-se como foco do trabalho de pesquisa.

Pode-se concluir que os benefícios destas tecnologias trazem ganhos para a empresa e melhoria no processo de manutenção, tornando os maquinários mais eficientes e confiáveis.

Para trabalhos futuros, a pesquisa abre portas para o aprofundamento destas tecnologias e suas aplicações, pois com o constante desenvolvimento da indústria 4.0 é possível verificar os avanços das ferramentas 4.0 nas empresas em aspectos positivos e negativos, impactos sociais e tecnologias emergentes.

REFERÊNCIAS

SANTOS, Leandro Oliveira dos; PACHECO, Diego Augusto de Jesus. Determinantes para o alinhamento entre a gestão da manutenção industrial e o planejamento estratégico. **Determinantes Para o Alinhamento**, Revista Ingeniería Industrial, 2016.

BALDISSARELLI, Luciano; FABRO, Elton. **Manutenção Preditiva na indústria 4.0**. Scientia Cum Industria, v. 7, ed. 2, p. 12-22, 2019.

DUARTE, Cícero Tadeu Tavares; JÚNIOR, Flávio Alves de Moura; JÚNIOR, Felix Amâncio de Souza; SACOMANO, José Benedito. **Fatores Críticos de Sucesso na Qualidade da Manutenção Industrial: O Caso das Indústrias de Teresina**, Revista FSA, v. 13, ed. 6, p. 91-112, 2016.

INOCÊNCIO, Flávio André Almeida. **Uma solução para a Manutenção Industrial na Indústria 4.0**. 2017. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Aveiro.

DATHEIN, Ricardo. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX** Decon/UFRGS, 2003

DOMBROWSKI, Uwe e WAGNER, Tobias. **Mental strain as field of action in the 4th industrial revolution**. Procedia CIRP, v. 17, p. 100-105, 2014

DE MASI, Domenico. **A sociedade pós-industrial**. São Paulo: SENAC São Paulo, pp 11-97, 199.

CONTREIRAS, Pedro Augusto Rodrigues. **A Quarta Revolução Industrial: Um estudo de caso realizado na empresa Lix de Tecnologia**. Revista Gestão, Inovação e Negócios, v.1, n. 1, p. 79-97, 2015

GUEDES, Cezar e ROSÁRIO, Jorge Lopes do, “Informação e Conhecimento: os impactos na reorganização do mercado e do trabalho” **Desenvolvimento em Questão**, v. 3, n. 5, p. 9-34, 2005

LAFRAIA, João Ricardo; COSTA, Allan Kardec Afonso. **Gestão Estratégica E Confiabilidade**. [S. l.]: Qualitymark, 2002. 90 p.

GRESSLER, Fernando; SELEME, Robson; SILVA, Wiliam De Assis; MARQUES, Marco Augusto Mendes. Diagnóstico do grau de maturidade do sistema de gestão orientado para a manutenção 4.0. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 14951-14978, 25 mar. 2020.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, IX., 2019, Ponta Grossa, PR, Brasil. **O Planejamento e Controle da Manutenção na Indústria 4.0** [...]. [S. l.: s. n.], 2019.

PERRINI, André Vander. **AS FERRAMENTAS E TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E SUA POTENCIAL APLICABILIDADE NA MANUTENÇÃO**. Orientador: Vinícius Silva da Cunha. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal do Espírito Santo, [S. l.], 2018.

FIDELIS, C. G.; REIS M. T. A desconsideração da personalidade jurídica à luz do novo código de processo civil. **Direito, Cultura e Cidadania**, Osório, v. 1, n. 6, p 1-26, jan./dez. 2016.

BORLIDO, David José Araújo. **Indústria 4.0 - Aplicação a Sistemas de Manutenção**. 2017. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, [S. l.], 2017.

SANTOS, Sandro. **Introdução à IoT: DESVENDANDO A INTERNET DAS COISAS**. Ilustração: Alexsander M. Santos. SS Trader Editor: [s. n.], 2018. 168 p.

QUARTA revolução industrial e a "Internet das Coisas" em países emergentes, e agora Brasil? [S. l.], 25 jan. 2016. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/quarta-revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-e-internet-das-coisas-em-pa%C3%ADses-duarte/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 3 abr. 2022.

MANUTENÇÃO Industrial: Notas de estudo de Eletromecânica. [S. l.], 2011. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/manutencao-industrial-20/4762258/>. Acesso em: 20 abr. 2022.

ALMEIDA, Paulo Samuel De. **Manutenção Mecânica Industrial: Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. 1ª. ed. Brasil: Érica, 2018. 399 p.

R, Leticia; JESUS, Rodrigo Aguiar de; SCHÜTZER, Klaus. Industrie 4.0: Uma Revisão da Literatura. **Industrie 4.0 – A Literature Review**, Revista De Ciência & Tecnologia, v. 19, ed. 38, p. 33 - 45, 2016.

CARVALHO, Rafael Teixeira de; SOUZA, Thaísa Bruna de; LUCAS, Marcelo. APLICAÇÃO DO BIG DATA E CLOUD COMPUTER E SEU IMPACTO NA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL (INDÚSTRIA 4.0). In: CARVALHO, Rafael Teixeira de; SOUZA, Thaísa Bruna de; LUCAS, Marcelo. **APLICAÇÃO DO BIG DATA E CLOUD COMPUTER E SEU IMPACTO NA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL (INDÚSTRIA 4.0)**. 2018. Artigo (Engenharia Elétrica) - Universidade de Uberaba, [S. l.], 2018. Disponível em: <http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/525>. Acesso em: 2 abr. 2022.

LAUREANO, Marcos. **Máquinas Virtuais e Emuladores: Conceitos, Técnicas e Aplicações**. [S. l.]: Novatec Editora, 2006. 184 p. ISBN 85-7522-098-5.

ALCOBA, Luiz. Que diferenças existem entre virtualização e computação na nuvem? E qual adotar? In: ALCOBA, Luiz. **Que diferenças existem entre virtualização e computação na nuvem? E qual adotar?** Brasil, 27 jan. 2014. Disponível em:

<https://canaltech.com.br/infra/Que-diferencas-existem-entre-virtualizacao-e-computacao-na-nuvem-E-qual-adotar/>. Acesso em: 18 abr. 2022.

CARVALHO, Núbia Gabriela Pereira. **Trabalho humano na indústria 4.0: Percepções brasileiras e alemãs dos setores acadêmico e empresarial a respeito do trabalho de pessoas no novo modelo industrial**. Orientador: Prof. Dr. Edson Walmir Cazarini. 2019. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, [S. l.], 2019.

MARQUEZ, Adolfo Crespo; GUPTA, Jatinder N.D. **Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars**. [S. l.]: Omega, 2006. 313-326 p. v. 34.

SILVA, Felipe Augusto. **Gestão da Manutenção na Indústria 4.0**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual do Maranhão, [S. l.], 2019.

NETTO, Wady Abrahão Cury. **A IMPORTÂNCIA E A APLICABILIDADE DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM) NAS INDÚSTRIAS**. 2008. Monografia (Graduação em Engenharia de produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, [S. l.], 2008.

INDUSTRIE 4.0 - The Fourth Industrial Revolution. [S. l.]: Siemens, 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=HPRURtORnis>. Acesso em: 3 maio 2022.

ALL that you need to know before starting a career in Cloud Computing. [S. l.], 15 set. 2018. Disponível em: <https://www.techtrainees.com/all-that-you-need-to-know-before-starting-a-career-in-cloud-computing/>. Acesso em: 13 maio 2022.

VIRTUALIZAÇÃO de Servidores. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://www.crmg.com.br/virtualizacao-de-servidores>. Acesso em: 13 maio 2022.

GHANNOUM, Rodrigo Gonçalves; RODRIGUES, Fábio Barbosa. VIRTUALIZAÇÃO DE SERVIDORES: VANTAGENS E DESVANTAGENS. **VIRTUALIZAÇÃO DE SERVIDORES: VANTAGENS E DESVANTAGENS**, Anápolis (GO), v. 11, n. 6, 14 abr. 2018.

QUINTANEIRO, Tania; BARBOSA, Maria Ligia de Oliveira; OLIVEIRA, Márcia Gardênia Monteiro de. **Um Toque de Clássicos**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2003. 159 p.

OSSEGE, A.; GARRAFA, V. Bioética e mapeamento genético na seleção de trabalhadores. **Saúde em Debate**, v. 29, n. 104, p. 226-238, 2015.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção. Função Estratégica**. 4. ed. [S. l.]: Qualitymark, 2012. 440 p.

FINANCE, A. T. C. C. Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. **Finance, Audit Tax Consulting Corporate: Zurich, Swiss**, p. 1-12, 2015.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Realidade Virtual e aumentada tecnologias para aplicações profissionais**. Saraiva Educação SA, 2018.

PAMPLONA JUNIOR, Alcides et al. Um sistema de realidade virtual para treinamento de manutenção e estudo de uma unidade hidrelétrica de energia. In: **XII Congresso Argentino de Ciencias de la Computación**. 2006.

BARBIERI, Adriano A.; DIAS, Mestre Lizia O. Acosta; OLGUIN, Engº Mestre Sergio. MELHORIA DA CONFIABILIDADE E AUMENTO DO NÚMERO DE HORAS DE VÔO DAS UNIDADES DE GERAÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA DE AERONAVES.

ABREU, Cleyde Evangelista Maia et al. Indústria 4.0: Como as empresas estão utilizando a simulação para se preparar para o futuro. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 12, n. 12, p. 49-53, 2017.

DE OLIVEIRA, Thaianne Moreira. O retorno do olhar (e outros sentidos) para o corpo imerso em Realidade Aumentada. **C-Legenda-Revista do Programa de Pós-graduação em Cinema e Audiovisual**, n. 21, 2009.

TIPOS de Impressora 3D e suas aplicações. [S. l.], 8 nov. 2018. Disponível em: <https://www.printit3d.com.br/post/tipos-de-impressora-3d>. Acesso em: 16 maio 2022.

CONHEÇA os tipos de impressão 3D e os seus benefícios!. [S. l.], 25 set. 2018. Disponível em: <https://3dlab.com.br/tipos-de-impressao-3d-e-beneficios/>. Acesso em: 16 maio 2022.

REALIDADE VIRTUAL NO TREINAMENTO EM MANUTENÇÃO: OCULUS QUEST. [S. l.], 18 ago. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gsmmq9PxCq0>. Acesso em: 21 maio 2022.

REALIDADE Aumentada - Reparação de uma válvula. [S. l.], 2 out. 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0hVVGNuB5Pg>. Acesso em: 18 maio 2022.

FERREIRA, Marcelo Estevam; PINHEIRO, Fábio Coelho. INDÚSTRIA 4.0 APLICADA À MANUTENÇÃO, UM ESTUDO DE CASO NA BRENNAND CIMENTOS. **INDÚSTRIA 4.0 APLICADA À MANUTENÇÃO, UM ESTUDO DE CASO NA BRENNAND CIMENTOS**, [s. l.], n. 6, 2020. Disponível em: <https://revista.unifemm.edu.br/index.php/Saberes/article/view/43/36>. Acesso em: 21 maio 2022.

GONÇALVES, Luiz Fernando. Desenvolvimento de um sistema de manutenção inteligente embarcado. 2011.

WYREBSKI, Jerzy et al. Manutenção produtiva total-Um modelo adaptado. 1997.

MOTAGHARE, Omkar; PILLAI, Anju S.; RAMACHANDRAN, K. I. Predictive maintenance architecture. In: **2018 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC)**. IEEE, 2018. p. 1-4.

RIGHETTO, Sophia Boing et al. Manutenção preditiva 4.0: conceito, arquitetura e estratégias de implementação. 2020.

MANUTENÇÃO 4.0.: Tudo o que você precisa saber. [S. l.], 1 jul. 2021. Disponível em: <https://tdgibrasil.com/entenda-sobre-manutencao-4-0/>. Acesso em: 22 maio 2022.

TPM – Manutenção Produtiva Total: Entenda mais sobre a estratégia. [S. l.], 25 set. 2018. Disponível em: <https://terzoni.com.br/leanblog/manutencao-produtiva-total/>. Acesso em: 19 maio 2022.

SMART Maintenance - Como fazer a sua manutenção adequada para o futuro. [S. l.], 2020?. Disponível em: <https://alegerglobal.com/pt-pt/realidade-aumentada/areas-de-aplicacao/manutencao-inteligente/>. Acesso em: 17 maio 2022.

MANUTENÇÃO Industrial. [S. l.], 2011. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAesagAK/manutencao-industrial>. Acesso em: 28 abr. 2022.

O QUE é TPM?. [S. l.], 2011. Disponível em: <https://www.advanced-eng.com.br/sobretpm.htm>. Acesso em: 26 abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Confiabilidade e mantenedibilidade: NBR ISO 5462*. Rio de Janeiro, 1994.

TPM no Coração do Lean. [S. l.], 6 jan. 2006. Disponível em: <https://www.lean.org.br/artigos/99/tpm-no-coracao-do-lean.aspx>. Acesso em: 13 maio 2022.

MANUTENÇÃO Industrial: Como Funciona?. [S. l.], 13 set. 2012. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/manutencao-industrial-como-funciona/>. Acesso em: 14 abr. 2022.

CAMPBELL, Hugo Costa. **Orientação Para Resultados: Um Estudo Aplicado à Área de Planejamento e Controle de Manutenção**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Fe, [S. l.], 2017.

LAMB, Maiquel Auri; NETO, Secundino Luis Henrique Corcini; LACERDA, Daniel Pacheco; DRESCH, Aline; GOLDMEYER, Dieter Brackmann. **MODELO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO PARA EMPRESAS DE SANEAMENTO BÁSICO. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, [S. l.], p. 1-18, 11 out. 2013.

TAVARES, Lourival Augusto. *Excelência na manutenção - Estratégias para Otimização e Gerenciamento*. 2ª edição. Salvador: Casa da Qualidade, 1996

OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.oee.com/>. Acesso em: 23 maio 2022.

SOUZA, Deyvid. **Módulo II - Planejamento de Manutenção**. [S. l.: s. n.], 2020.

SILVA, Daniel Bandeira. **Implementação do Plano Mestre de Manutenção Preventiva para a Melhoria na Eficiência de Linhas de Envase de Leite Tipo UHT: Um Estudo de Caso**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Centro Universitário Univates, [S. l.], 2016.

OEE: AS 6 GRANDES PERDAS (SIX BIG LOSSES). [S. l.], 16 out. 2019. Disponível em: <https://www.accept.pt/oee-as-6-grandes-perdas/>. Acesso em: 15 abr. 2022.

MEGIOLARO, Marcello Rodrigo de Oliveira. **INDICADORES DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL RELACIONADOS À EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTOS**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestre em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2015.

O QUE é IaaS, SaaS, Cloud Computing e Virtualização. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://blog.mandic.com.br/artigos/o-que-e-iaas-tipos-cloud-virtualizacao/>. Acesso em: 13 abr. 2022.