

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AEROESPACIAL

GABRIEL NETO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE
MÁQUINAS CNC UTILIZANDO CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0

Joinville

2022

GABRIEL NETO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE
MÁQUINAS CNC UTILIZANDO CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel no Curso de
Graduação em Engenharia Aeroespacial do
Centro Tecnológico de Joinville da
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Adriano Fagali de Souza

Coorientador: Lucas Gomes Camargo

Joinville

2022

GABRIEL NETO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE
MÁQUINAS CNC UTILIZANDO CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Aeroespacial, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 16 de março de 2022.

Banca Examinadora:

Dr. Adriano Fagali de Souza
Orientador/Presidente
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Me. Lucas Gomes Camargo
Coorientador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Dr. Pablo Andretta Jaskowiak
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Gilberto Schneider
Membro
WEG - Jaraguá do Sul/SC

Dedico este trabalho a todas as pessoas que acreditam no ensino público, gratuito e de
qualidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha família, sem a base por ela fornecida, eu não teria adquirido a capacidade de desenvolver este trabalho.

Agradeço a PPI-Multitask e a WEG, por toda a estrutura fornecida para desenvolver este projeto. Em especial aos setores de Manutenção, Usinagem de Fundidos e WEG Digital da WEG Jaraguá do Sul. Além do time de P&D da PPI-Multitask.

Também gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Dr. Adriano Fagali de Souza, e ao meu coorientador Lucas Gomes Camargo. Sem o apoio e as habilidades de vocês, este trabalho não seria possível.

RESUMO

Com a nova era da Indústria 4.0, empresas do mundo inteiro estão se reinventando. A tecnologia passou a ser indispensável no chão de fábrica e a tendência é de que no futuro, os gestores tenham visão total e controle de máquinas e processos a uma tela de distância. Obter os dados das máquinas de forma digitalizada, abre um mundo de análises possíveis para melhorar processos e economizar com manutenção preditiva. As máquinas com comandos numéricos computadorizados (CNCs) são equipamentos que produzem milhares de dados que podem ser úteis para essas análises. Pensando nisso, foi desenvolvido um sistema de monitoramento de máquinas CNC, utilizando os conceitos de indústria 4.0. Com o sistema desenvolvido, foi possível visualizar dados em tempo real e histórico. A aplicação mostrou-se eficaz na coleta de diferentes informações do processo de usinagem e poderá ser utilizado como ferramenta base para trabalhos futuros tais como, monitoramento e controle remoto de processos de fabricação com máquinas CNC.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Máquinas CNC. Monitoramento. *Spindle*.

ABSTRACT

With the new era of Industry 4.0, companies around the world are reinventing themselves. Technology has become indispensable on the factory floor and the trend is that in the future, managers will have full vision and control of machines and processes at a screen distance. Obtaining machine data in a digitized form opens up a world of possible analysis to improve processes and save on predictive maintenance. Machines with computer numerical commands (CNCs) are equipment that produce thousands of data that can be useful for these analyses. With that in mind, a CNC machine monitoring system was developed, using the concepts of industry 4.0. With the developed system, it was possible to visualize real-time and historical data. The application proved to be effective in collecting different information from the machining process and can be used as a base tool for future works such as monitoring and remote control of manufacturing processes with CNC machines.

Keywords: Industry 4.0. CNC Machine. Monitoring. Spindle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de revisão	14
Figura 2 - Os quatro estágios da revolução industrial	15
Figura 3 - Invenção da máquina a vapor.	16
Figura 4 - Os 9 pilares da indústria 4.0.	18
Figura 5 - Entradas de conectores do <i>Edge Device</i> . (a) Superfície frontal, (b) Superfície traseira	21
Figura 6 - Características das empresas entrevistadas.....	22
Figura 7 - Movimentação durante o processo de torneamento.....	24
Figura 8 - Requisitos para o desenvolvimento da aplicação de monitoramento.	29
Figura 9 - Célula robotizada utilizada para a aplicação do monitoramento. (a) Torno utilizado no projeto, (b) Torno, (c) Fresa, (d) Fresa, (e) Robô.....	30
Figura 10 - Ligação física para comunicação com a máquina.	31
Figura 11 - Verificação da comunicação com a máquina.	31
Figura 12 - Bancada de testes.	32
Figura 13 - Retorno da função implementada.	32
Figura 14 - Acesso SSH via PuTTY.....	34
Figura 15 - Bibliotecas importadas para o código Python.....	35
Figura 16 - Arquitetura do sistema.	36
Figura 17 - IP da rede wifi do <i>edge device</i>	37
Figura 18 - Tela de acesso do PuTTY.	37
Figura 19 - <i>Ping</i> no IP do torno CNC.....	38
Figura 20 - Dados dinâmicos.....	40
Figura 21 - Dados de posição do torno CNC.....	40
Figura 22 - Arquivo csv gerado pelo código primário.	40
Figura 23 - DataFrame com os dados do CNC.....	42
Figura 24 - Dados agrupados por ciclo e ferramenta.....	43
Figura 25 - Conexão com a plataforma IoT.	44
Figura 26 - Exemplo de um <i>payload</i> enviado para a plataforma.	44
Figura 27 - Indicador de carga do spindle sem sobrecarga.	45
Figura 28 - Indicador de carga do <i>spindle</i> em alerta.	46
Figura 29 - Indicador de carga do <i>spindle</i> sobrecarregado.....	47

Figura 30 - Tempo de uso da ferramenta no ciclo.....	48
Figura 31 - Porcentagem de uso de ferramenta.	49
Figura 32 - Comportamento da carga com o contador de vida útil.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistemas com servidor FANUC MTConnect disponível.	26
Tabela 2 - Controles FANUC equipados com padrão FOCAS.	27
Tabela 3 - Funções FOCAS implementadas.....	33
Tabela 4 - Variáveis monitoradas.	39
Tabela 5 - Caminho percorrido para tratar os dados.	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNC – Comando Numérico Computadorizado

CSV – Valores Separados por Virgula

IA – Inteligência Artificial

IoT – Internet Das Coisas

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CPS - Sistema Físico-Cibernético

RA – Realidade Aumentada

I4.0 – Indústria 4.0

Vc – Velocidade de Corte

F – Velocidade de Avanço

ASCII - Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação

XML - Linguagem de Marcação Extensível

dll – Biblioteca de Links Dinâmicos

SSH - Shell Seguro

MQTT - Transporte de telemetria de enfileiramento de mensagens

IP – Endereços de Protocolo da Internet

JSON – Notação de Objeto JavaScript

ID - Identidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVO GERAL	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NA INDÚSTRIA	15
2.1.1. Primeira Revolução Industrial	16
2.1.2. Segunda Revolução Industrial	16
2.1.3. Terceira Revolução Industrial	17
2.1.4. Quarta Revolução Industrial	17
2.2. CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0	18
2.3. PRINCIPAIS FERRAMENTAS DA TECNOLOGIA 4.0	20
2.3.1. Internet of Things (IoT)	20
2.3.2. Big Data	20
2.3.3. Edge Device	21
2.4. INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL	22
2.5. MÁQUINAS CNC X INDÚSTRIA 4.0	23
2.6. USINAGEM 4.0	25
2.6. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO COM MÁQUINAS CNC	25
2.6.1. Padrão MTConnect	25
2.6.2. Protocolo FOCAS	26
3. METODOLOGIA	29
3.1.1. Comunicação com a máquina	30
3.1.2. Acesso remoto	34
3.1.3. Tratamento e envio dos dados para a plataforma IoT	34
4. RESULTADOS E APRESENTAÇÃO DOS DADOS	37
4.1. ACESSO AO EDGE DEVICE E COMUNICAÇÃO COM O TORNO	37
4.2. EXTRAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS.	38
4.3. ENVIO PARA A PLATAFORMA IOT	43
4.4. VISUALIZAÇÃO DA APLICAÇÃO DE MONITORAMENTO	45
5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	52
REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

Com o início da primeira Revolução Industrial (Inglaterra, século XVIII), trabalhadores passaram a dividir espaço com novas máquinas a fim de aperfeiçoar o processo produtivo das fábricas. Avanços como a inserção de novas tecnologias e alterações na gestão industrial nos trazem o conceito de indústria presente na atualidade (LIMA; NETO, 2017).

Na primeira Revolução Industrial, foram introduzidas máquinas ao sistema produtivo, diminuindo consideravelmente a necessidade de mão de obra humana (IGLÉSIAS, 1984). A transição para a segunda Revolução Industrial surgiu da necessidade do aumento dos lucros, além da capacidade produtiva, ambos obtidos pela inserção da ciência nos parques fabris (CARDOSO, 2016). Na terceira Revolução Industrial, equipamentos como sensores e máquinas computadorizadas foram introduzidos no ambiente fabril, porém com a singularidade de processos e equipamentos (POSADA et al., 2015).

A fim de integrar os componentes presentes na terceira Revolução Industrial e desenvolver fábricas mais inteligentes, deu-se início à quarta Revolução Industrial na Alemanha. Popularmente conhecida como Indústria 4.0, instaurou-se a era das inovações tecnológicas, comunicação total da fábrica e alto volume de dados.

De acordo com Plattform Industrie 4.0 (2017), a digitalização da produção está em um novo nível de qualidade, tornando cada vez mais o ambiente fabril tangível e inteligente. Esse processo é auxiliado por conceitos como Internet das Coisas (IoT), banco de dados e conjunto de métodos como Inteligência Artificial (IA).

Na indústria brasileira, de acordo com CNI (2016), o uso dessas tecnologias ainda é pouco disseminado e são poucas as empresas que reconhecem a sua importância. No estudo mais recente realizado pela Confederação Nacional da Indústria, empresas de diversos setores foram questionadas quanto ao uso de dez tecnologias digitais, sendo elas:

- Automação digital sem sensores;
- Automação digital com sensores para controle de processos;
- Monitoramento e controle remoto da produção com sistema do tipo MES e SCADA;
- Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis;
- Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento de produtos e manufatura de produtos;

- Manufatura aditiva, prototipagem rápida ou impressão 3D;
- Simulações/análise de modelos virtuais (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.) para projeto e comissionamento;
- Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data);
- Utilização de serviços em nuvem associados ao produto;
- Incorporação de serviços digitais nos produtos (“Internet das Coisas” ou Product Service Systems).

Apenas 58% das indústrias nacionais estão cientes que o uso dessas tecnologias é essencial para a competitividade industrial e pouco menos da metade as utiliza. Nesse cenário, as empresas de manufatura devem se adequar a processos que utilizem de tecnologias de ponta para se manterem vivas no mercado competitivo.

Nos processos de fabricação por usinagem, a grande quantidade de dados gerada nas máquinas CNC pode ser utilizada para o controle e planejamento da produção a fim de incorporar as tecnologias da Indústria 4.0. A análise dessas informações pode propiciar melhorias nos processos e utilização de recursos, reduzir falhas e facilitar as manutenções. Devido ao fato de não haver um sistema que realize o monitoramento dessas máquinas, muitas empresas acabam perdendo estes dados e consequentemente subutilizando a sua capacidade produtiva.

Neste contexto, em busca de contribuir para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil, foi proposto o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de máquinas CNC, em uma célula robotizada, que possibilite a avaliação dos dados de processo.

1.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma aplicação de monitoramento remoto de máquinas CNC, utilizando conceitos e ferramentas da Indústria 4.0.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

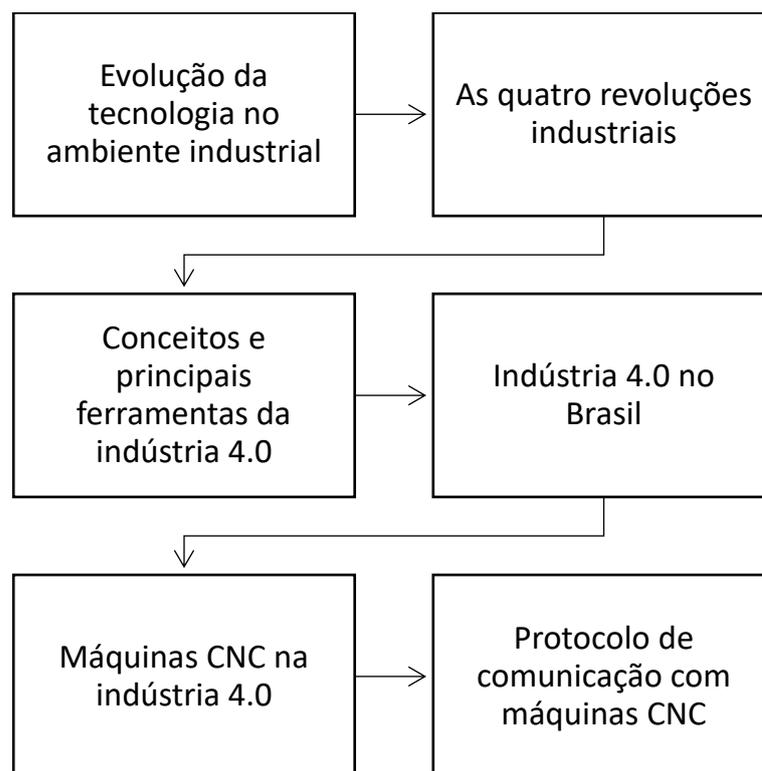
- Conhecer as principais ferramentas e conceitos da indústria 4.0;
- Desenvolver o monitoramento remoto de máquinas CNC;
- Demonstrar dashboards com os dados obtidos em plataforma IoT;
- Avaliar e demonstrar utilidade das variáveis monitoradas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é realizado uma revisão da literatura apresentando os conhecimentos necessários para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de máquinas CNC, utilizando conceitos da Indústria 4.0.

Inicialmente, conforme Figura 1, a revisão abrange a evolução tecnológica na indústria, da primeira até a quarta revolução industrial. Em seguida, é fundamentado conceitos e ferramentas da Indústria 4.0 que serão necessários para o desenvolvimento do sistema de monitoramento. Após isso, o cenário atual da Indústria 4.0 no Brasil é apresentado, além de abranger as máquinas CNC neste contexto. Por fim, é realizado uma pesquisa referente aos padrões de comunicação com máquinas CNC.

Figura 1 - Diagrama de revisão



Fonte: Autor (2022).

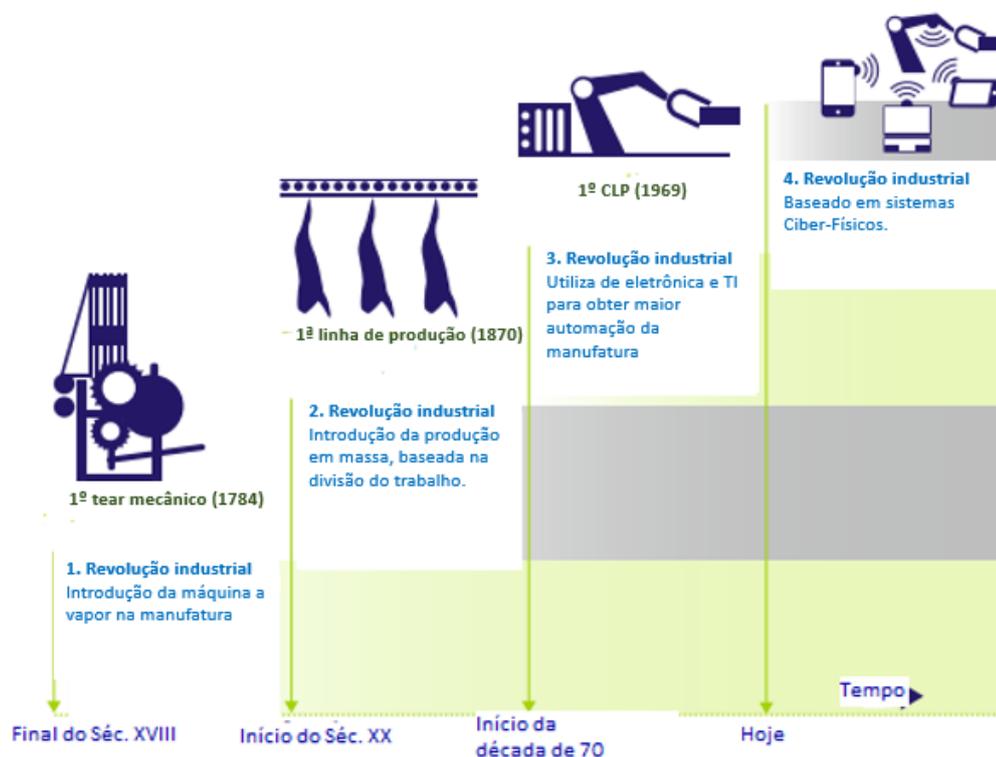
2.1. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NA INDÚSTRIA

As revoluções presentes na história da humanidade sempre tiveram grande impacto no modo de viver, além de que após uma grande revolução, nada mais volta a ser como era antes. Na revolução industrial não é diferente, ela surge por um motivo, melhorar processos e aumentar a lucratividade, e inicia uma jornada de novas revoluções que se estende até hoje.

A primeira revolução industrial é datada de 1760 a 1840, e ficou marcada pela introdução da máquina a vapor. Após 1840 até início do século XX, a segunda revolução caracterizou-se pela introdução da eletricidade, além da produção em massa baseada na divisão do trabalho. Na década de 1960, a terceira revolução deu-se pelo uso tecnologias com o computador e eletrônica com os semicondutores. No início do século XXI, surgiu na Alemanha, a quarta revolução industrial, centrada no uso intensivo de recursos avançados de Tecnologia da Informação (TI).

Conforme Figura 2, desde o século XVIII os parques fabris vêm evoluindo em etapas, denominadas, revoluções industriais.

Figura 2 - Os quatro estágios da revolução industrial

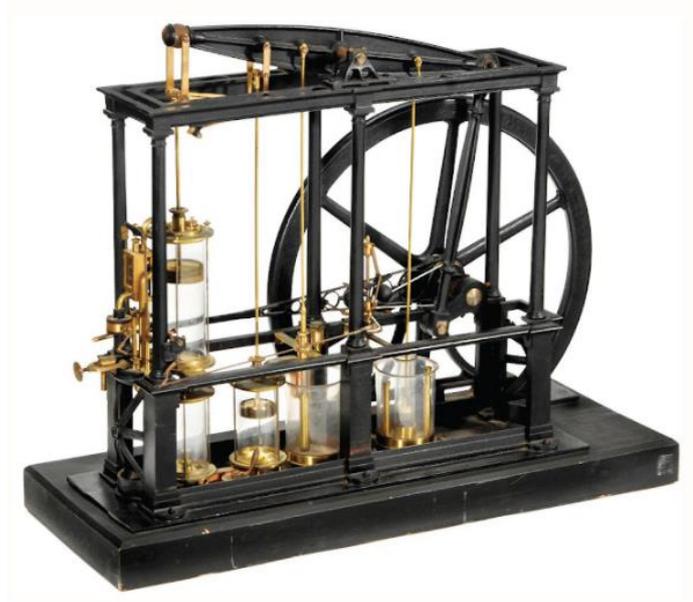


Fonte: Adaptado de Kagermann (2013).

2.1.1. Primeira Revolução Industrial

Realizada entre os anos de 1760 a 1840, na Inglaterra, a primeira revolução industrial ficou marcada pela radical mudança das fontes tradicionais de energia mecânica. A tração humana e animal, assim como a roda d'água, agora foram substituídas pelas máquinas a vapor (Figura 3), sendo o setor têxtil o mais beneficiado (ABIMAQ, 2006).

Figura 3 - Invenção da máquina a vapor.



Fonte: História em Cartaz (2022).

Como as primeiras indústrias a fazerem uso de máquinas foram as do setor têxtil, estas passaram a se destacar, sofrendo um grande impulso após o aperfeiçoamento da máquina a vapor (IGLÉSIAS, 1984).

2.1.2. Segunda Revolução Industrial

Surgiu nas indústrias como um aperfeiçoamento das tecnologias da Primeira Revolução durante o período de 1850 a 1945 e teve como precursor Henry Ford, responsável por desenvolver uma linha de produção em massa (MATA et al., 2018). Nesse período também ocorreu a expansão das ferrovias, máquinas a vapor, além da produção de bens nas indústrias (ABIMAQ, 2006). Outras inovações também estão presentes nesta revolução, como: fabricação

do aço, combustíveis derivados de petróleo, a linha de montagem, o motor a explosão da locomotiva a vapor e o desenvolvimento de produtos químicos (NOBREGA, 2018).

Ao introduzir as linhas de montagens, a produtividade aumenta pela redução nos tempos de deslocamento. Com isto, os empregados são substituídos por máquinas de forma a maximizar a produção.

2.1.3. Terceira Revolução Industrial

Após a segunda guerra mundial no século XX, iniciou a revolução informacional denominada Terceira Revolução Industrial. Este período teve como características as inovações no campo da informática com aplicação direta nas áreas de produção e bens de consumo, além de que o sistema de produção industrial faz uso de tecnologias avançadas (BRITO, 2017).

Os recursos da informática nas fábricas se expandiram, melhorando processos de produção com máquinas CNC, softwares, robótica e automação (ABIMAQ, 2006). Com todas essas mudanças tecnológicas, a demanda por redução e controle de estoque foi atendida com a produção em lote. Nesta fase da revolução, a inclusão da ideia de produção enxuta é inserida, diminuindo desperdícios de tempo e matéria prima. A microeletrônica, a informática e a robótica foram largamente introduzidas nos parques fabris, alavancando o nível de produção e barateando os custos de mão-de-obra (PETRIN, 2014).

2.1.4. Quarta Revolução Industrial

Surgida na Alemanha como uma estratégia do governo para consolidar sua indústria líder na área de tecnologia, a quarta revolução industrial ficou conhecida como Indústria 4.0 (HOFMANN et. Al., 2017). O mundo está vivenciando a quarta revolução industrial, e não mais uma continuidade da terceira. Neste estágio há maior integração entre o físico e o virtual fazendo com que a produtividade cresça acentuadamente com custos baixos (SCHWAB, 2016).

A Indústria 4.0 veio para mudar todo o sistema de produção, com informações obtidas em tempo real, permitindo mudanças em sua programação dentro e fora do ambiente fabril. Esse sistema de produção Ciber-físico (CPSs), é composto por coleta de dados e informações em tempo real, obtidas, em sua grande maioria, por sensores. Esse sensoriamento diz para as máquinas como as informações devem ser processadas, com isso os processos passam a agir por conta própria, num sistema modular descentralizado (VENTURELLI, 2016; HARRISON et. al, 2016).

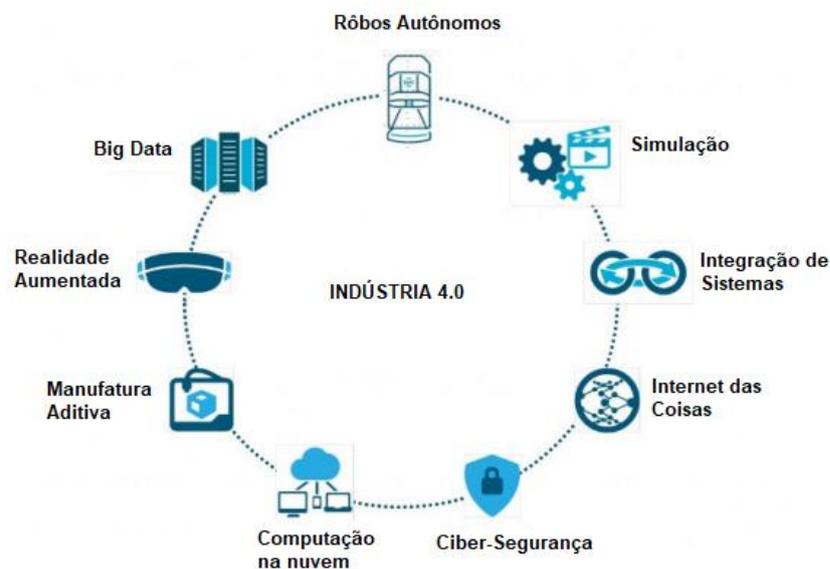
2.2 CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0

Este novo cenário das indústrias abrange diversas tecnologias e ferramentas com o propósito de consolidar a ideia de fábricas inteligentes, disseminando sistemas Ciber-Físicos, implementação da Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, entre outros.

Como já citado, a missão da indústria 4.0 é tornar as fábricas inteligentes, com isso podem operar com menos interrupções, gerenciando a complexidade dos processos. Nesta rede, os CPSs realizam o monitoramento dos processos físicos da fábrica e tomam decisões. Já para o sistema físico em questão, ele se tornará um objeto de IoT, realizando a comunicação e colaboração com outros sistemas físicos e com pessoas, em tempo real, através de uma rede *wireless* (MARR, 2016).

A Indústria 4.0 incorpora tecnologias já utilizadas e as implementa nos sistemas produtivos de fábricas. Na Figura 4 são apresentadas as 9 tecnologias principais que compõem os pilares da quarta Revolução Industrial.

Figura 4 - Os 9 pilares da indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de Rüßmann et al. (2015).

As ferramentas de virtualização são amplamente utilizadas no chão de fábrica, a simulação permite visualizar o ambiente fabril e realizar testes de maquinário, além de simular resultados antes de realizar qualquer alteração no ambiente físico. Isto possibilita melhorias na

qualidade, já que todas as etapas do processo relacionadas a uma linha de montagem são simuladas (FIGUEREDO, 2012).

A integração de sistemas refere-se à união entre os processos e setores das fábricas, trocando informações de maneira rápida e eficiente para que decisões possam ser tomadas com maior velocidade. A falta de sistemas integrados faz com que os níveis de gestão tenham dificuldade em analisar, por exemplo, se o que está na linha de produção condiz com a demanda recebida, e também, se os fornecedores e distribuidores estão alinhados com esta produção (IND4.0, 2019).

Como os processos são diversos e envolvem diferentes agentes em uma fábrica, o conceito de integração alinhado à indústria 4.0 foi dividido em integração horizontal e integração vertical. A integração horizontal ocorre entre empresas, resultando em competição e cooperação. A integração vertical ocorre entre setores físicos e funcionais da própria empresa (WANG et al., 2016).

Como já apresentado, o cenário que envolve a indústria 4.0 dispõe de múltiplas conexões, onde todo o processo produtivo está interligado. Com dispositivos conectados à internet, segurança de rede vira algo crucial, já que um ataque pode comprometer toda a linha de produção. A ciber-segurança é um conceito que deve estar bem estruturado na era 4.0, com aprimoramento no combate as invasões de redes e computadores.

Na indústria 4.0, os processos produtivos geram grandes quantidades de dados que precisam ser armazenados, processados e distribuídos corretamente. A computação na nuvem tem auxiliado as indústrias a se adequarem a essa nova era dos dados, simplificando processos, agilizando a comunicação e fornecendo dados em tempo real (IND4.0, 2019).

A Realidade Aumentada (RA), é a tecnologia responsável por integrar o meio real com o virtual. Segundo Jiang & Subakti (2018), a RA é utilizada para ajudar os profissionais a visualizarem dados e informações industriais de maneira mais direta e intuitiva. Isto permite melhor entendimento, interação com o ambiente real e utilização de imagens que se misturam ao ambiente real. Esta é uma tecnologia que está sendo utilizada por diversos setores, nas mais variadas situações industriais, que vai desde manutenção até treinamento e gestão de pessoas (SILVA, 2020).

2.3 PRINCIPAIS FERRAMENTAS DA TECNOLOGIA 4.0

Aceito como as principais ferramentas da I4.0, o IoT, *Big Data* e *Edge Device*, se integram formando uma grande parte das tecnologias industriais.

2.3.1. *Internet of Things (IoT)*

A Internet das Coisas (IoT) é uma rede referenciada com os dispositivos físicos que realiza a comunicação da internet com o mundo físico e beneficia a comunicação entre usuários e dispositivos (SILVA et al., 2016; SUNDMAEKER et al., 2010). Este termo bastante utilizado no ambiente industrial 4.0 descreve o cenário em que numerosos objetos do dia a dia estão conectados à internet, se comunicando mutualmente (WEG, 2019). É responsável pela conexão de objetos à rede mundial de computadores, sendo utilizada para a comunicação com ambientes internos e externos (MATA et. al., 2018).

Essa conexão acontece através de sistemas CPSs, com capacidade de coletar informações em tempo real e criar ações de resposta conforme a necessidade. Elementos físicos podem compartilhar e coletar dados com o mínimo de intervenção humana, por meio de nuvem, big data, análise avançada e tecnologias móveis. Com todos os componentes conectados, os sistemas digitais podem monitorar e ajustar cada interação entre itens da rede (ORACLE, 2019).

Um dispositivo com tecnologia IoT é um eletrônico que consegue se comunicar com outros sistemas por meio de uma conexão sem fio e transmitir dados para uma solução digital, da mesma forma que acontece entre dispositivos conectados à internet (TOTVS, 2021).

2.3.2. *Big Data*

Como um dos principais pilares da I4.0, o termo *Big Data* é atualmente utilizado para definir grandes volumes de dados. Esses dados devem ser analisados minuciosamente para garantir a extração de informações condizentes com o cotidiano e úteis para as empresas (SANTANA, 2020).

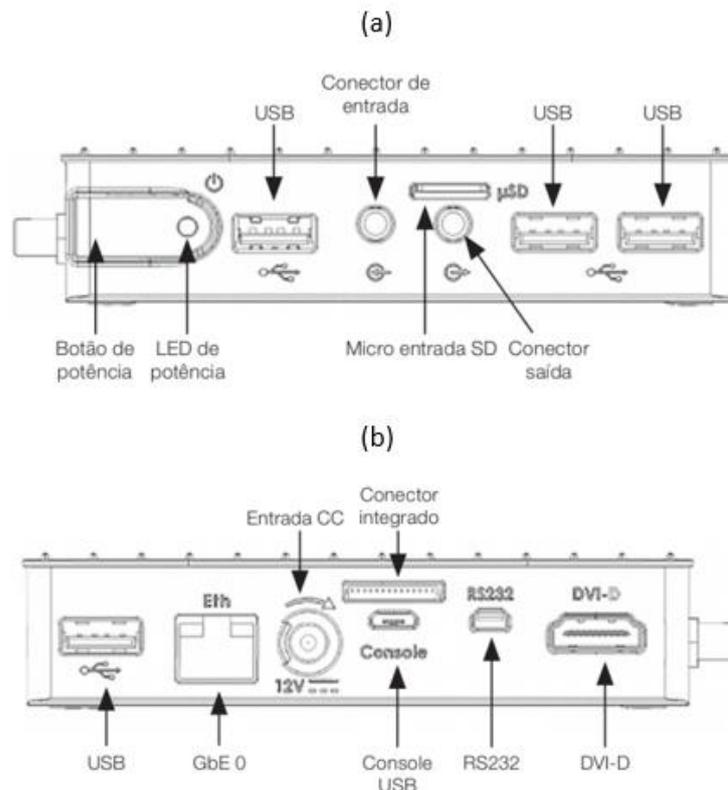
Com o avanço das tecnologias, um crescimento exponencial da quantidade e variedade de dados foi notado. A busca por novos métodos de processar estas informações aumenta constantemente a fim de converter dados não estruturados em dados significativos (MCAFEE et al., 2012).

A análise dos dados é parte crucial no desenvolvimento de sistemas para a digitalização do chão de fábrica. É um processo exploratório, do qual deve-se ter um amplo conhecimento dos processos, para definir as informações relevantes para a solução do problema definido inicialmente.

2.3.3. Edge Device

Com a grande quantidade de dados sendo gerados por diversas fontes, conectar e combinar esses dados são um dos principais desafios da indústria 4.0. A tendência atual, é que esses dados sejam convertidos no *edge device*, que está cada vez melhor em termos de desempenho e processamento, possibilitando a realização de tarefas cada vez mais exigentes (DUMSS, 2020). Um *edge device*, é um dispositivo capaz de processar e armazenar os dados próximo a fonte, no local físico (SHI et. al, 2016). O dispositivo utilizado neste trabalho foi o WCD-ED300, da WEG. Na Figura 5 é observado as entradas de conexão.

Figura 5 - Entradas de conectores do *Edge Device*. (a) Superfície frontal, (b) Superfície traseira



Fonte: WEG, 2021.

Como os aplicativos em nuvem podem sofrer com problemas como altas latências e sobrecarga de transmissão de dados, é necessário um dispositivo que realize o processamento dessas informações. Além disso, tem-se necessidade de obter o comportamento das máquinas em tempo real com informações que podem ser trocadas em milissegundos. A sincronização e o controle de armazenamento são colocados no *edge device* (CHEN, 2019)

2.4. INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL

De acordo com estudo realizado pela Confederação Nacional da Indústria - CNI (2016), as indústrias brasileiras encontram-se em atraso quando refere-se à quarta revolução industrial. A utilização de tecnologias da informação na indústria brasileira ainda é pouco difundida, provando que muitos serviços e sistemas podem ser desenvolvidos neste sentido.

Em novo estudo, a CNI (2020), investigou a difusão das tecnologias da indústria 4.0 em empresas brasileiras. O estudo foi realizado em 24 indústrias seguindo os seguintes critérios: setor de atividade industrial, tamanho das empresas e origem do capital. Na Figura 6, pode-se observar as características das empresas entrevistadas.

Figura 6 - Características das empresas entrevistadas.

Origem do Capital	Porte	Implementaram I4.0		Não Implementaram I4.0		Total
		Contínuo	Discreto	Contínuo	Discreto	
Estrangeiro	Pequena e Média	-	1	-	2	3
	Grande	2	3	1	1	
Nacional	Pequena e Média	-	1	-	1	2
	Grande	5	1	4	2	12
Total		7	6	5	6	24
		13		11		

Fonte: CNI, 2020.

Buscando diversificar, foram entrevistadas 12 empresas relacionadas à indústria de processo contínuo (processo produtivo com interrupções mínimas) e 12 empresas relacionadas a processo discreto de produção (processo produtivo dividido em partes e componentes), dos seguintes setores de atividade (CNI, 2020):

- Indústrias de processo contínuo: agroindústria, indústria de produtos químicos, fertilizantes, farmacêuticos, higiene e limpeza, cosméticos, mineração e metalurgia.

- Indústria de processo discreto: indústria têxtil e de vestuário, máquinas e equipamentos, aparelhos elétricos e sistema automotivo (montadoras de veículos e autopeças).

Em relação ao porte da empresa, verifica-se na Figura 6, que as empresas de menor porte se encontram atrás no processo de adoção das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, além de relatar dificuldades na adoção dessas tecnologias. Quanto à origem do capital, os autores tinham a hipótese de que as empresas de capital estrangeiro estariam mais envolvidas com tecnologias da I4.0.

Das entrevistadas, 14 são de capital nacional e 10 estrangeiras. Filtrando para pequeno porte em capital estrangeiro, temos 3 empresas, sendo que apenas uma destas iniciou o processo de adoção dessas tecnologias. Com isso, conclui-se que a origem do capital das empresas não é o fator mais relevante para explicar a difusão dessas tecnologias.

Para as empresas de grande porte, das 19 presentes no estudo, 11 já haviam iniciado a implementação de tecnologias I4.0, enquanto as outras 8 conhecem a importância de se adequar a essa nova era.

Das 14 entrevistadas, apenas metade estão implementando ou implementaram algum projeto, sendo que uma encontra-se em etapa inicial, outras 2 estão implementando projetos a partir da capacitação tecnológica interna e as outras 4 buscam soluções tecnológicas em fornecedores estrangeiros.

2.5. MÁQUINAS CNC X INDÚSTRIA 4.0

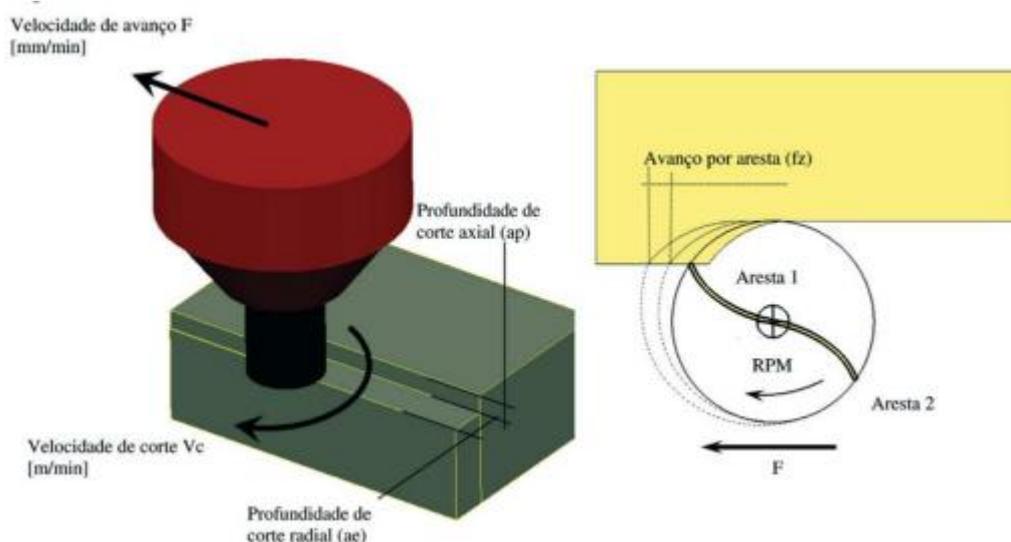
Com o advento da Indústria 4.0, as máquinas CNC deverão cumprir dois critérios principais: Conectividade e inteligência (IND4.0, 2019). Atualmente há uma variedade de máquinas CNC, que fabricam peças através do processo de fresamento e torneamento. Este equipamento é constituído, principalmente, de trilhos ou mesa de trabalho, eixo-árvore, motores e controle, do qual desloca ferramentas (fresamento) ou material (torneamento) através de coordenadas cartesianas.

Fabricando peças, com materiais desde alumínio à titânio, as máquinas de fresamento CNC utilizam um método subtrativo para modelar a peça através da ferramenta fresa, semelhante a uma broca que corta não só lateralmente como também em outras direções. Há dois movimentos a considerar, o de rotação da ferramenta e o de avanço da peça. Para a remoção de material do bloco, a ferramenta de corte se move de forma simultânea em três eixos ou até

mesmo em cinco eixos, dependendo da máquina. Quando se trata das máquinas de três eixos, o movimento dá-se na direção XYZ, enquanto que para cinco eixos, além do plano cartesiano, é acrescentado dois eixos rotativos. Para realizar o processo de fresamento, as ferramentas de corte possuem parâmetros geométricos, que envolvem o avanço por aresta e a profundidade de corte no sentido radial (a_e) e axial (a_p) da ferramenta. Outro parâmetro presente no processo é de velocidade, do qual envolve a velocidade de corte (V_c) e de avanço (F) (SOUZA; ULBRICH, 2013).

Na Figura 7 é possível observar os parâmetros de corte, com diferentes movimentações realizadas.

Figura 7 - Movimentação durante o processo de torneamento.



Fonte: Souza e Ulbrich, 2013.

As instruções para a realização dos movimentos são oriundas do programa CNC, que de acordo com Souza e Ulbrich (2013), abrange informações numéricas bem como codificações ASCII, na forma de linhas, que assim como outros códigos de programação, cada linha representará uma ação que será passada para a máquina na forma de comando.

De modo diferente ao que ocorre nas demais máquinas CNC, onde o movimento para desbastar o material é oriundo da rotação da ferramenta, no torno CNC, o material que está acoplado no eixo árvore irá rotacionar e as ferramentas terão deslocamento apenas nos eixos X e Z. Ou seja, a ferramenta produz o avanço enquanto a peça estabelece o movimento de corte.

2.6. USINAGEM 4.0

Ainda em estágio pouco avançado, o processo de usinagem está caminhando para uma rede conectada e inteligente de máquinas e sistemas. De acordo com Ind.4.0 (2019), as máquinas CNC passarão a reportar seu status em tempo real, além de facilitar o processo de análise de qualidade, quando através de varredura à laser, realizar o monitoramento do acabamento da superfície da peça.

Do lado administrativo, as máquinas seguirão as ordens de produção e terão robôs para troca de ferramentas, assim como o monitoramento do desgaste das mesmas. Algumas aplicações da implementação de tecnologias da I4.0 em máquinas CNC com processos de usinagem são citadas a seguir: manutenção preditiva, status de alarme, indicadores de produção e desempenho, economia em energia e ferramentas.

2.6. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO COM MÁQUINAS CNC

Com o objetivo de obter uma variedade de dados dos CNC's, alguns protocolos de comunicação de máquinas industriais foram pesquisados e avaliados. Os requisitos mínimos aplicados foram a independência de sensoriamento físico da máquina aliado a um padrão de comunicação simples e barato. Com isso, foram definidos dois padrões de comunicação: o MTConnect e o Fanuc Focas.

2.6.1. Padrão MTConnect

Utilizado para a captura de dados de equipamentos de manufatura, o MTConnect é um padrão de código aberto, utilizado em diversas indústrias, que permite o fornecimento de dados em XML (Linguagem de Marcação Extensível) estruturado ao invés de formatos proprietários (FANUC AMÉRICA, 2021). Para sua utilização em comunicações com máquinas CNC, é necessário que a CNC venha com o MTConnect embarcado. Para verificar se está habilitado, os passos presentes no Apêndice A, podem ser verificados.

Na Tabela 1, é possível observar os sistemas CNC da FANUC que, atualmente, o servidor FANUC MTConnect está disponível.

Tabela 1 - Sistemas com servidor FANUC MTConnect disponível.

Série	Modelo
30- <i>i</i>	A
31- <i>i</i>	A
32- <i>i</i>	A
30- <i>i</i>	B
31- <i>i</i>	B
32- <i>i</i>	B
0- <i>i</i>	D
0- <i>i</i>	F

Fonte: Fanuc, 2022.

2.6.2. Protocolo FOCAS

Os controles FANUC são utilizados em todo o mundo por diversas marcas de máquinas-ferramenta, sendo algumas delas: Tsugami, Doosan, Citizen, STAR e Matsuura. Como esse comando está presente em diversas máquinas, o protocolo padrão para coleta de dados dos controles FANUC, o FOCAS, é um método muito empregado para a coleta de dados (MACHINE METRICS, 2021).

O protocolo padrão FOCAS, é um conjunto de arquivos de biblioteca (dll), que podem acessar quase todas as informações dentro do CNC quando embutidos em uma aplicação. Este é o método mais utilizado para coleta de dados, quando a máquina é equipada com um controle FANUC moderno que esteja habilitado para o FOCAS (MACHINE METRICS, 2021). Esta integração tem como vantagem a dispensa de adaptadores de software, necessitando apenas de um cabo Ethernet e um edge device.

Na Tabela 2, são apresentados os controles FANUC que, atualmente, vêm equipado com padrão FOCAS.

Tabela 2 - Controles FANUC equipados com padrão FOCAS.

Série	Modelo
0- <i>i</i>	A
0- <i>i</i>	B
0- <i>i</i>	D
0- <i>i</i>	F
0- <i>i</i>	PD
0- <i>i</i>	PF
0- <i>i</i>	D
15- <i>i</i>	-
16- <i>i</i>	A
18- <i>i</i>	A
21- <i>i</i>	A
16- <i>i</i>	B
18- <i>i</i>	B
21- <i>i</i>	B
30- <i>i</i>	B
31- <i>i</i>	B
32- <i>i</i>	B
35- <i>i</i>	B

Fonte: Inventcom, 2022.

São diversos os dados que podem ser extraídos utilizando o protocolo especificado, dentre eles, alguns podem ser citados (FANUC, 2022):

- Informações do CNC: Modelo, série, quantidade de eixos, *feed rate* e *spindle speed*;
- Posição dos eixos (absoluto, relativo, máquina);
- Carga dos eixos;
- Informações da ferramenta (Contador de vida útil, ferramenta em uso, grupo da ferramenta);
- Programa em uso, dados modais, entre outros.

Devido a sua facilidade, o alto volume de dados disponíveis, aliado ao fato de que a CNC de bancada disponível ser comando FANUC, o método de integração empregado, para o desenvolvimento deste trabalho, foi o protocolo FOCAS.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da aplicação de monitoramento de máquinas CNC, uma série de conceitos e ferramentas foram utilizados. Nesta seção, estarão descritos a infraestrutura necessária para a conexão da máquina com o *edge device*, assim como a rotina em Python para capturar os dados da máquina. É demonstrado também o envio dos dados para a plataforma IoT, assim como o controle remoto dessa aplicação. São apresentados também, alguns dashboards gerados na plataforma IoT.

Os experimentos e aplicação do monitoramento foram realizados no setor de usinagem de fundidos, da WEG Jaraguá, em projeto da PPI-Multitask (grupo WEG). A máquina utilizada foi um torno DOOSAN Lynx 300, 2 eixos, com comando CNC Fanuc, 0i-F. A Figura 8 apresenta as etapas requeridas no desenvolvimento da aplicação de monitoramento.

Figura 8 - Requisitos para o desenvolvimento da aplicação de monitoramento.



Fonte: Autor, 2022.

A conexão física é a parte de comunicação e ativação do protocolo do CNC. Um dos requisitos principais é o desenvolvimento do código que vai compilar as bibliotecas e realizar a aquisição dos dados. Além disso, toda a parte de acesso e comunicação remota é especificado, juntamente com a necessidade de envio dos dados para plataforma IoT.

A aplicação de monitoramento foi aplicada na célula robotizada da seção Usinagem de Fundidos da WEG Jaraguá do Sul. Na Figura 9 é possível observar a célula monitorada.

Figura 9 - Célula robotizada utilizada para a aplicação do monitoramento. (a) Torno utilizado no projeto, (b) Torno, (c) Fresa, (d) Fresa, (e) Robô



Fonte: Autor, 2022.

3.1.1. Comunicação com a máquina

Para realizar a comunicação com a máquina foi necessária uma ligação física. Sendo assim, uma conexão TCP/IP é utilizada ligado a um cabo Ethernet no *Edge Device*, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Ligação física para comunicação com a máquina.



Fonte: Autor, 2022.

A biblioteca FOCAS, que permite desenvolver aplicações de comunicação com CNC Fanuc foi utilizada. Primeiramente foi necessário ativar o protocolo FOCAS no torno CNC. Para isso foi utilizado os passos demonstrados no Apêndice B.

Após isso, afim de verificar a comunicação com a máquina e garantir que o protocolo FOCAS está ativo, foi executado um comando *ping* no IP configurado no CNC e verificado que a comunicação foi concluída, já que não houve perdas no envio dos pacotes enviados conforme a Figura 11.

Figura 11 - Verificação da comunicação com a máquina.

```
root@cl-debian:~# ping 192.168.1.101
PING 192.168.1.101 (192.168.1.101) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.1.101: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.117 ms
64 bytes from 192.168.1.101: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.095 ms
64 bytes from 192.168.1.101: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.096 ms
64 bytes from 192.168.1.101: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.091 ms
^C
--- 192.168.1.101 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 164ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.091/0.099/0.117/0.015 ms
root@cl-debian:~#
```

Fonte: Autor, 2022.

Os primeiros testes de comunicação foram realizados em uma máquina CNC de bancada, modelo 18i-MB. na Figura 12 é demonstrado a CNC montada na bancada de testes.

Figura 12 - Bancada de testes.



Fonte: Autor, 2022.

Em linguagem Python, foram carregados os arquivos de bibliotecas (.dll) necessários para a coleta dos dados. Nesse primeiro momento, para verificar se os arquivos (.dll) carregaram e estavam comunicando corretamente, a função FOCAS *sysinfo* foi implementada e sua resposta salva em um arquivo .txt, com o intuito de obter informações de série e modelo e validar a metodologia com o CNC utilizado.

A Figura 13 apresenta o retorno da função *sysinfo* implementada na CNC de bancada.

Figura 13 - Retorno da função implementada.

```

teste 02_08 - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
machineTypeModel 18i-MB
seriesNumber BDHA
versionNumber 0003
axesNumber 3

currentProgram 3
mainProgram 3
sequenceNumber 99
actualFeedRate: 0
actualSpindleSpeed: 0
alarmStatus 34305

  AXIS Absolute Relative Machine Distance
  -----+-----+-----+-----+-----
  0  -486670  -486670      19      0
  1   184870   184870     -162     0
  2   507910   507910    -17204    0

```

Fonte: Autor, 2022.

Como os dados obtidos foram iguais aos visualizados na tela da CNC de bancada (Figura 12), concluiu-se que era possível prosseguir na implementação de outras funções, pois tanto a comunicação quanto as (.dll) estavam funcionando corretamente.

Seguindo os mesmos padrões da primeira função implementada, foram definidas as variáveis de interesse e buscadas as funções do padrão FOCAS que retornariam estas informações. Na Tabela 3, é possível observar as funções implementadas no código principal.

Tabela 3 - Funções FOCAS implementadas.

Origem	Função
<i>Handle</i>	<i>cnc_allclibhdl3</i>
<i>Misc</i>	<i>cnc_sysinfo</i>
<i>Misc</i>	<i>cnc_getfigure</i>
<i>Position</i>	<i>cnc_rddynamic2</i>
<i>Position</i>	<i>cnc_skip</i>
<i>Position</i>	<i>cnc_srvdelay</i>
<i>Position</i>	<i>cnc_accdecldly</i>
<i>Position</i>	<i>cnc_acts2</i>
<i>Position</i>	<i>cnc_rdspmaxrpm</i>
<i>Position</i>	<i>cnc_rdspload</i>
<i>Position</i>	<i>cnc_rdsvmeter</i>
<i>Position</i>	<i>cnc_rdspmeter</i>
<i>Tool Life</i>	<i>cnc_rdusegrpid</i>
<i>Tool Life</i>	<i>cnc_rdcoun</i>
<i>Tool Life</i>	<i>cnc_rdlife</i>
<i>Handle</i>	<i>cnc_freelibhdl</i>

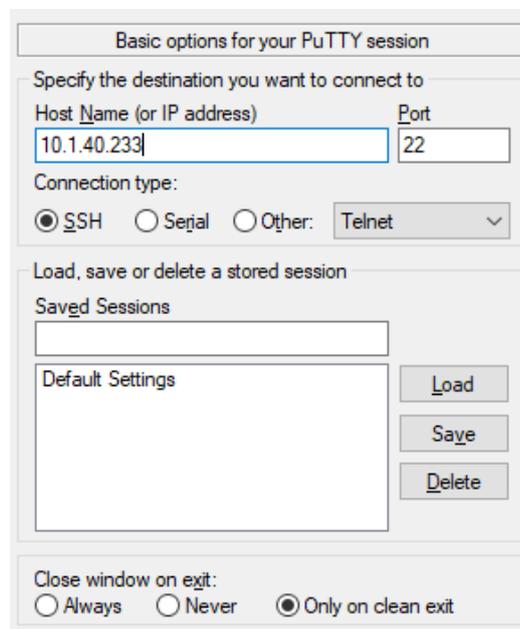
Fonte: Autor, 2022.

Na rotina do código, foram desenvolvidas as classes para acessar os objetos e implementadas as funções que fornecem as variáveis definidas para o monitoramento. Nesse desenvolvimento inicial, o banco de dados escolhido foi o próprio *device* que armazena os dados das variáveis em um arquivo csv. A taxa de aquisição dessas informações, devido a limitação de hardware do *device*, é de 10 Hz.

3.1.2. Acesso remoto

Os mesmos procedimentos explicados anteriormente para o CNC de bancada, foram replicados agora para a aplicação na célula robotizada, no torno DOOSAN Lynx 300, comando Fanuc 0i-F. Com o device instalado na fábrica, sua rede *wireless* foi configurada para conectar-se à rede interna da fábrica. O PuTTY, que é um software de emulação de terminal, foi escolhido para o acesso via SSH, já que este suporta esse tipo de conexão. Na Figura 14 é demonstrado a tela inicial do PuTTY.

Figura 14 - Acesso SSH via PuTTY.



Fonte: Autor, 2022.

No PuTTY é definido o endereço IP gerado na rede interna da fábrica, como tipo de conexão SSH. É realizado o login, permitindo o acesso remoto no *device*, o que torna possível acessar qualquer diretório ou arquivo.

3.1.3. Tratamento e envio dos dados para a plataforma IoT

Como o projeto foi desenvolvido na célula robotizada da Usinagem de Fundidos da WEG Jaraguá do Sul, a plataforma IoT WEGNology foi disponibilizada para uso. Para melhor entendimento, é nomeado “código primário” o sistema apresentado anteriormente, responsável por coletar os dados das máquinas, através do padrão FOCAS, e salvar esses dados em um

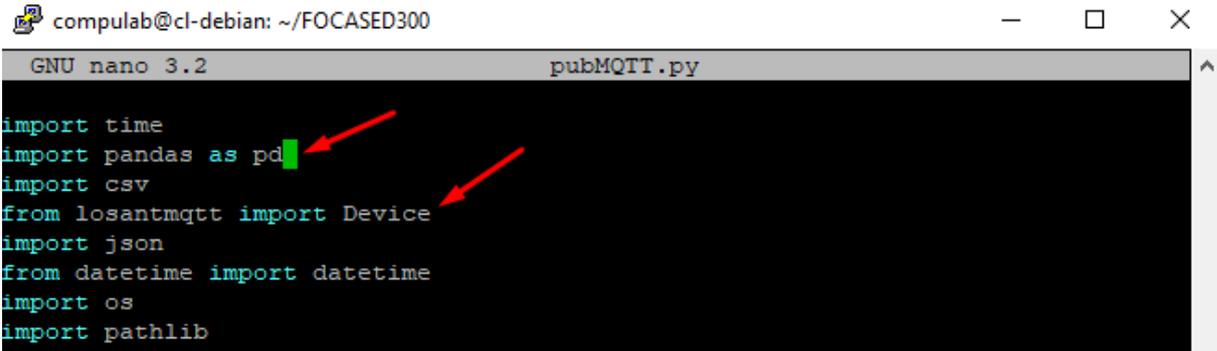
arquivo csv. Já o “código secundário” é o responsável por carregar esse arquivo csv, realizar o tratamento dos dados e publicar na plataforma IoT.

Para o envio dos dados para a plataforma, foi definido que seria realizado uma análise e tratamento dos dados preliminar para diminuir o consumo de *payload*. Para realizar a análise, foi desenvolvido um segundo código em linguagem Python. A escolha dessa linguagem foi definida levando em conta a disponibilidade de diversas bibliotecas que serão úteis para o objetivo proposto.

Além de realizar o tratamento dos dados, o código secundário é responsável por publicar no servidor MQTT da plataforma. A plataforma disponibiliza para seus clientes uma biblioteca para Python MQTT *client*, que foi instalada no *device* através do terminal com o comando *pip install losant-mqtt*, e posteriormente importada para o código.

Na Figura 15, é possível observar algumas bibliotecas importantes que foram importadas.

Figura 15 - Bibliotecas importadas para o código Python.



```

compulab@cl-debian: ~/FOCASED300
GNU nano 3.2 pubMQTT.py
import time
import pandas as pd
import csv
from losantmqtt import Device
import json
from datetime import datetime
import os
import pathlib

```

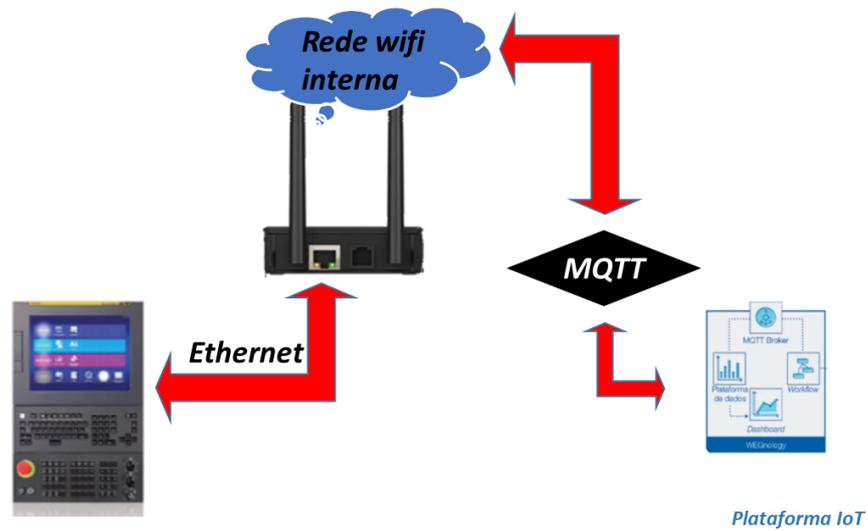
Fonte: Autor, 2022.

O arquivo csv gerado no código primário é importado para o código secundário através da biblioteca Pandas. Esta biblioteca é muito utilizada por cientistas de dados, devido sua facilidade para manipular grandes quantidades de dados em tabelas, permitindo filtrar e realizar agrupamentos com funções matemáticas (valor médio, máximo, mínimo, etc), transformando em novos *DataFrame*.

No código secundário é realizado o agrupamento dos dados por ciclo e filtrado para as diferentes ferramentas. Com isso, é possível unir informações das diferentes variáveis coletadas e analisar conforme o uso da máquina.

Após a realização de todas as tarefas citadas, a arquitetura da aplicação ficou de acordo com a Figura 16.

Figura 16 - Arquitetura do sistema.



Fonte: Autor, 2022.

Ou seja, os dados são gerados pelo CNC e enviados via Ethernet para o *device*. Neste, os dados são guardados e tratados. Com o *device* dentro da rede interna da fábrica, é possível acessá-lo remotamente via SSH. Os dados são publicados na plataforma IoT via MQTT.

4. RESULTADOS E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Nesta seção, serão apresentados os dados extraídos do torno CNC, com o sistema de monitoramento aplicado na célula apresentada anteriormente, assim como os dashboards e gráficos gerados. Serão também, realizadas algumas análises de comportamento do *spindle*, variando ciclos e ferramentas.

4.1. ACESSO AO EDGE DEVICE E COMUNICAÇÃO COM O TORNO

Como já apresentado anteriormente, para o acesso remoto ao *edge device* foi utilizado o programa PuTTY, com o tipo de conexão SSH. Para verificar o IP da rede *wireless* que se encontra o *device*, foi utilizado, conforme Figura 17, o comando *ifconfig* no terminal.

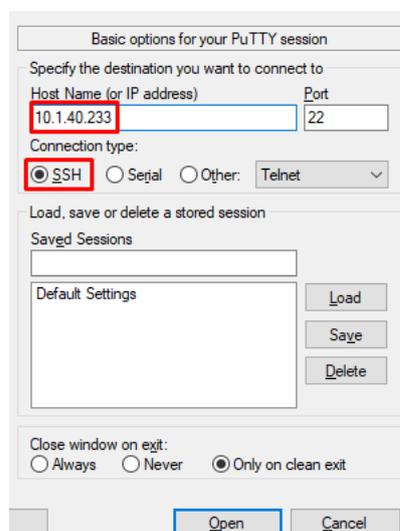
Figura 17 - IP da rede *wi-fi* do *edge device*.

```
wlan0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.1.40.233 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.1.40.255
```

Fonte: Autor, 2022.

Após verificar o IP de acesso, foi possível acessar remotamente através do software de emulação de terminal.

Figura 18 - Tela de acesso do PuTTY.



Fonte: Autor, 2022.

Após acessar o dispositivo, assim como foi feito no teste de bancada, é necessário confirmar a conexão com o torno através do comando *Ping*. A Figura 19 mostra o comando *Ping* no IP do torno.

Figura 19 - *Ping* no IP do torno CNC.

```

computab@c1-debian:~/FOCASED300$ ping 192.168.1.30
PING 192.168.1.30 (192.168.1.30) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.1.30: icmp_seq=1 ttl=255 time=15.0 ms
64 bytes from 192.168.1.30: icmp_seq=2 ttl=255 time=5.71 ms
64 bytes from 192.168.1.30: icmp_seq=3 ttl=255 time=16.0 ms
64 bytes from 192.168.1.30: icmp_seq=4 ttl=255 time=6.81 ms
^C
--- 192.168.1.30 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 8ms
rtt min/avg/max/mdev = 5.713/10.887/16.026/4.655 ms

```

Fonte: Autor, 2022.

Conforme Figura 19, os pacotes transmitidos foram recebidos, logo a comunicação com a máquina foi realizada com sucesso.

4.2. EXTRAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS.

Agora que temos a comunicação estabelecida, é possível executar os códigos primários e secundários em Python. Para implementar as funções que coleta as variáveis definidas, alguns problemas de compatibilidade entre sistemas foram encontrados, principalmente pelo fato de que a biblioteca é disponibilizada para sistema Windows, e o sistema utilizado no *edge device* é Linux, então foi necessário criar algumas classes no Python de forma manual, e analisar o tipo de dado (*short*, *int*, *long*) pelo comprimento do byte.

Em conversas com especialistas em processos de usinagem da WEG, foram definidas as variáveis de interesse para o monitoramento. Os dados relacionados ao *spindle*, juntamente com as variáveis de vida de ferramenta, serão uteis para verificar a interferência do desgaste da ferramenta com o carregamento no *spindle*. Assim, conforme Tabela 4, as seguintes variáveis foram extraídas da máquina.

Tabela 4 - Variáveis monitoradas.

Origem	Variáveis validadas	
<i>Dados dinâmicos</i>	Número de eixos controlados	Atualmente não utilizada
	Tipo (CNC/Torno)	
	Versão	
	Número de série	
<i>Dados de posição</i>	Posição absoluta do eixo controlado	
	Posição da máquina do eixo controlado	
	Posição relativa do eixo controlado	
	Quantidade de distância a percorrer do eixo controlado	
	<i>Feed rate</i>	
<i>Servo</i>	Quantidade de atraso	
	Carregamento	
<i>Spindle</i>	Rotação	Atualmente utilizada
	Carga	
<i>Tool life</i>	Valor da vida útil	
	Contador de vida útil	
	Ferramenta em uso	
	Grupo da ferramenta em uso	
<i>Tratamento dos dados</i>	Tempo de ciclo	
	Carregamento médio do <i>spindle</i>	
	Tempo de uso da ferramenta no ciclo	

Fonte: Autor, 2022.

As variáveis apresentadas na Tabela 4 estão divididas em “Atualmente não utilizada” e “Atualmente utilizada”. Os dados que não estão sendo utilizados atualmente, são dados validados, porém não serão úteis para as análises desenvolvidas neste momento. Estas informações são apresentadas neste trabalho a fim de verificarmos que é possível extraí-las com a aplicação desenvolvida. As variáveis apresentadas na Tabela 4 como “utilizadas”, são os dados que serão apresentadas neste trabalho.

Todas as variáveis apresentadas na tabela acima foram validadas no próprio torno. Para os dados dinâmicos, temos informações relacionadas ao tipo da máquina CNC, quantidade de eixos controlados, além de informações sobre o modelo do comando Fanuc utilizado. Na Figura 20 é visualizado um objeto *json* dos dados dinâmicos extraídos.

Figura 20 - Dados dinâmicos.

```
connecting to machine at 192.168.1.30:8193...
System Information: {"addinfo": 1538, "max_axis": 32, "cnc_type": " 0", "mt_type": " T", "series": "D6G1", "version": "58.0", "axes": "02"}
```

Fonte: Autor, 2022.

Como apresentado na Figura 20, temos uma conexão com a máquina de IP referente ao validado anteriormente através do comando *Ping*. Além disso, temos a informação de que se trata de um torno (“*mt_type*”: “*T*”), com 2 eixos controlados (“*Axes*”: “*02*”), validando com a metodologia apresentada na seção anterior.

Os dados de posição são referentes aos eixos da máquina, neste teremos as posições absolutas, relativas, máquina e distância a percorrer, como visualizado na Figura 21.

Figura 21 - Dados de posição do torno CNC.

```
absolute: 455.646 machine: 430.0 relative: 455.646 distance: 0.0
absolute: 587.656 machine: 886.0 relative: 587.656 distance: 0.0
```

Fonte: Autor, 2022.

Para o código primário, onde extrai os dados e os guarda em um arquivo csv, é visualizado que os dados estão sendo salvos corretamente, conforme Figura 22.

Figura 22 - Arquivo csv gerado pelo código primário.

1	dateTime,toolUse,toolLifeValue,counterLife,servoLoad,spindleLoad,programNumber,spFeedRate
2	08/12/2021 14:38:32,1,30,23,9,20,2619,21954
3	08/12/2021 14:38:32,1,30,23,84,96,2619,38419
4	08/12/2021 14:38:32,1,30,23,59,97,2619,30000
5	08/12/2021 14:38:32,1,30,23,13,36,2619,30000
6	08/12/2021 14:38:32,1,30,23,27,10,2619,0
7	08/12/2021 14:38:33,1,30,23,27,4,2619,0
8	08/12/2021 14:38:33,3,35,20,26,26,2619,0
9	08/12/2021 14:38:33,3,35,20,25,9,2619,0
10	08/12/2021 14:38:33,3,35,20,22,4,2619,0

Fonte: Autor, 2022.

O código secundário carrega esse arquivo csv, realiza o tratamento dos dados e envia para a plataforma IoT.

Os dados são agrupados por ciclo (torneamento total de uma peça), e dentro desse ciclo, filtrado por diferentes ferramentas utilizadas. Na Tabela 5, é mostrado como foi realizado o tratamento das informações.

Tabela 5 - Caminho percorrido para tratar os dados.

Ciclo	Ferramenta	Carga média do Spindle	Contador de vida útil	Duração do ciclo	Tempo de uso da ferramenta
1	1	\overline{spLoad}	Counter1	t1	tTool_1
	3		Counter3		tTool_3
	5		Counter5		tTool_5
	7		Counter7		tTool_7
2	1	\overline{spLoad}	Counter1	t2	tTool_1
	3		Counter3		tTool_3
	5		Counter5		tTool_5
	7		Counter7		tTool_7
...
<i>n</i>	<i>m</i>	<i>spLoad_n</i>	<i>Counter_n</i>	<i>t_n</i>	<i>tTool_n</i>

Fonte: Autor, 2022.

Ou seja, para um determinado ciclo, tem-se as ferramentas que o processo utilizou, e para cada ferramenta a carga realizada pelo *spindle* é observada, além de informações do contador de vida útil. Com isso, é possível realizar diversas análises, sendo exemplo de uma delas, estudos referentes a vida útil de ferramentas.

Com a biblioteca Pandas, esse arquivo é tratado como um *DataFrame* manipulável. Na Figura 23 é possível observar o *DataFrame* de um arquivo csv com os dados do torno CNC.

Figura 23 - *DataFrame* com os dados do CNC.

```
df = pd.read_excel('Pasta1.xlsx')
df
```

	dateTime	toolUse	counterLife	toolLifeValue	spindleLoad	servoLoad	programNumber	cycle
0	2021-12-10 13:02:28	0	0	0	0	18	2623	1
1	2021-12-10 13:02:28	0	0	0	0	17	2623	1
2	2021-12-10 13:02:28	0	0	0	0	18	2623	1
3	2021-12-10 13:02:28	0	0	0	0	18	2623	1
4	2021-12-10 13:02:28	0	0	0	0	19	2623	1
...
350873	2021-12-11 05:33:51	5	10	40	7	14	2619	347
350874	2021-12-11 05:33:51	5	10	40	7	14	2619	347
350875	2021-12-11 05:33:51	5	10	40	8	14	2619	347
350876	2021-12-11 05:33:51	5	10	40	8	13	2619	347
350877	2021-12-11 05:33:51	5	10	40	7	14	2619	347

Fonte: Autor, 2022.

Na figura acima tem-se o momento da coleta dos dados, identificado como *datetime*. Além disso, as variáveis *toolUse*, *counterLife* e *toolLifeValue*, correspondem a ferramenta em uso, contador de vida útil e valor de vida útil definido no CNC, respectivamente. As variáveis *Load* referem-se ao carregamento, tanto do *spindle* quanto do servo. O programa atual em uso é mostrado como *programNumber*, e o ciclo representado como *cycle*.

Observa-se que ao utilizar a ferramenta zero, todas as demais variáveis estão zeradas, isso se dá ao fato de que a ferramenta zero é na verdade um embolo que empurra a peça posicionando no torno. O *DataFrame* apresentado contém 347 ciclos, sendo que ciclos aqui são tratados como o intervalo de início ao fim do torneamento de uma peça.

Ainda utilizando a biblioteca Pandas, no código secundário os dados são agrupados por ciclo e ferramentas, além de realizar o cálculo de duração de um ciclo, e para esse ciclo, o tempo de uso de cada ferramenta. Na Figura 24 é apresentado esse agrupamento.

Figura 24 - Dados agrupados por ciclo e ferramenta.

spindleLoa...<	toolLifeVal...	counterLife.◇	Tcycle ◇	timeTool ◇	toolUse ◇
0	0	0	00:02:54	00:00:10	0
18.5576923...	30	26	00:02:54	00:00:08	1
31.5180722...	35	2	00:02:54	00:00:13	3
40.59375	41	26	00:02:54	00:00:10	5
13.5443425...	90	45	00:02:54	00:02:13	7

Fonte: Autor, 2022.

Agora com os dados agrupados, conforme a figura 24, pode-se observar o tempo de uso da ferramenta no ciclo e o valor total do ciclo. Os dados contornados em vermelho representam um ciclo, e cada retângulo em azul representa a ferramenta utilizada naquele ciclo.

Analisando apenas um ciclo, utilizando como exemplo a primeira linha, observa-se que a ferramenta utilizada é a zero, neste momento a peça está sendo apenas posicionada, o tempo para que esse encaixe aconteça é de 10s. Após o posicionamento da peça concluído, o comando da máquina busca a ferramenta 1 e a utiliza por apenas 8s, onde analisando o processo, o papel desta ferramenta é realizar um ligeiro faceamento na peça. Utilizada por 13s, a ferramenta 3 realiza um desbaste. Ao chamar a ferramenta 5, é realizado um desbaste com acabamento, que tem duração de 10s. Por fim, a ferramenta mais utilizada no ciclo é acionada para realizar diversas operações de acabamento, esta é utilizada por 02m13s. Além disso, é extraído o carregamento médio do *spindle* da respectiva ferramenta no ciclo.

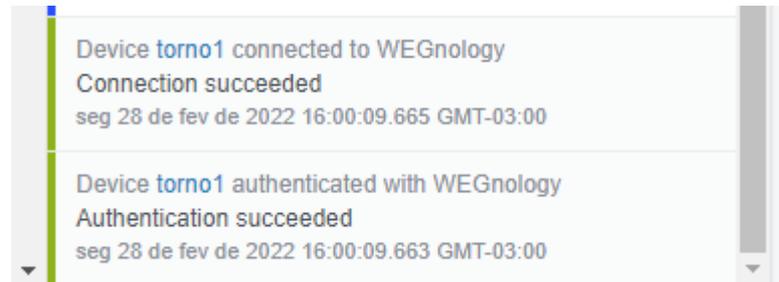
Assim, as informações ciclo a ciclo do uso de cada ferramenta são obtidas. Com essa estrutura de dados é possível realizar diversas análises do processo.

4.3. ENVIO PARA A PLATAFORMA IOT

Para o envio dos dados para a plataforma IoT, a estrutura do código leu o arquivo csv e realizou todas as etapas já apresentadas (tratamento, carga média, etc), a cada 15 minutos. Desta forma, em 1 hora são realizados 4 envios para a plataforma, sendo que cada envio contém aproximadamente 90 *payloads*.

Com a biblioteca *MQTT Client* da plataforma IoT WEGNology, os dados são publicados com o ID, chave de acesso e senha, respectivos ao *device*. Na Figura 25, é mostrado a conexão via MQTT para a plataforma.

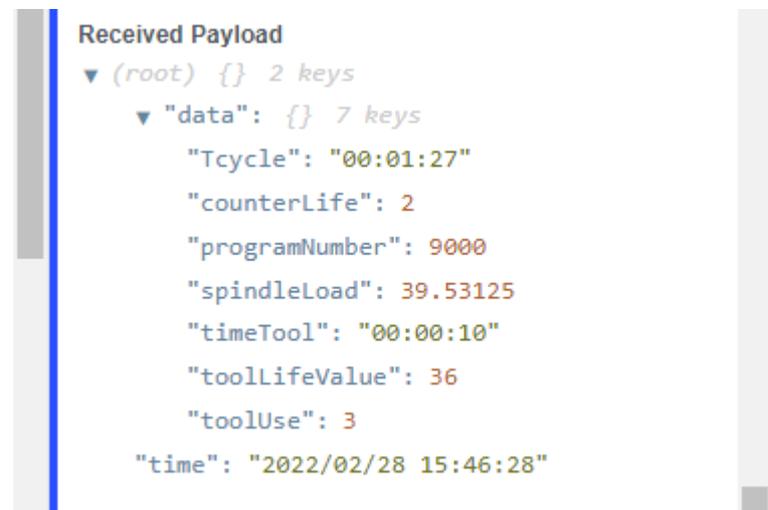
Figura 25 - Conexão com a plataforma IoT.



Fonte: Autor, 2022.

Podemos observar que a conexão foi autenticada com sucesso e conectada, e que o envio do *payload* foi concluído, conforme Figura 26.

Figura 26 - Exemplo de um *payload* enviado para a plataforma.



Fonte: Autor, 2022.

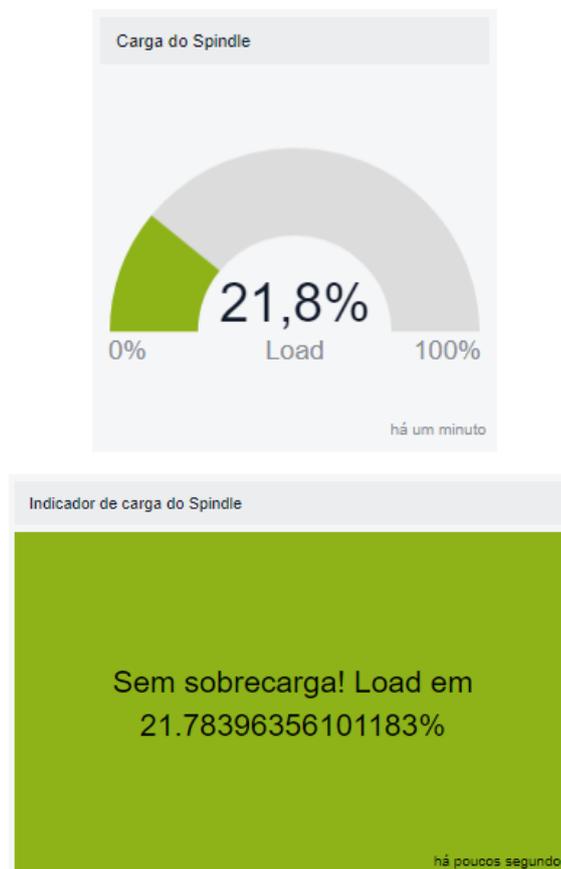
Com isso, verifica-se que as variáveis de interesse estão sendo extraídas do torno CNC e enviadas para a plataforma IoT. A próxima etapa objetiva gerar a visualização destes dados.

4.4. VISUALIZAÇÃO DA APLICAÇÃO DE MONITORAMENTO

Com o objetivo de monitorar as variáveis de máquinas CNC concluído, podem-se gerar algumas visualizações dos dados obtidos. A plataforma IoT utilizada (WEGnology) permite criar dashboards de maneira rápida com os dados enviados, em eventos históricos ou em tempo real.

Uma das variáveis monitoradas, o *spindle*, sofre diversas variações durante os processos de usinagem. Para obter esse controle do quanto o *spindle* está sendo solicitado no processo, um indicador de carga é desenvolvido com as informações coletadas na aplicação de monitoramento, conforme Figura 27.

Figura 27 - Indicador de carga do spindle sem sobrecarga.



Fonte: Autor, 2022.

Neste indicador é definido que a carga abaixo de 50% é considerada sem sobrecarga. As informações aqui apresentadas são ciclo a ciclo, ou seja, no último ciclo o carregamento médio do *spindle* foi de 21,7%.

A Figura 28 exemplifica o sinal de alerta emitido quando o carregamento se encontra entre 50% e 75%.

Figura 28 - Indicador de carga do *spindle* em alerta.



Fonte: Autor, 2022.

Ao emitir o sinal de alerta, o usuário poderá realizar uma parada na máquina ou verificar de perto o que está acontecendo.

Na Figura 29, a condição para o alerta de sobrecarga é de carregamento maior que 99%. Ou seja, neste ponto o braço está sobrecarregado, forçando o usuário a ficar em alerta máximo, ou até mesmo parar os processos, quando possível.

Figura 29 - Indicador de carga do *spindle* sobrecarregado.



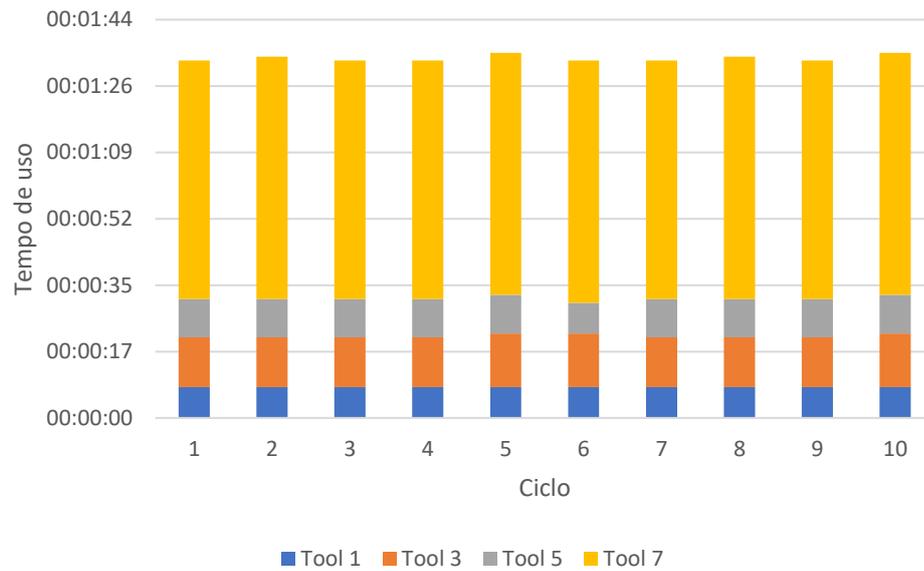
Fonte: Autor, 2022.

Um comportamento observado foi de que em alguns momentos, o carregamento ultrapassa 100%, e neste momento tem-se a hipótese de que a máquina deveria parar. Um estudo referente a essa questão será realizado, afim de identificar a causa, e se possível, propor uma solução em trabalhos futuros.

Os dados dos indicadores apresentados foram dados históricos de cada *payload* enviando para a plataforma. Esses dashboards podem ser visualizados também, em tempo real, onde a cada movimento da máquina tem-se o carregamento do *spindle* variando. Essa visualização, com a possibilidade de emitir alertas por e-mail, whatsapp, etc, faz com que o responsável tenha acesso e informações durante todos os processos, em tempo real, possibilitando a tomada de decisões até mesmo de forma remota.

Um indicador que auxilia muito nos processos e nas análises de ferramentas, é o de tempo de uso de cada ferramenta no respectivo ciclo, além de obter a duração total deste ciclo. Na Figura 30 é apontado o tempo de uso de cada ferramenta durante o processo.

Figura 30 - Tempo de uso da ferramenta no ciclo

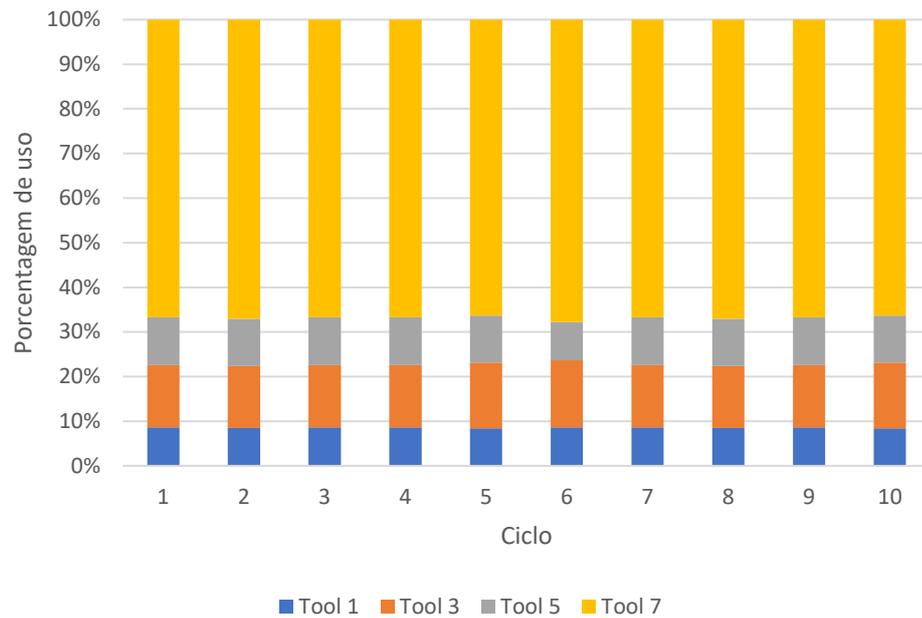


Fonte: Autor, 2022.

Na Figura 30, são apresentados apenas 10 ciclos a fim de uma melhor visualização na escala apresentada. Ao analisarmos o ciclo 1, nota-se que a ferramenta 1 é a menos utilizada, com um uso de apenas 8s. A ferramenta 3 tem uso total de 13s, seguida da 5 com tempo de uso de 10s. A ferramenta 7, como visto em outras seções, é a mais utilizada para o processo em que os dados foram obtidos, com duração total de 01min02s. Os demais ciclos apresentam poucas variações, pois é o mesmo processo, com peças de mesmo material, utilizando o mesmo programa.

Outra forma de visualizar os mesmos dados apresentados acima é a porcentagem de uso destas ferramentas nos respectivos ciclos, conforme Figura 31.

Figura 31 - Porcentagem de uso de ferramenta.

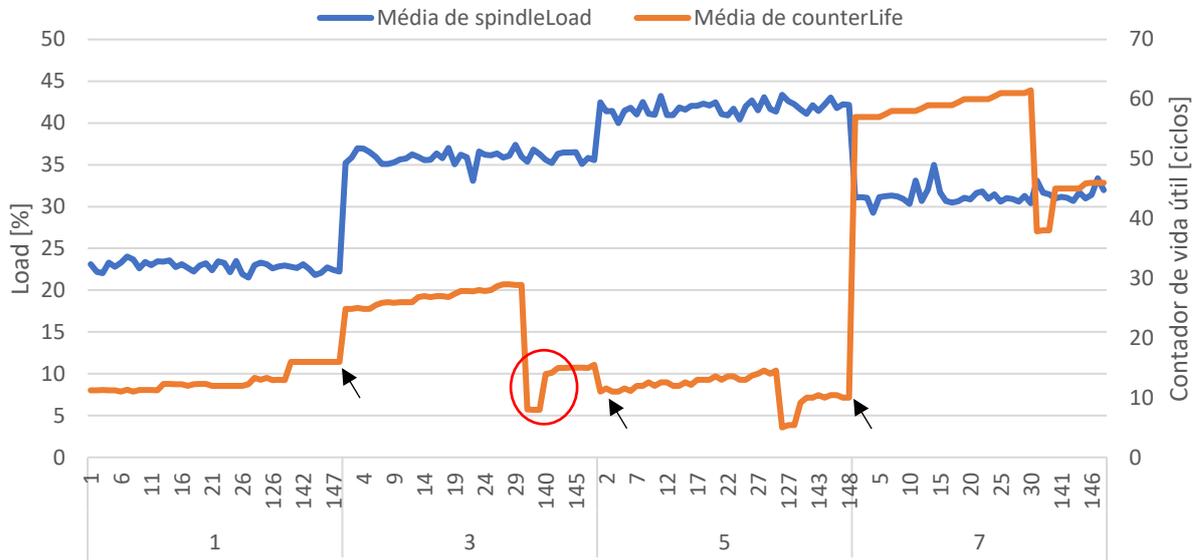


Fonte: Autor, 2022.

Seguindo o mesmo padrão do gráfico de tempo de uso das ferramentas, neste observamos que a ferramenta 1 é utilizada em menos de 10% do tempo total do ciclo. Já a ferramenta 7 consome mais de 60% do tempo do ciclo. Ou seja, para análises mais precisas em trabalhos futuros, pode-se dizer que o foco de estudo deve ser concentrado na ferramenta 7, pois além de ser a mais utilizada, é a que mais nos traz dados.

Afim de visualizar o desgaste das ferramentas, foi gerado um gráfico de comparação do carregamento médio do *spindle*, com o contador de vida útil da ferramenta, ao longo dos ciclos. Na Figura 32 é possível observar estes dados.

Figura 32 - Comportamento da carga com o contador de vida útil.



Fonte: Autor, 2022.

Na Figura 32 é possível observar o carregamento médio do *spindle* e contador de vida útil da ferramenta, para as ferramentas 1, 3, 5 e 7. Os dados são referentes a 150 ciclos. O contador de vida útil está definido em ciclos, então o aumento desta variável conforme passa os ciclos é perceptível.

Os pontos marcados com a seta, é o momento em que muda de ferramenta. No ponto circulado, onde a ferramenta utilizada é a 3, percebe-se que houve uma queda e depois retornou com o contador de vida útil igual a 10, isso significa que o operador trocou a ferramenta que já tinha 10 ciclos de vida. O mesmo ocorre com a ferramenta 7, que inicia com o contador em 55 e, próximo ao ciclo 30 ocorre uma substituição da ferramenta com um contador de vida útil diferente.

Percebe-se que independentemente da ferramenta utilizada, a carga do *spindle* permanece continua, sem grandes variações. A ideia seria visualizar que quanto maior o contador de vida útil, maior seria o tempo de vida da ferramenta, logo ela está mais desgastada. Se a ferramenta está mais desgastada, para realizar o mesmo serviço, a carga do *spindle* deveria aumentar.

Este comportamento não foi observado, e a teoria mais provável é de que as ferramentas estão sendo trocadas muito cedo na fábrica, afim de evitar problemas no fim da vida da ferramenta, ou qualquer outro motivo plausível para o coordenador da máquina. Não foi

possível validar esta teoria, devido ao fato de que não seria possível realizar testes esgotando a vida da ferramenta e testes até o desgaste total da ferramenta, pois acarretaria no dia da fábrica, atrasando outros processos.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de contribuir com o avanço da indústria brasileira na quarta revolução industrial, um sistema de monitoramento de máquinas CNC foi desenvolvido utilizando conceitos da indústria 4.0. Nesta seção serão apresentadas as conclusões referentes a aplicação desenvolvida, além de definir as próximas etapas, convertidas em sugestões para trabalhos futuros.

Iniciando pelo padrão de comunicação, a biblioteca FOCAS em comando Fanuc mostrou-se eficaz quando se trata de coletar dados das máquinas CNC. Esse protocolo de comunicação nos traz a possibilidade de escolher diversas variáveis para realizar o monitoramento, obtendo um controle total sobre o CNC.

Com a biblioteca Pandas, foi realizado toda a parte de tratamento dos dados. Ao manipularmos *DataFrame*, o Pandas foi rápido, eficaz, flexível e por ser tratar de uma biblioteca de código aberto, de fácil acesso. A forma de manipular os dados foi bastante intuitiva e com documentação completa para eventuais dúvidas de uso.

O acesso remoto ao *edge device* foi realizado com êxito, permitindo com que fosse acessado de qualquer local, concluindo que a conexão SSH é muito eficiente para a aplicação desenvolvida. Além disso, ao utilizar o protocolo de mensagens MQTT, uma maior flexibilidade no envio dos dados é observada, já que os dados são organizados de maneira fácil em um objeto *json*.

A plataforma IoT da WEG Digital, a WEGNology, supriu toda a aplicação de monitoramento, com telas intuitivas, além da biblioteca para instalação do MQTT, não necessitando utilizar outros servidores, nos permitindo publicar de maneira simples e fácil. Por ser uma plataforma *low-code*, os dashboards são fáceis de serem gerados, com manipulação não complexa.

Os resultados apresentados, permite uma visualização em tempo real, ou dados históricos, do que realmente está acontecendo no torno CNC estudado. Com as variáveis coletadas, diversas análises podem ser feitas, melhorando os setores de manutenção, ferramental e até mesmo melhorando processos da fábrica como um todo.

Pode-se dizer que o projeto como um todo, desenvolveu uma base sólida para futuras aplicações. Além de que, com outras análises em trabalhos futuros, vai permitir que a célula robotizada da Usinagem de Fundidos da WEG, seja uma célula 100% monitorada, e a PPI-

Multitask seja a base para que isso aconteça. O objetivo de desenvolver esta aplicação foi concluído se mostrando bastante flexível.

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema adaptável e flexível para comunicação de máquinas CNC com aquisição de dados do processo, utilizando de ferramentas como *Cloud Computing* e *Big Data*. A aplicação mostrou-se eficaz na coleta de diferentes informações do processo de usinagem e poderá ser utilizado como ferramenta base para trabalhos futuros, tais como, monitoramento e controle remoto de processos de fabricação com máquinas CNC e *Digital Twings*.

As sugestões para trabalhos futuros, são apresentadas com o objetivo de expandir a aplicação para outros padrões de comunicação, realizar outras análises, além de trazer novas variáveis de interesse:

- Comparar protocolo FOCAS com padrão MTConnect;
- Expandir para outros comandos CNC com o MTConnect;
- Realizar testes de desgaste de ferramenta, até que esgote completamente a vida útil da ferramenta, afim de validar a teoria de que a troca está acontecendo precocemente;
- Realizar estudos para predizer a hora correta de trocar a ferramenta;
- Desenvolver novas análises com as variáveis já coletadas neste projeto;
- Determinar novas análises e coletar as variáveis referentes a essas análises de interesse;

REFERÊNCIAS

- ABIMAQ. **A História das Máquinas**. São Paulo: Magma Cultural e Editora, 2006. 168 p.
- BRITO, A. A. F. A Quarta Revolução Industrial e as Perspectivas para o Brasil. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [s.l.], v. 2, n. 7, p. 91-96, out. 2017.
- CARDOSO, M.O. **Indústria 4.0: a quarta revolução industrial**. 2016. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.
- CHEN, J.; RAN, X. Deep learning with edge computing: A review, **Proceedings of the IEEE**, 107 (2019) pp.1655-1674.
- CNI. A difusão das tecnologias da indústria 4.0 em empresas brasileiras. Confederação **Nacional da Indústria: CNI**, 54 p. Brasília, 2020.
- CNI. Sondagem Especial. Vol, 17, n. 2. **Indicadores CNI**, 2016.
- DUMSS, S.; GRAFINGER, M.; HENNIG, M.; ROSENBERGER, P. Combining multiple data sources and enriching the dataset using industrial edge devices, Ed. 53 CIRP Conference on Manufacturing Systems, **Procedia CIRP**, 2020.
- FANUC. **Biblioteca Focas**. 2022. Disponível em: <<https://www.fanuc.eu/pt/pt/cnc/development-software/focas-development-libraries>>. Acesso em: 16 dez 2021.
- FANUC AMÉRICA. **Servidor MTConnect**. 2022. Disponível em: <<https://www.fanucamerica.com/products/cnc/cnc-software/connectivity-software-for-machine-tools/mtconnect-server-adapter>>. Acesso em 17 dez. 2021.
- FDC. O que seria a Indústria 4.0?. Boletim: Fevereiro/2016, **Pesquisa sobre digitalização**. [S.l.], 2016. 4 p.
- FIGUEREDO, M. **Ford cria fábrica virtual na Europa**. 2012. Disponível em: <<http://motordream.bol.uol.com.br/noticias/ver/2012/08/03/ford-cria-fabricavirtual-na-europa>>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- HARRISON, R.; VERA, D.; AHMAD, B. Engineering Methods and Tools for Cyber-Physical Automation Systems. **Proceedings of the IEEE**, 104(5), 973-985, 2016.
- HISTÓRIA EM CARTAZ (ed.). **Revolução Industrial - As máquinas que fizeram a revolução**. Disponível em: <http://historiaemcartaz.blogspot.com/2015/10/revolucao-industrial-as-maquinas-que.html>>. Acesso em: 08 jan. 2022.
- HOFMANN, E. & RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*. **Elsevier**, 2017.
- IGLÉSIAS, F. A Revolução Industrial. 5. Ed. São Paulo: **Brasiliense**, 1984.

IND4.0. **Integração entre Sistemas na Indústria 4.0.** 2019. Disponível em: <<https://www.industria40.ind.br/artigo/17953-integracao-entre-sistemas-na-industria-40>>. Acesso em: 23 jan. 2022.

INDÚSTRIA 4.0: NOVO DESAFIO PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA. [S. L.]: **Cni**, v. 17, n.2, abr. 2016.

INVENTCOM. **Fanuc Focas Library.** 2022. Disponível em: <https://www.inventcom.net/fanuc-focas-library/general/flist_all>. Acesso em: 16 dez 2021.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 - Securing the Future of German Manufacturing Industry. München: **acatech - National Academy of Science and Engineering**, 2013.

LIMA, E. C.; NETO, C. R.O. Revolução Industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial inglês. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 1, n.194, p. 102-113, jul. 2017.

MCAFEE, A.; BRYNJOLFSSON, E.; DAVENPORT, T. H.; PATIL, D.; BARTON, D. Big data: the management revolution. **Harvard business review**, v. 90, n. 10, p. 60–68, 2012.

MARR, B. **What everyone must know about industry 4.0.** **Forbes**, Jun 2016. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#327956184e3b>>. Acesso em 03 jan. 2022.

MATA, V.S.; COSTA, C. H. O.; FERNANDES, D. C.; SILVA. E. O.; CARDOSO. F. A.; ANDRADE, J. C.; REZENDE, L. P. L.; OLIVEIRA, M. F.; SOUZA, N.; MACHADO, P. E. V.; RODRIGUES, R. P. M. Indústria 4.0: a Revolução 4.0 e o Impacto na Mão de Obra. **Rev. Cienc. Exatas Technol.**, v. 13, n. 13, p. 17-22, 2018.

MACHINE METRICS. **How to Collect Data Using Fanuc Focas.** 2021. Disponível em: <<https://support.machinemetrics.com/hc/en-us/articles/360020895854-How-to-Collect-Data-using-FANUC-FOCAS>>. Acesso em: 21 jan. 2022.

NOBREGA, C. **A tecnologia que muda o mundo.** 1. ed. Rio de Janeiro: Lugre, 2018.

PETRIN, N. **Terceira Revolução Industrial.** 2014. Disponível em: <<http://www.estudopratico.com.br/terceira-revolucao-industrial/>>. Acesso em 21 dez. 2021.

PLATTFORM I4.0 (ed.). **Industrie 4.0 – What is it?** 2017. Disponível em: <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>. Acesso em: 13 dez. 2021.

POSADA, J. et al. Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 35, n. 2, p. 26–40, mar. 2015.

POSADA, J; BARANDIARAN, I; OYARZUN, D; STRICKER, D; AMICIS, de R; PINTO, E. B; EISERT, P; DÖLLNER, J; VALLARINO, I. Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. **IEEE Computer Graphics and Applications**. vol. 35, n. 2, pág. 26-40, Mar.-Apr. 2015.

RÜßMANN, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; ENGEL, P.; HARNISCH, M.; JUSTUS, J. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, v. 9, 2015.

SANTANA, P. M. **Utilização do protocolo MTConnect para monitoramento e análise dos dados gerados pelo Controle Numérico Computadorizado**. 2020. 156 p. Dissertação (Mestrado – Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2020.

SCHWAB, Klaus. **Navigating the Fourth Industrial Revolution**. 2016. Disponível em: <<https://www.biznews.com/wef/2016/01/20/klaus-schwab-navigating-the-fourth-industrial-revolution>>. Acesso em: 21 dez.2021.

SHI, W.; CAO, J.; ZHANG, Y.; LI, Y.; XU, L. Edge computing: vision and challenges, **IEEE Internet Things**. vol. 3, n. 5, pág. 637–646, 2016.

SILVA, A. M. da; JÚNIOR, C. J. P.; SANTOS, R. F.; MARTINS, R. T.; OLIVEIRA, W. H. de. Criatividade e inovação: Internet das coisas (iot–internet of things). **Revista Expressão**, n. 09, p. 20, 2016.

SILVA, A.J; FILHO, A.M.P; GALHARDI, A.C. Realidade aumentada na indústria 4.0 – análise bibliométrica sobre orientações, aplicações e implementações. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 80346-80359, 2020.

SOUZA, A. F.; ULBRICH, C. B. L. Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD / CAM / CNC. 2ª edição ed. São Paulo: **Artliber Editora**, 2013.

SUBAKTI, H; JIANG, J.R. Indoor Augmented Reality Using Deep Learning for Industry 4.0 Smart Factories. Dept. of Computer Science and Electrical Engineering National Central University Taoyuan. 42nd. **IEEE International Conference on Computer Software & Applications**. Taiwan, 2018

SUNDMAEKER, H.; GUILLEMIN, P.; FRIESS, P.; WOELFFLÉ, S. Vision and challenges for realising the internet of things. Cluster of European Research Projects on the Internet of Things. **European Commission**, 2010.

TOTVS. **Internet das Coisas: o que é, surgimento, aplicações e impactos**. 2021. Disponível em: <<https://www.totvs.com/blog/inovacoes/aplicacoes-da-internet-das-coisas/>>. Acesso em: 10 dez 2021.

VENTURELLI, M. **Indústria 4.0: uma visão da automação industrial**. 2014. Disponível em:< <http://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visaoda-automacao-industrial/>>. Acesso em 23 dez.2021.

WANG, W.; ZHU, X.; WANG, L.; QIU, Q.; CAO, Q. Ubiquitous robotic technology for smart manufacturing system. **Computational Intelligence and Neuroscience**, pág. 1-14, 2016.

WEG. **Internet das Coisas: indústria conectada e mais eficiente**. 2019. Disponível em: <<https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/internet-das-coisas-industria-conectada-e-mais-eficiente>>. Acesso em: 13 jan. 2021.

WEG. Manual do Usuário WCD-ED300. 2021. Disponível em:
<<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h74/h24/WEG-drive-scan-50102322-pt.pdf>>.
Acesso em: 18 jan. 2021.

APÊNDICE A – Passo para verificação do MTConnect

- Conectar a Ethernet da rede à máquina e definir um IP estático;
- Executar *ping* no endereço IP da máquina para confirmar a conexão;
- Em um navegador, abrir a porta 7878. Por exemplo, assumindo que o IP estático é 192.168.1.10, deve ser digitado no navegador o seguinte endereço: 192.168.1.10:7878;
- Se nenhum dado aparecer, a máquina não está produzindo dados MTConnect, sendo necessário, caso esteja disponível, uma atualização do software de controle;
- Caso não haja atualização do software de controle, é necessário definir outros métodos para aquisição de dados.

APÊNDICE B – Passo para ativar o protocolo FOCAS

- Tecla MDI ativa, manteve-se pressionado a tecla [SYSTEM];
- Após isso é pressionado 6 vezes a tecla de função;
- [PORT INCORP];
- [GERAL];
- Alterar o IP para a faixa de rede escolhida;
- [FOCAS2];
- Porta 8193.