

## UNISOCIESC/ CAMPUS JOINVILLE

### A Implementação da Indústria 4.0 em Sistemas Legados

SILVA, Danilo<sup>1</sup>  
VAZ, Rodrigo<sup>2</sup>  
BENVENUTTI, Lucas<sup>3</sup>  
BEZERRA, William<sup>4</sup>  
SENHORINHA, Márcio José Kâms

#### RESUMO

Este artigo propõe uma avaliação teórica da aplicação do conceito da Indústria 4.0 em sistemas legados com a coleta de dados e utilização de sensores. Existe um desafio em convergir uma tecnologia legada para os conceitos da Indústria 4.0, nossa pesquisa concentra-se na utilização de sensoriamento e coletas digitais com o objetivo de entender e definir indicadores para o aumento da performance de máquina e operacional. Este estudo fornece base para a jornada da Indústria 4.0, propondo a utilização da etapa de visibilidade que corresponde ao terceiro nível de seis níveis, que mostra a maturidade do caminho para a Indústria 4.0.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, Sistemas Legados, Conectividade, Coleta de Dados, Manutenção Preditiva.

#### ABSTRACT

This article proposes a theoretical assessment of applying the concept of Industry 4.0 in legacy systems through data collection and sensor utilization. There is a challenge in converging legacy technology into Industry 4.0 concepts; our research focuses on utilizing sensing and digital collection to understand and define indicators for increased machine and operational performance. This study provides a foundation for the Industry 4.0 journey by suggesting the use of the visibility stage, corresponding to the third level out of six levels, showcasing the maturity of the path toward Industry 4.0.

**Keywords:** Industry 4.0, Legacy Systems, Connectivity, Data Collection, Predictive Maintenance

<sup>1</sup>Danilo do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC, danilobonette96@gmail.com; <sup>2</sup>Rodrigo do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC, rvazz1998@gmail.com; <sup>3</sup>Lucas do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC, lbenvenuti37@gmail.com; <sup>4</sup>William do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC, w.bz@hotmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Para mostrar o conceito de visualização em um sistema legado, será utilizado um centro de usinagem CNC como base do estudo. Enquanto as máquinas mais recentes são concebidas com a conectividade e a inteligência integradas, ao contrário, máquinas legadas, trazem dificuldade na coleta de dados para conhecimento dos indicadores (KPI's) e implementação de melhorias. No entanto, o verdadeiro desafio é trazer tecnologias ultrapassadas para um novo contexto de Indústria, promovendo uma sobrevida para esses equipamentos.

Ao avaliar o centro de usinagem CNC, temos que separar em duas partes, a primeira é a mecânica, que não é o tema do estudo, deve estar preservada e a segunda, que é o foco do estudo, é o hardware responsável pelo controle. O objetivo é coletar dados através de sensores e sinais digitais existentes, como máquina ligada, emergência acionada, fim de ciclo entre outros. Com as coletas, são definidos os KPI's como forma de controle, normalmente em sistemas legados é utilizado sistemas auxiliares paralelos aos existentes, isso acontece devido à dificuldade de conectividade.

Este estudo buscará não apenas destacar os benefícios teóricos da aplicação da Indústria 4.0 em centros de usinagem CNC com sistemas legados, mas também fornecer subsídios para utilização dos KPI's, OEE de máquinas com objetivo de melhoria de performance.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

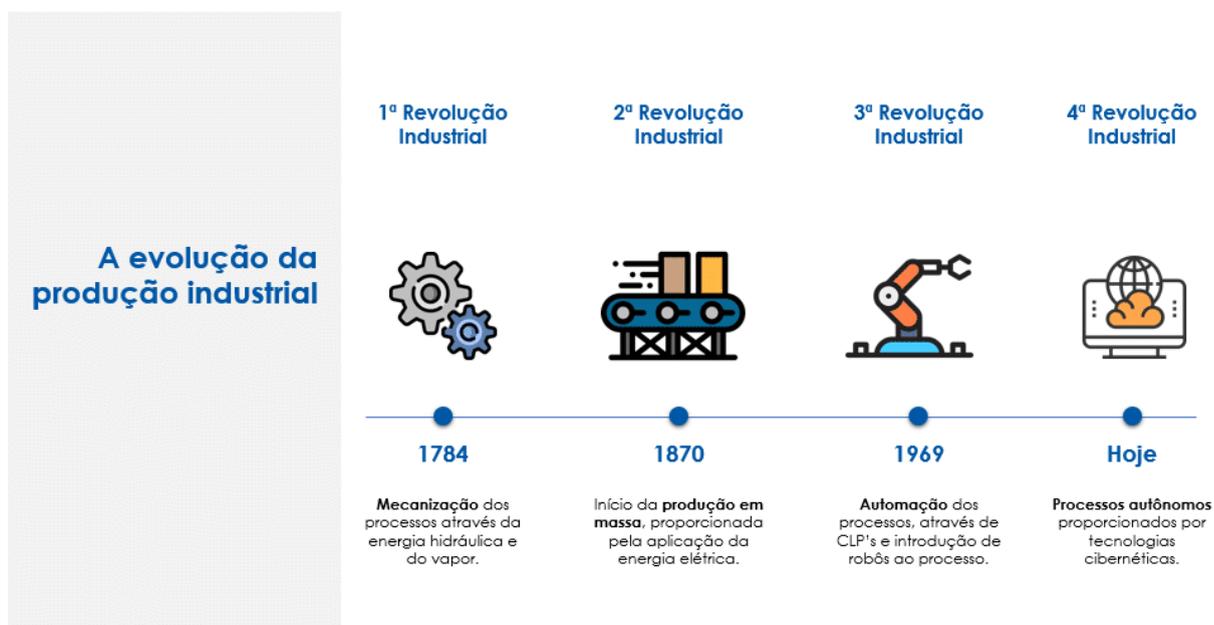
Neste capítulo serão apresentados a contextualização da revolução Industrial, os pilares para se alcançar a Indústria 4.0 e os conceitos que foram base para o desenvolvimento deste trabalho.

### 2.1 Os Marcos das revoluções tecnológicas industriais

A Revolução Industrial, ao longo de suas quatro fases distintas resumidas na figura 1, testemunhou transformações tecnológicas que delinearam radicalmente o cenário da produção e da sociedade. Revolução Industrial 1.0, as máquinas a vapor e os têxteis mecânicos foram os pioneiros da mecanização, marcando o início da transição da produção manual para a máquina. Essas inovações não apenas

aumentaram a eficiência, mas também catalisaram o surgimento das fábricas e a urbanização, definindo um novo paradigma industrial. (JHONATA TELES, 2017).

**Figura 1 – Histórico das Revoluções Industriais**



Fonte: <https://engeteles.com.br/industria-4-0> (2019).

Na Revolução Industrial 2.0, a eletrificação e o advento das linhas de produção desencadearam uma nova onda de avanços tecnológicos. A produção em massa tornou-se uma realidade, impulsionada por melhorias em setores-chave como aço, petróleo e química. O impacto tecnológico foi evidente não apenas na escala da produção, mas também na complexidade e diversidade dos produtos fabricados. (JHONATA TELES, 2017).

A Revolução Industrial 3.0 marcou a ascensão da automação industrial, eletrônica e computadores. A introdução de sistemas automatizados transformou completamente a natureza da produção, resultando em uma maior eficiência e precisão. A tecnologia da informação, com o advento de computadores, desempenhou um papel crucial na gestão de processos industriais e na globalização da economia. (JHONATA TELES, 2017).

Atualmente, vivemos na era da Revolução Industrial 4.0, caracterizada pela digitalização, Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial. A conectividade total

entre máquinas, a análise de dados em tempo real e a automação avançada definem esta fase. A tecnologia não apenas otimiza processos, mas também permite uma personalização sem precedentes na produção, respondendo dinamicamente às demandas do mercado. (JHONATA TELES, 2017).

Em síntese, o histórico tecnológico na Revolução Industrial reflete uma progressão contínua, cada fase construindo sobre as inovações da anterior. Da máquina a vapor à inteligência artificial, cada onda de transformação tecnológica não apenas redefine a produção industrial, mas também redefine a própria noção de como vivemos e trabalhamos. (JHONATA TELES, 2017).

## 2.2 Características Tecnológicas da Indústria 4.0

A quarta revolução industrial busca otimizar processos por meio da integração entre recursos físicos e digitais, conectando máquinas, sistemas e ativos para aumentar a eficiência e reduzir custos na produção de itens de alta qualidade. Para alcançar esses objetivos, é essencial integrar diversas tecnologias fundamentais, conhecidas como os "pilares" da Indústria 4.0 resumidas na figura 2. (GRUPO ALTUS, 2023).

**Figura 2 – Pilares da Indústria 4.0**



Fonte: <https://www.altus.com.br> (2021).

### **2.2.1 Análise de dados**

Envolve a coleta, tratamento e interpretação de conjuntos de informações, criando uma base para extrair insights valiosos. Como a produção de dados tem sido cada vez maior, estamos diante do Big Data, que diz respeito ao processamento de enormes volumes de informação. (GRUPO ALTUS, 2023).

A análise de Big Data requer ferramentas avançadas, como aprendizado de máquina e inteligência artificial, para identificar padrões complexos e tendências. Essas projeções facilitam a tomada de decisões, proporcionando uma melhor leitura de cenários e tomadas de decisões.(GRUPO ALTUS, 2023).

### **2.2.2 Robótica**

Ao incorporar robôs inteligentes aos processos da Indústria, o setor ganha em desempenho e disponibilidade, deixando a execução de tarefas de produção logísticas e repetitivas a cargo das máquinas. Além de reduzir os custos, estes robôs representam um importante aumento na produção.(GRUPO ALTUS, 2023).

### **2.2.3 Simulação**

Na Indústria 4.0, a simulação computacional é utilizada em plantas industriais para analisar dados em tempo real, aproximando o mundo físico e virtual, e no aperfeiçoamento em configurações de máquinas para testar o próximo produto na linha de produção virtual antes de qualquer mudança real, gerando otimização de recursos, melhor performance e mais economia.(GRUPO ALTUS, 2023).

### **2.2.4 Integração de sistemas**

Atualmente, nem todos os sistemas são totalmente integrados, faltando uma coesão entre empresa-clientes e até mesmo o processo de produção de uma indústria carece de uma integração plena. A Indústria 4.0 propõe uma melhor harmonia entre todos que façam parte do ecossistema, garantindo uma gestão integral de experiência para que cadeias de valor sejam realmente automatizadas.(GRUPO ALTUS, 2023).

### **2.2.5 A internet das coisas**

Em inglês, internet of things (IoT) consiste na conexão entre rede de objetos físicos, ambientes, veículos e máquinas por meio de dispositivos eletrônicos embarcados, permitindo uma coleta e troca de informações mais rápida e efetiva. Na indústria de produtos e serviços, a Internet das Coisas (IoT) representa a integração de tecnologias que antes não estavam conectadas e que agora estão interligadas por meio de uma rede baseada em IP. (GRUPO ALTUS, 2023).

### **2.2.6 Cibersegurança**

A indústria do futuro demanda que todas as áreas da empresa estejam conectadas, tanto as redes corporativas (TI) quanto as de automação e operacionais (TA). Desta forma, é fundamental que as empresas contem com sistemas de cibersegurança robustos para proteger sistemas e informações de possíveis ameaças e falhas que possam causar transtornos na produção. (GRUPO ALTUS, 2023).

### **2.2.7 Computação em nuvem**

O número de tarefas relacionadas à produção de bens e serviços na Indústria tem crescido cada vez mais, demandando o uso de aplicativos e dados compartilhados entre diferentes localidades e sistemas para além dos limites dos servidores de uma empresa. A computação em nuvem fornece recursos que refletem em uma importante redução de custo, tempo e eficiência na execução destas tarefas. (GRUPO ALTUS, 2023).

### **2.2.8 Manufatura aditiva**

Também conhecida como impressão em 3D, este pilar envolve a produção de peças a partir de camadas sobrepostas de material, normalmente em forma de pó, para se obter um modelo 3D. Esta estratégia pode ser utilizada para criar produtos personalizados que oferecem vantagens de construção e desenhos complexos. (GRUPO ALTUS, 2023).

## 2.2.9 Inteligência artificial (IA)

Tendo a capacidade humana de raciocínio e aprendizado por máquinas, impulsionando avanços em automação, robótica, análise de dados, modificando a maneira como interagimos e lidamos com a tecnologia.

Com algoritmos complexos, a IA permite que sistemas computacionais realizem tarefas como reconhecimento de padrões, tomada de decisões, processamento de linguagem natural e resolução de problemas. (GRUPO ALTUS, 2023).

## 2.2.10 Digitalização

Refere-se à aplicação de tecnologias digitais para revolucionar processos de produção, desenvolvimento de produtos e, até mesmo, modelos de negócios, visando aprimorar e torná-los mais eficientes. A transformação digital engloba a criação e execução de estratégias de digitalização, sensoriamento, coleta e processamento de dados. (GRUPO ALTUS, 2023).

Para alcançar todos os pilares da Indústria 4.0 é necessário avançar sobre os 6 níveis, conforme figura 3.

**Figura 3 – Estágios da Indústria 4.0**



Fonte: Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY), Munich: Herbert Utz Verlag (2017).

### **2.3 Tecnologias para Comunicação e Integração**

A comunicação desempenha um papel crucial no funcionamento tanto da indústria automatizada quanto na Indústria 4.0. Ao abordar a integração no contexto da comunicação, é essencial examinar os protocolos, cabeamento e gerenciamento utilizados na comunicação da indústria automatizada. Enquanto a comunicação na Indústria 4.0 está direcionada ao Internet das Coisas (IoT), a comunicação na indústria automatizada é caracterizada por dispositivos conectados a controladores por meio de fios, utilizando sistemas específicos de comunicação, tais como Profibus, Profinet (Group et al. 2001), Fieldbus (Mahalik 2013) e Modbus (Swales et al. 1999).

### **2.4 Protocolo OPC-UA**

A implementação de automação de baixo custo promove a adoção de arquiteturas de referência econômicas e abordagens de desenvolvimento para aprimorar a flexibilidade e eficiência das operações de produção. Esse cenário impulsionou a utilização de padrões abertos de rede para comunicações no chão de fábrica (Garcia et al. 2016).

No acesso aos dados da indústria automatizada, o OPC-UA consolidou-se como a interface padrão entre clientes e servidores em diversas áreas de aplicação, emergindo como o padrão mais amplamente aceito por usuários e desenvolvedores (Mahnke et al. 2009). Fabricantes de Interface Homem Máquina (IHM), Controle de Supervisão e Aquisição de Dados - SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), Sistemas de Controle Distribuído - DCS (*Distributed Control Systems*), Sistemas de Execução de Manufatura - MES (*Manufacturing Execution Systems*) e Planejamento de Recursos Empresariais - ERP (*Enterprise Resource Planning*) comumente oferecem interfaces baseadas no Cliente OPC (Logitek 2020).

### **2.5 Manutenção Preditiva**

Manutenção preditiva baseia-se em um monitoramento e diagnóstico em tempo real de equipamentos, processos e cadeias produtivas, com o propósito de agir quando estes apresentarem situações que possam resultar em falha, quebra, redução de desempenho, diminuição da segurança aos operadores ou afetar o controle de qualidade de um produto. (ADRIANO GALINDO LEAL, 2022).

Inicialmente a manutenção preditiva foi utilizada para acompanhar a saúde de máquinas e equipamentos ao longo de períodos determinados. Recentemente, vem sendo aplicada em problemas presentes em diversos segmentos industriais e em suas cadeias de produção, se tornando uma ferramenta essencial à chamada indústria 4.0 e ao crescente aumento da complexidade dos componentes e instalações industriais. (ADRIANO GALINDO LEAL, 2022)

Dentro das técnicas de manutenção preditiva às relacionadas ao estudo são:

### **2.5.1 Análise de Vibração**

Essa técnica é reconhecida como a ferramenta mais valiosa para monitorar a condição de máquinas rotativas. Os equipamentos, no geral, possuem frequências de vibração constante. Essa tecnologia possui bases técnicas e históricas sólidas, respaldando o alto valor das informações obtidas. (LABRE, 2019).

A análise de vibração, capta variações nas frequências que geralmente são constantes no funcionamento ideal do equipamento, onde pode diagnosticar diversos sinais de desgaste. (LABRE, 2019).

Diversas ferramentas podem ser empregadas na análise de vibração, desde instrumentos básicos que registram leituras manualmente até dispositivos mais avançados, capazes de realizar análises sofisticadas, como sistemas programáveis para a aquisição e monitoramento de dados. Com isso ela proporciona resultados excelentes, oferecendo informações cruciais sobre a estabilidade das máquinas.(LABRE, 2019).

### **2.5.2 Termometria**

A termometria, se trata de uma análise realizada em pontos específicos dos equipamentos, onde são coletados dados de temperatura através de sensoriamento específico para cada aplicação. Sendo amplamente utilizada como método de análise para avaliar componentes específicos, sejam mecânicos, como rolamentos, fusos, guias lineares e afins, sejam elétricos, como contadores, drives de acionamento de servomotores e demais componentes contidos no painel elétrico do equipamento. (GRUPO GIMI, 2023).

Podem ser utilizados também como forma de diagnóstico de componentes “híbridos”, como motores elétricos, tendo como pontos de aferição tanto seus componentes mecânicos (rolamentos), quanto de pontos relacionados à eletricidade (bobinas). (GRUPO GIMI, 2023).

Uma das principais vantagens desta tecnologia reside na capacidade de realizar medições instantâneas e seguras, eliminando a necessidade de contato direto do ser humano com objetos em movimento, quentes ou de difícil acesso.(GRUPO GIMI, 2023).

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo é apresentada a máquina foco do estudo e são descritos os sensores utilizados para coleta dos dados e o posicionamento deles, bem como os procedimentos adotados detalhadamente.

#### **3.1 Avaliação e Planejamento**

Para viabilizar a condução do estudo de caso, optamos pela utilização de um centro de usinagem FELLER VMP-30A, conforme figura 4, localizada na empresa Toz Soluções Industriais (2023) em Colombo - PR. Esta máquina, composta por 3 eixos a serem monitorados e o eixo-árvore (fuso), responsável pelo movimento rotativo da ferramenta, proporciona um ambiente propício para a análise proposta. Vale ressaltar que, embora a máquina possua outros eixos, estes não são considerados relevantes para o escopo deste estudo.

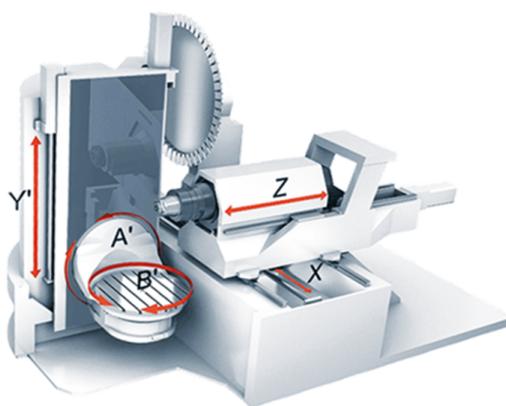
**Figura 4 – Centro de Usinagem FELLER VMP-30A**



Fonte: Fábrica Toz Soluções Industriais (2023)

As características dos eixos fundamentais para nossa investigação são as elencadas abaixo nas figuras 5 e tabela 1.

**Figura 5 – Diagrama de eixos de equipamentos de usinagem CNC.**



Fonte: <https://www.grobgroup.com> (2022).

**Tabela 1 – Dados Técnicos Eixo FELLER VMP-30A**

Eixo	Característica Mecânica	Curso Movimentação	Dados Motor
X	Fuso de Esfera com Servo motor	600mm	3000RPM/ 18A / 26Nm
Y	Fuso de Esfera com Servo motor	770mm	3000RPM/ 18A / 26Nm
Z	Fuso de Esfera com Servo motor	810mm	3000RPM/ 18A / 26Nm
Arvore	Motor Estator	Rotativo	6000 RPM/ 31,5Kw / 301Nm
Comando CNC: Siemens 840Dsl / PLC Siemens modelo S7300			

Fonte: (Os Autores (2023))

A proposta deste estudo, é a implementação de um conjunto de sensores nos eixos previamente mencionados na figura 9, com objetivo de monitorar o regime de trabalho e identificar possíveis alterações que poderiam indicar desgaste mecânico ou perda de eficiência no conjunto mecânico dos eixos do CNC.

A primeira fase é o levantamento dos parâmetros mecânicos dos fabricantes dos fusos utilizados nos eixos da figura 6, isso é importante para dimensionamento e parametrização do sensor de vibração, e garantir os alertas para uma preditiva eficiente.

Além da monitoração de vibração dos fusos, serão utilizados sensores de temperatura nos mancais e rolamentos, além do transformador de corrente (TC) nos drives dos servos motores. A monitoração dessas variáveis trará informações valiosas aos manutentores na preditiva da máquina.

Serão monitorados os principais status como: máquina ligada, máquina em operação, porta aberta e emergência acionada. Esses sinais digitais serão coletados diretamente do borne elétrico do painel existente.

### 3.2 Definição dos Sensores

Neste estudo, será utilizado a instalação de dois sensores e *hardware*. O primeiro, um sensor híbrido com capacidade de medir vibração em um eixo e temperatura com rede IO-link, o segundo um transformador de corrente com saída analógica 4 a 20 mA.

Para leitura e armazenamento das variáveis coletadas será usado um controlador lógico programável (CLP) com comunicação Ethernet IP e OPC-UA, configurado com entradas e saídas digitais, entrada analógica e uma cabeça de rede

IO-link. Com esta configuração é possível ler as informações da máquina, gerar alarmes e transmitir essas informações para um banco de dados.

Um ponto importante adotado neste estudo, é a utilização de sensoriamento e hardwares acessórios, sem troca de informação direta com o comando numérico da máquina, criando uma independência e não alterando o software original.

### 3.2.1 Sensor de Vibração e Temperatura

O modelo escolhido para esse projeto será o IFM-VVB 020, desenvolvido para trabalhar com potência inferior a 300 kW e rotação superior a 600 rpm e capaz de monitorar não só a vibração como também a temperatura. Esse sensor possui uma interface simples através de ligação IO-Link onde permite parametrização e transmissão de dados de processo. dados técnicos na figura 6 (IFM, 2023).

**Figura 6 – Datasheet Sensor de Vibração e Temperatura**



**VVB020**

**Sensor de vibração**  
VIBRATION IO-LINK SWITCH



Entradas/saídas	
Quantidade de entradas e saídas	Quantidade de saídas digitais: 2
Saídas	
Sinal de saída	sinal de comutação; IO-Link
Função elétrica	PNP/NPN; (configuráveis)
Quantidade de saídas digitais	2
Saída	abertura / fechamento
Queda de tensão máx. da saída de comutação DC [V]	2
Carga de corrente máx. por saída [mA]	100
Proteção contra curto-circuitos	sim
Versão da proteção contra curto-circuito	por impulso
Proteção contra sobrecarga	sim

FONTE: <https://www.ifm.com/br/pt/product/VVB020> (2023).

As grandezas características deste sensor são:

#### 3.2.1.1 V-RMS

Definido como valor efetivo da velocidade de vibração, mede a carga total de uma máquina em rotação. Os tipos mais comuns de sobrecarga (desbalanceamento,

desalinhamento) são refletidos no V-RMS. Uma carga alta pode danificar a máquina a longo prazo (fadiga, resistência à fadiga) ou, em casos extremos, destruí-la em pouco tempo. (IFM, 2023).

#### **3.2.1.2 A-RMS**

Detecta contatos mecânicos de componentes da máquina. Este contato ocorre normalmente devido ao desgaste (rolamento defeituoso, engrenagens gastas, etc.) ou problemas de lubrificação (graxa contaminada, água no óleo,). (IFM, 2023).

#### **3.2.1.3 A-Peak**

Monitora o valor máximo da aceleração. Impactos na aceleração podem ocorrer uma vez ou periodicamente, como no caso de uma colisão, por exemplo, em caso de um dano no rolamento. a-Peak é uma medida das forças que ocorrem na máquina. (IFM, 2023).

#### **3.2.1.4 Fator de crista**

É um valor característico descrito na análise de sinal. É definido como a relação entre o valor máximo e o valor efetivo (peak/RMS). No monitoramento de condições, o valor característico é usado para avaliar a condição de rolamento. Os sinais de alta frequência com curta duração de pulso de um rolamento danificado produzem valores de pico maiores em relação ao valor efetivo. Esta relação pode ser lida no fator de crista. Possuindo 2 sinais digitais parametrizáveis para comutação de acordo com as janelas estabelecidas sobre qualquer uma das grandezas anteriores, conforme. (IFM, 2023).

### **3.2.2 Sensor de corrente**

Para efetuar o monitoramento da corrente ativa nos Drives dos Servo motores o projeto utiliza um aferidor de corrente da Seneca modelo T201DCH-LP, conforme imagem da figura 7, com saída analógica de 4 a 20mA, para obtenção do valor real em Amperes. Sua instalação será dentro do painel elétrico, nas saídas dos *drives* de potência dos motores elétricos dos eixos da máquina. (SENECA, 2016).

Figura 7 – Datasheet Sensor de Corrente

HALL EFFECT LOOP POWERED CURRENT TRANSFORMERS WITH 4-20 mA OUTPUT			
	T201DCH50-LP	T201DCH100-LP	T201DCH300-LP
			
	AC/DC Current Transformer ( $\pm 50$ A), Hall Effect, Loop Powered, 4-20 mA output	AC/DC Current Transformer ( $\pm 100$ A), Hall Effect, Loop Powered, 4-20 mA output	AC/DC Current Transformer ( $\pm 300$ A), Hall Effect, Loop Powered, 4-20 mA output
<b>GENERAL DATA</b>			
Power Supply	Loop powered (9...28 Vdc)	Loop powered (9...28 Vdc)	Loop powered (9...28 Vdc)
Power Consumption	< 22 mA	< 22 mA	< 22 mA
Isolation & Protection	3 kVdc (on bare conductors)	3 kVdc (on bare conductors)	3 kVdc (on bare conductors)
Installation Category	300 V CAT II (bare conductor); 600 V CAT II (isolated conductor)	300 V CAT II (bare conductor); 600 V CAT II (isolated conductor)	300 V CAT II (bare conductor); 600 V CAT II (isolated conductor)
Protection Degree	IP20	IP20	IP20
Response time	Fast filter: 800 ms Slow filter: 2 s	Fast filter: 800 ms Slow filter: 2 s	Fast filter: 800 ms Slow filter: 2 s
Accuracy Class	[AC]: 0.5 % f.s. (50 A) 1 % f.s. (25 A) > 2% f.s. [DC]: 1% f.s. (50 A), 2% f.s. (25 A) < 2% f.s.	[AC]: 0.5 % f.s. (100 A) 1 % f.s. (50 A) > 2% f.s. [DC]: 1% f.s. (100 A), 2% f.s. (50 A) < 2% f.s.	[AC]: 0.5 % f.s. (300 A) 1 % f.s. (150 A) > 2% f.s. [DC]: 1% f.s. (300 A), 2% f.s. (150 A) < 2% f.s.
Thermal Drift	< 200 ppm/K	< 200 ppm/K	< 200 ppm/K
Setting	DIP switch	DIP switch	DIP switch
Operating Temperature	-20...+70°C	-20...+70°C	-20...+70°C
Connection	Removable terminals	Removable terminals	Removable terminals
Conductor max diameter	12,5 mm	20,5 mm	20,5 mm
Dimension	54 x 41 x 30 mm	68 x 97 x 26 mm	68 x 97 x 26 mm
Mounting	35 mm DIN rail with adapter	35 mm DIN rail with 2 adapters / screws	35 mm DIN rail with 2 adapters / screws
<b>INPUT DATA</b>			
Channels	1	1	1
Range	0...50 Aac/dc TRMS; $\pm 50$ Adc bipolar	0...50 A, 0...100 Aac/dc TRMS; $\pm 50$ A, $\pm 100$ A bipolar	0...150 A, 0...300 Aac/dc TRMS; $\pm 150$ A, $\pm 300$ A bipolar
Measurement type	TRMS AC/DC or bipolar DC	TRMS AC/DC or bipolar DC	TRMS AC/DC or bipolar DC
Hysteresis	0,25% f.s.	0,25% f.s.	0,25% f.s.
Max instantaneous overcurrent	300 A (continuous); 2.000 A (pulse)	500 A (continuous); 2.000 A (pulse)	500 A (continuous); 2.000 A (pulse)
Bandwidth / frequency	1 kHz	1 kHz	1 kHz
Crest factor	2	2	2

FONTE: [https://www.seneca.it/media/2840/0490\\_t201dch-lp\\_eng-15042016.pdf](https://www.seneca.it/media/2840/0490_t201dch-lp_eng-15042016.pdf) (2016).

### 3.3 Pontos de Instalação Sensores

O posicionamento dos sensores será realizado conforme orientação do fabricante dos fusos e rolamentos, desta forma é possível fazer a comparação com os valores informados pela fábrica e definir as janelas de controle, sendo o objetivo, uma monitoração e análise de vibração.

#### 3.3.1 Sensor de Vibração

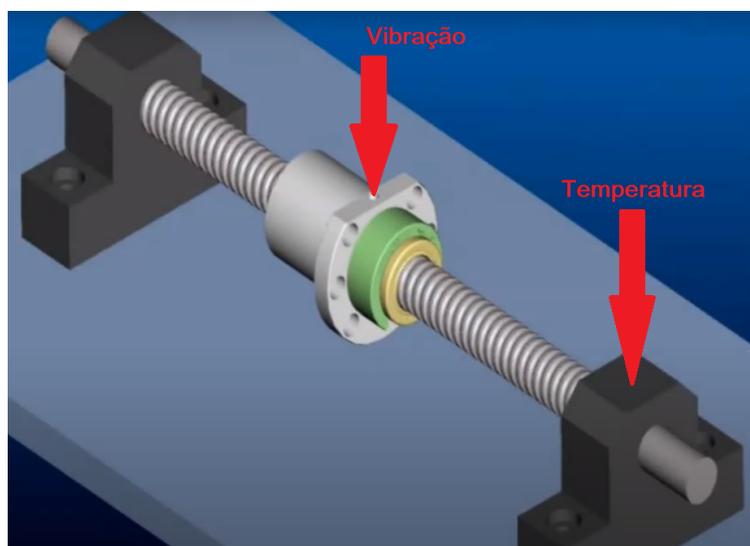
O sensor deve ser posicionado na junção entre o fuso e a porca e pode revelar vibrações específicas relacionadas à interação direta entre esses componentes sendo o eixo de tração em apoio estático e a porca fixada ao conjunto a ser deslocado. Variações nessa área podem indicar desgaste ou problemas de alinhamento.

### 3.3.2 Sensor de temperatura

A instalação dos sensores de temperatura se dá perto dos mancais e rolamentos do fuso pode ajudar a monitorar o aquecimento, indicando possíveis problemas de lubrificação, desgaste ou cargas excessivas.

Considerando as análises previamente descritas podemos observar na figura 8 um exemplo de aplicação destes sensores:

**Figura 8 – Escopo pontos de aplicação sensores**



Fonte: <https://mectrol.com.br/> (2022)

### 3.4 Interface entre Sensores e Banco de Dados

A instalação de um CLP específico e preparado para coletar as variáveis e transmitir as informações com rede Ethernet IP e OPC-UA é essencial, pois a ideia principal deste projeto é desenvolver um modelo de interface genérica para compor toda a conectividade exigida. Essa abordagem visa garantir que o conceito apresentado possa ser aplicado não apenas à máquina em estudo, mas também a diferentes fabricantes e modelos de CLP/CNC.

Existem muitos CLPs já instalados em CNCs que já estão preparados para protocolos como Modbus, Profinet, Ethernet IP porém em casos onde não exista a compatibilidade de interface pode ser considerado acrescentar ao projeto um modelo

de baixo custo que opere com algum dos protocolos descritos e conectividade OPC-UA. Para atender a tal demanda pode ser considerado o CLP Modelo XP300 da Altus. (GRUPO ALTUS, 2023).

### **3.5 Topologia de ligação dos sensores**

Foi adotado o sistema IO-Link para leitura das variáveis de vibração e temperatura, com objetivo de deixar o sistema aberto. A rede industrial IO-Link é um protocolo de comunicação ponto a ponto simples usado, por exemplo, em ambientes de automação de fábrica e logística para conectar sensores e atuadores à rede de campo ou à Ethernet industrial. Esse protocolo torna os sensores “inteligentes”. facilidade de conexão com todos os fornecedores de sensores do mercado. (PROFIBUS BRASIL, 2023).

Além disso, para extrair as informações operacionais da máquina, será coletado pontos digitais diretamente dos bornes da máquina, enriquecendo a análise ao capturar dados de produção, sinais como, máquina ligada, operação, emergência e porta aberta. Esses dados serão essenciais para avaliar a disponibilidade da máquina e identificar possíveis falhas operacionais durante o período de funcionamento.(PROFIBUS BRASIL, 2023).

Para interligar os sensores no hardware de I/O's do PLC foi pensado nos módulos IO-Link Master modelo DXMR90-4K do fabricante Banner Pela simplicidade de instalação, nível de proteção IP69 e pela flexibilidade de portas que permitem tanto ligações paralelas como em modo cascata, figura 9. (BANNER, 2023)

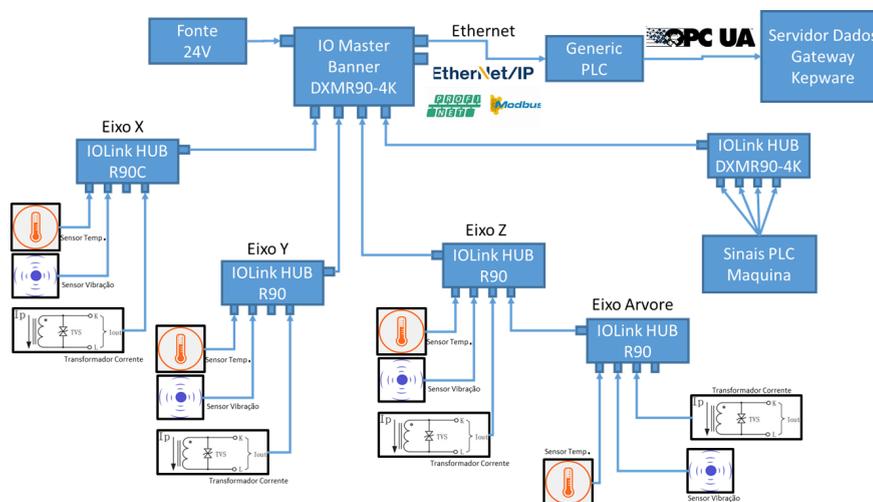
**Figura 9 – Mestre IO Link**



Fonte: <https://www.bannerengineering.com/br/pt/products> (2023)

A figura 10 ilustra a topologia elaborada para alcançar os objetivos delineados neste projeto interligando os sensores através dos módulos IO-Link até o PLC, proporcionando uma visão visual do sistema proposto:

**Figura 10 – Modelo de Topologia IO-Link Proposto para o Projeto**



Fonte: Autores (2023)

### **3.6 Tratamento e preparo dos dados**

Uma vez que o PLC estiver efetuando a leitura torna-se necessário efetuar o preparo das informações de leitura que ficam disponíveis em tempo real na área de memória de cada módulo endereçado no hardware do PLC. Na interface IO-Link um sinal analógico é obtido em uma memória de 32 bits e essa leitura pode ser convertida de forma linear e armazenada em outra memória de tamanho similar porém já no formato da grandeza a ser monitorada (PROFIBUS BRASIL, 2023).

Essa etapa é crucial para assegurar que os dados transmitidos estejam no formato adequado para a coleta de um banco de dados via OPC-UA ou arquivamento em nuvem.

#### **3.2.4 Preparo de dados de Produção**

No contexto dos sinais discretos relevantes para compor indicadores de produção e rastreabilidade, podem ser considerados sinais presentes na automação do CNC em estudo durante todo o seu período de operação, tais como: ciclo automático ativo, modo automático selecionado, modo manual selecionado, falha ativa, fim de ciclo, tipo de produto, devem estar disponíveis para coleta.

Com o tratamento destes dados de produção em uma linha de tempo é possível calcular o tempo de disponibilidade de máquina, tempo de parada de máquina por falha, tempo de ciclo de trabalho e apresentar em tempo real dados de performance.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O resultado esperado com esta implantação é uma diagnose avançada no vetor manutenção e operacional, trazendo consigo uma série de benefícios:

Uma manutenção otimizada onde a mesma terá dados detalhados de eventos e alertas realizando intervenções de forma proativa.

Estabelecer indicadores chaves de desempenho KPI's.

Redução de custos operacionais, com a eficiência resultante poderá levar uma gestão mais eficaz, otimizando custos associados à manutenção e operação.

#### 4.1 Custos de Implementação

A tabela 2 mostra um resumo dos custos de implementação desse projeto com base em orçamentos obtidos nas empresas Realtec e Sensorville que são fornecedores estabelecidos na região de Santa Catarina e Paraná.

**Tabela 2 – Custo Implementação**

MATERIAL	QTD	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
Sensor de Vibração + Temperatura IFM VV	4	R\$3.300,00	R\$13.200,00
Transformador de Corrente Seneca	4	R\$830,00	R\$3.320,00
Cabo I/O Link, IP69 3m	8	R\$125,00	R\$1.000,00
Cabo I/O Link, IP69 5m	3	R\$187,00	R\$561,00
Modulo Banner IO-Link Master Modelo DXMR90	1	R\$940,00	R\$940,00
Modulo HUB Banner IO-Link Modelo R90	4	R\$487,00	R\$1.948,00
Cabo elétrico Instalação 1,5mm Rolo 50m	1	R\$119,80	R\$119,80
Serviço instalação	1	R\$5.000,00	R\$5.000,00
		Valor Total	R\$26.088,80

Fonte: Autores (2023)

A avaliação da viabilidade de um investimento como esse dependerá significativamente do custo do ativo e de sua capacidade de produção. Contudo, ao considerar uma produção em larga escala, onde os ganhos nas melhorias aplicadas podem se converter em redução de custos, com previsibilidade por meio de KPIs e gestão inteligente de produção, a perspectiva proposta torna-se bem atrativa principalmente considerando o ganho tecnológico que a empresa obterá.

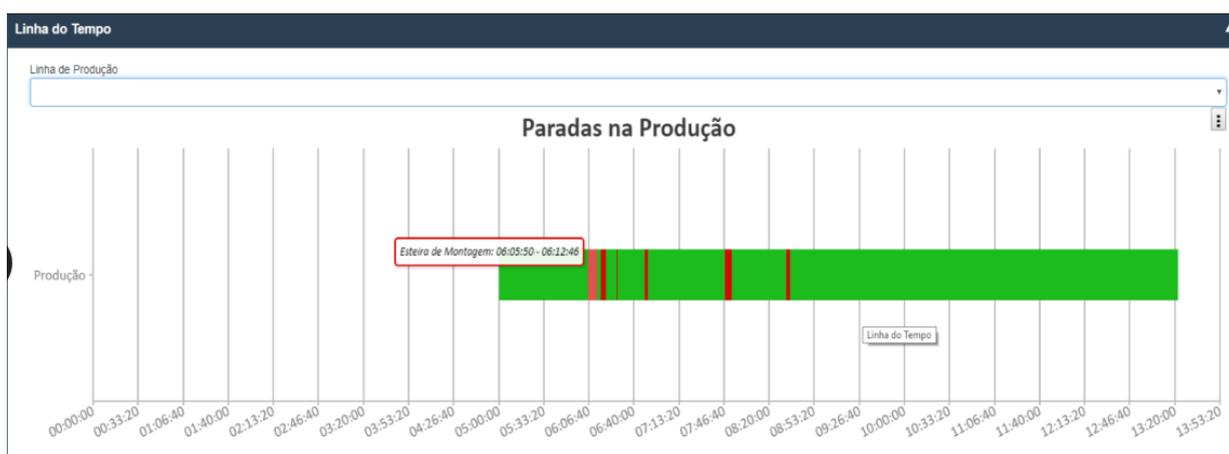
#### 4.2 Perspectiva de Melhorias Futuras

Neste estudo, foi investigado os desafios técnicos e o detalhamento de componentes para implementação de sensores capaz de monitorar o desempenho dos componentes mecânicos e elétricos da máquina escolhida e torná-la capaz de ser integrada a servidores e banco de dados através de protocolos OPC-UA em um ambiente de rede Ethernet.

Uma forma de potencializar os recursos que essa implementação irá proporcionar seria explorar outros recursos presentes na Indústria 4.0 como Data Analytics, Machine Learning onde a integração desses recursos trariam mais visibilidade, transparência e capacidade de predição ao processo.

Como exemplo de uma gestão inteligente de produção existem muitos sistemas MES capazes de fornecerem gráficos que são processados a partir dos sinais propostos neste projeto. A figura 11 retrata uma linha de tempo de funcionamento e um ativo em produção.

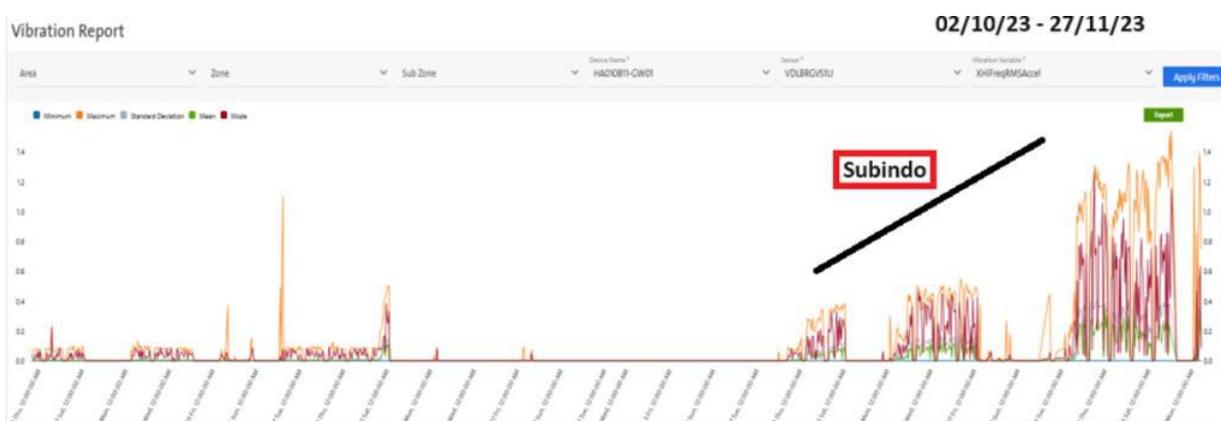
**Figura 11 – Exemplo de Linha de tempo sistema MES**



Fonte: UBIVIS (2017)

Abordando uma aplicação de monitoramento de predição a figura 12 mostra uma mudança de tendência no gráfico ao longo de 2 meses de monitoramento indicando uma possível anomalia mecânica.

**Figura 12 – Exemplo de Gráfico com anomalia de vibração**



Fonte: <https://dynamox.net/> (2020)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação do conceito de Indústria 4.0 em sistemas legados representa um marco significativo no aprimoramento da eficiência operacional e na gestão proativa de manutenção. Ao longo deste estudo, avaliamos detalhadamente a metodologia adotada, focada na integração de sensores para monitorar componentes, visando a prevenção de falhas e a maximização da vida útil dos ativos.

Embora exista uma certa complexidade para tornar uma máquina legada capaz de integrar o conceito de conectividade e monitoramento de KPI's o ganho tecnológico obtido tende a justificar tal investimento uma vez que a competitividade do mercado exige cada vez mais uma gestão.

## AGRADECIMENTOS

Queremos expressar nossos sinceros agradecimentos às nossas famílias, cujo apoio incondicional foi fundamental ao longo deste desafio.

Agradecemos também a empresa Realtec Automação Industrial por disponibilizar conteúdos para pesquisas bem como apoio técnico para tirar dúvidas.

Agradecemos também ao nosso orientador Marcio Senhorinha pelo apoio e dedicação direcionando o nosso grupo durante todo o projeto.

Este projeto não seria possível sem a colaboração de todos, e estamos gratos por fazer parte de uma equipe tão comprometida.

## REFERÊNCIAS

ADRIANO GALINDO LEAL (São Paulo). C4Ir Brasil. GUIA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA. São Paulo: C4Ir, 2022. 96 p. Disponível em: <https://c4ir.org.br/repositorio/>. Acesso em: 23 nov. 2023.

COMMUNITY, Io-link Company. Tecnologia IO-Link. 2013.

Disponível em: <<http://www.profibus.org.br/io-link>>. acesso em: 20 set. 2018

Fernando Basso, Igor / Bento Da Silva, Iris - A Máquina Ferramenta Da Indústria 4.0 Disponível em: < <https://repositorio.usp.br//>>

GRUPO GIMI (São Paulo). **TERMOGRAFIA E TERMOMETRIA**. Disponível em: <https://gimiservice.com.br/produto/termografia-e-termometria/>. Acesso em: 23 nov. 2023.

GRUPO ALTUS (São Leopoldo/Rs - Brasil). **CONHEÇA OS DEZ PILARES NA INDÚSTRIA 4.0**. Disponível em:

<https://www.altus.com.br/post/212/conheca-os-nove-pilares-da-industria-4-0-e-sua-relevancia-para-a-atividade-industrial>. Acesso em: 23 nov. 2023.

IFM (Essen). **Sensor de vibração VVB020 VIBRATION IO-LINK SWITCH**. 2023.

Disponível em: <https://www.ifm.com/br/pt/product/VVB020>. Acesso em: 19 nov. 2023.

JHONATA TELES. **Tudo que você precisa saber sobre a quarta revolução**

**industrial**. 2017. Disponível em: <https://engeteles.com.br/industria-4-0/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

LABRE, Pedro Paulo Vieira Queiroz. **ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E TERMOGRAFIA NA MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS EM UMA USINA DE BENEFICIAMENTO DE SEMENTES**. 2019. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/25383/1/AnaliseVibracaoTermografia.pdf>  
f. Acesso em: 23 nov. 2023

Neto, Gabriel - Desenvolvimento de Um Sistema de Monitoramento de Máquinas CNC Utilizando Conceitos da Indústria 4.0

Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/232558>>

PROFIBUS BRASIL (Brasil). **IO-LINK – O QUE É, COMO SURTIU E COMO ELE AJUDA EM SUAS OPERAÇÕES**. Disponível em:

<https://www.profibus.org.br/noticia/io-link-o-que-e-como-surgiu-e-como-ele-ajuda-em-suas-operacoes#:~:text=O%20IO%20Link%20%C3%A9%20um,torna%20os%20sensores%20%E2%80%9Cinteligentes%E2%80%9D..> Acesso em: 19 nov. 2023.

SENECA (Italia). **HALL EFFECT LOOP POWERED CURRENT TRANSFORMERS WITH 4-20 mA OUTPUT**. 2016. Disponível em:

[https://www.seneca.it/media/2840/0490\\_t201dch-lp\\_eng-15042016.pdf](https://www.seneca.it/media/2840/0490_t201dch-lp_eng-15042016.pdf). Acesso em: 19 nov. 2023.

TOZ, Soluções Industriais. **Centro de usinagem FELLER VMP-30A**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <rvazz1998@gmail.com>. em: 24 nov. 2023.