



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
 FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

INTEGRAÇÃO DA PIRÂMIDE DA AUTOMAÇÃO COM SOFTWARE DE GERENCIAMENTO DE PLANTA (ERP) E GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO (MES) POR MEIO DE API

INTEGRATION OF THE AUTOMATION PYRAMID WITH PLANT MANAGEMENT (ERP) AND MAINTENANCE MANAGEMENT (MES) SOFTWARE THROUGH API

Rubens Ferreira de Lima Junior^{1, i}
 Michel de Moura Chaparro^{2, ii}
 Sandra Mônica do Nascimento Moura^{3, iii}
 Renato Ludwig Pilan^{4, iv}
 Roberto Giani Pattaro Junior^{5, v}
 Daniel Filipe Vieira^{6, vi}
 Fabio Kuranaka^{7, vii}

Data de submissão: (26/08/2024) Data de aprovação: (06/11/2024)

Resumo

Uma planta industrial é fundamentalmente dividida em 5 camadas, que de forma integrada forma a pirâmide da integração. Este artigo demonstra como é realizada a integração dessas cinco camadas através de recursos destinados para este fim, as chamadas *API's (Application Programming Interface)* e programação em linguagem C, pois não são raras às vezes em que se depara com os resultados de determinada funcionalidade de um sistema, sem ao menos ter ideia de como as integrações funcionam e dessa forma, tecnologias não aproveitadas em seu máximo. Com o uso de um microcontrolador ESP32 com sua programação dedicada e alguns componentes discretos, foi realizada a integração das cinco camadas de uma planta fabril fictícia por meio do monitoramento de sinais de duas máquinas instaladas em sua linha de produção. De acordo com a amplitude dos sinais monitorados, ordens de serviços são abertas automaticamente, conferindo agilidade ao processo produtivo. Em suma, além da

¹ Pós-graduado em Gestão da Manutenção em Processos Industriais, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". rubens.lima@sp.senai.br

² Professor Especialista em Mecatrônica Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". michel.chaparro@sp.senai.br

³ Professora Doutoranda em Estudos Literários no PPGLit-UFSCar, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". sandra.nascimento@sp.senai.br

⁴ Professor Mestrando em Mecânica dos Sólidos pela UNICAMP, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". renato.pilan@sp.senai.br

⁵ Professor Doutorando em Engenharia Mecânica pela UNICAMP, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". roberto.gjunior@sp.senai.br

⁶ Professor Doutorando em Engenharia Elétrica pela UNICAMP, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange", daniel.vieira@sp.senai.br

⁷ Professor Doutorando em Engenharia Mecânica pela UNICAMP, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". fabio.kuranaka@sp.senai.br

exposição da facilidade da integração de sistemas distintos a disseminação do conhecimento em tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 é de fundamental importância, como a *IOT (Industrial Internet of Things)*.

Palavras-chave: Indústria 4.0; IIOT; API; integração; ESP32.

Abstract

An industrial plant is fundamentally divided into 5 layers, which in an integrated way forms the pyramid of integration. This article demonstrates how these five layers are integrated through resources intended for this purpose, *API's (Application Programming Interface)* and C-language programming, because it is not uncommon for the results of a given system functionality to be found, without at least having an idea of how integrations work and in this way, technologies not used in its máximo. Com the use of an ESP32 microcontroller with its dedicated programming and some discrete components, was carried out the integration of the five layers of a fictitious manufacturing plant through the monitoring of signals from two machines installed in its production line. According to the amplitude of the monitored signals, service orders are opened automatically, giving agility to the production process. In a statement, in addition to the exposure of the ease of integration of different systems, the dissemination of knowledge in industry 4.0 enabling technologies is of fundamental importance, *such as the IOT (Industrial Internet of Things).*"

Keywords: Industry 4.0; IIOT; API; integration; Esp32.

1 INTRODUÇÃO

As integrações entre sistemas distintos são viabilizadas por um recurso adequado denominado *API*, que tem a função estender as funcionalidades de um sistema (Prediger, 2014). Esse recurso é disponibilizado pelo desenvolvedor para que o sistema seja integrado com qualquer sistema que também tenha o propósito de integração. Com isso, basta que essas *API's (Application Programming Interface)* se comuniquem por meio de linguagem de programação adequada e com determinado conteúdo, o chamado *payload*. Portanto, desde que um sistema seja desenvolvido com a possibilidade de interação, é possível integrá-lo por meio de conteúdo e linguagem de programação adequada.

Uma das vantagens da Indústria 4.0 é integração e dinamismo entre sistemas (Borlido, 2017). Dessa forma, decisões mais assertivas entre processo produtivo e gestão empresarial, como provisão de recursos, podem ser realizadas de forma praticamente autônoma. Nessa perspectiva, inúmeras possibilidades podem ser ponderadas antes da tomada de uma decisão, o que seria praticamente impossível realizar por um ser humano, haja vista a quantidade de variáveis existentes entre solicitação, processo produtivo e entrega de um bem ou serviço.

O armazenamento de dados em nuvem possui grandes vantagens em relação ao armazenamento convencional. Os dados enviados com o propósito de integração entre sistemas ficam armazenados em um *broker*, ou seja, um espaço na nuvem. Desta forma, é improvável que esses dados sejam perdidos e podem ser acessados sempre que necessário ou conveniente (Franco, 2021). Logo, um histórico de informações ficam disponíveis para enriquecimento de um banco de dados, o que torna as tomadas de decisão ainda mais seguras.

Com o propósito de validar a integração entre as cinco camadas da pirâmide da automação, este artigo tem o objetivo de mostrar como a integração entre sistemas distintos pode ser realizada de forma conveniente dentro de um ambiente industrial. Para tanto, um microcontrolador ESP32 conectado na *cloud* (computação em nuvem) envia dados determinados por meio de um algoritmo estabelecido por programação (Medina; Ferting, 2006). A consistência desses dados são proporcionais aos valores que o microcontrolador recebe de sensores convenientemente ligados a ele e que após processados, são armazenados em um *broker*. No que diz respeito às camadas da automação, nesse processo temos descritos a primeira e segunda camada devidamente integradas.

Com os dados armazenados, sistemas supervisórios são criados. Simultaneamente, esses mesmos dados são enviados para a camada de gerenciamento corporativo, que com um volume expressivo de informações, consegue alimentar um banco de dados para ser consultado quando conveniente (Date, 2004). Dessa forma, são integradas a terceira e quinta camada da pirâmide da automação.

A gestão industrial recebe instruções previamente definidas do gerenciamento corporativo e com esses dados em mãos, estabelece rotinas de manutenção com a abertura de ordens de serviço e conseqüentemente, pode equilibrar as suas demandas produtivas em relação ao novo cenário da disponibilidade do parque fabril. Com essa última etapa, a quarta camada fica integrada ao complexo industrial. Com isso, ainda que exposto de forma sucinta, temos a estrutura da pirâmide de automação completamente integrada.

Diante da complexidade de uma planta industrial, em virtude da grande quantidade de variáveis envolvidas em todo o processo produtivo, é de suma importância o controle da maior quantidade possível de informações com o objetivo da maximização de resultados (Oliveira, 2007). Com a possibilidade de ser mais assertivo nas tomadas de decisão, novas tecnologias e ferramentas são criadas e orientadas para este fim em um mercado cada vez mais dinâmico. Portanto, a integração das cinco camadas da automação industrial se faz cada vez mais presente e necessária em tempos de Indústria 4.0.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria 4.0

Desde a Revolução Industrial ocorrida na Inglaterra no século XVIII, a indústria vem passando por evoluções. Estas também chamadas de revoluções, começando pelas máquinas a vapor oriundas da primeira concepção de indústria até os tempos atuais com a conectividade característica da quarta revolução industrial. Logo, os termos *Big Data*, Computação em Nuvem e *Blockchain* são cada vez mais familiares.

Apesar da grande quantidade de material disponível sobre I4.0 (Indústria 4.0), muitas empresas não têm uma clara compreensão de como implementá-la (Santos, *et al.* 2018). Khan e Turowski (2016b) descrevem a I4.0 como uma revolução habilitada pela aplicação generalizada de tecnologias avançadas no nível de produção. Isto posto, involuntariamente de como é chamada, a nova revolução é uma realidade que compreende alguns pilares e que, em curto espaço de tempo, deve ser incorporada às empresas que pretendem manter-se no mercado.

Cada Revolução Industrial em sua época compreendeu um tempo de pujança. Esse tempo se mostrou cada vez menor na medida em que novas tecnologias foram implementadas, como o emprego da energia elétrica e domínio sobre materiais semicondutores. Portanto, buscar uma forma de conectar as camadas da pirâmide da

automação industrial com base nos pilares da I4.0 em diminuto espaço de tempo é fundamental e necessário para as adaptações das atuais demandas mercadológicas.

2.2 IIOT

A internet permite a comunicação entre sistemas em âmbito mundial. Essa interação permite a troca de informações de forma praticamente instantânea, o que permite mais assertividade em tomadas de decisão que em virtude do mercado dinâmico, devem ser cada vez mais rápidas. Desse modo, o uso de uma tecnologia que fomente o dinamismo da atual Revolução Industrial é um dos seus suportes.

A conectividade entre sistemas distintos é dada por uma série de engenharias isoladas e que são convenientemente agrupadas. Um dos pilares da I4.0 é a *IIOT*, que segundo Correia (2022, p. 5) “é caracterizada por um conjunto de tecnologias e conceitos que formam o paradigma atual dos ecossistemas industriais”. Por consequência, não é possível minimamente vislumbrar o funcionamento da I4.0 sem o apoio de conexões consistentes.

A robustez de uma conexão é fundamental para que dados discretos possam ser úteis em uma aplicação. Analisados de forma isolada, sem um padrão de comportamento ou sem relação com outro parâmetro, dados não podem ser transformados em uma informação. Com isso, além da consistência do dado em sua origem, a transferência do mesmo deve ocorrer de forma confiável através de protocolos destinados para este fim.

2.3 API

Um sistema qualquer possui uma função bem definida. Mas as funções ou resultados de um determinado sistema podem ser úteis para outros dentro de um contexto, bastando então integrá-los de forma harmoniosa para que resultados antes não permitidos possam ser extraídos. Dessa forma, a internet ocupa lugar de destaque na Revolução Industrial contemporânea.

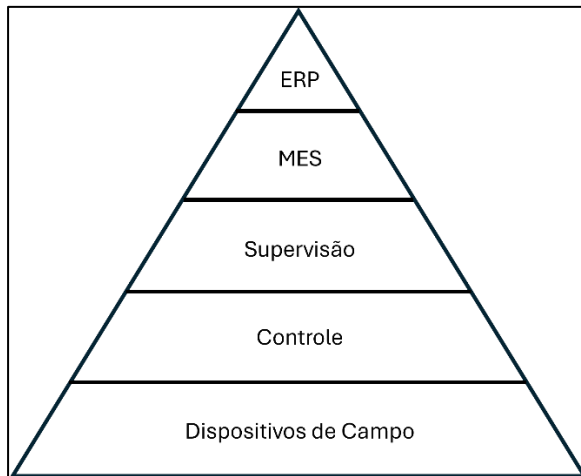
A *IIOT* tem papel fundamental nas integrações, pois é a base de comunicação entre dispositivos ou camadas da pirâmide da automação industrial. Com o advento dessa tecnologia, sistemas distintos puderam ser integrados através de um recurso apropriado chamado de *API*, que são utilizadas como recurso para a integração entre sistemas (Aguiar, 2022). Com isso, departamentos industriais que até pouco tempo não contavam com recursos tecnológicos representativos, agora podem interagir de forma significativa com o restante da planta fabril, em busca de resultados mais expressivos.

Em grande parte, um sistema não demonstra de forma expressa e notável sua condição de integração. O usuário acaba por fazer uso de apenas parte dos recursos que são disponibilizados, sem se dar conta que sistemas possuem interfaces embarcadas de comunicação, que são úteis e expandem a funcionalidade desses sistemas. Dessa forma, a *API* nativa de um sistema deve ser levada em consideração, pois as interfaces de aplicação são desenvolvidas para facilitar a integração entre sistemas.

2.4 Integração de camadas da automação

De forma geral, a indústria é dividida em níveis de funcionamento, também chamadas de camada de sensores, controle, supervisão, gerenciamento de planta e corporativo. Dentro dessa arquitetura, em seus extremos temos a camada com sensores de campo até o nível de gerenciamento corporativo, sem detrimento das demais camadas que possuem papel essencial nos resultados de qualquer companhia, conforme demonstrado na figura 1.

Figura 1- Pirâmide da automação



Fonte: Elaborado pelo autor

2.4.1 Sensores de Campo

Camada composta fundamentalmente por sensores e transdutores são os componentes que coletam os sinais provenientes dos processos industriais. Os sinais provenientes dos sensores ou transdutores podem ser digitais, dessa forma, enviando sinais de nível alto ou baixo realizando uma sentença binária como os pressostatos ou analógicos, que enviam sinais entre uma faixa definida de tensão ou corrente como os sensores de temperatura. De forma independente de suas características de funcionamento, os sensores são os elementos de referência de como um processo industrial está pontualmente funcionando.

2.4.2 Controle

Essa camada da pirâmide da automação recebe os sinais provenientes dos sensores de campo. Neste nível encontram-se os dispositivos responsáveis pelo controle da planta, como CLP (Controlador Lógico Programável), computadores e microcontroladores. Com base em sinais recebidos pelos dispositivos de campo, os dispositivos de controle determinam se algum equipamento do processo industrial deve ter seu funcionamento interrompido ou modificado com o objetivo de assegurar que parâmetros de controle sejam prontamente atendidos.

2.4.3 Supervisão

Permite a supervisão e otimização do processo industrial. Essa camada geralmente conta com gráficos, dashboards e banco de dados que permitem a avaliação do processo industrial, sua evolução ao longo do tempo, pontos de verificação de criticidade e melhor aproveitamento de recursos. Com o histórico de funcionamento é possível determinar em que condições a planta fabril oferece sua melhor performance e de mesma forma, verificar onde se encontram os pontos críticos de um processo. Com isso, direcionar esforços para que o funcionamento global de produção tenha o melhor aproveitamento possível, considerando ainda, as características disponíveis por cada equipamento instalado no processo industrial.

2.4.4 MES

Camada da pirâmide automação responsável pela programação e planejamento da produção. A sessão 3 desse artigo contempla em grande parte essa camada da pirâmide da automação, com a aplicação do exemplo do controle e planejamento de manutenção. Segundo Espinosa e Fernando et al (2006, p. 37) “A manutenção contribui agora mais do que nunca, para se alcançar os objetivos das funções pela integração total do processo de produção [...]”. Isto posto, pode-se concluir que atualmente a manutenção é parte fundamental dos resultados globais de uma empresa. Em função disso, é indispensável que esse departamento conte com sistemas de gestão inteligentes (Otani e Machado, 2008) e alinhados com as recentes demandas.

A manutenção passou a ganhar força durante a Segunda Guerra Mundial. Nesse período, a excelência nos trabalhos foi fundamental para a reposição de materiais que faziam parte indispensável dos esforços de combate. Desse tempo até os atuais, a manutenção começou a ser observada como setor estratégico para resultados. Segundo Sellitto:

A função manutenção industrial tem incorporado às suas estratégias usuais de gerenciamento alguns conceitos originados na confiabilidade. Para Moubray (1996), a manutenção tem procurado novos modos de pensar, técnicos e administrativos, já que as novas exigências de mercado tornaram visíveis as limitações dos atuais sistemas de gestão. Uma das modificações apontadas por Moubray (1996) é a incorporação de elementos da confiabilidade às estratégias usuais de manutenção encontradas nas empresas de fabricação e de serviços tecnológicos. (Sellitto, 2005 apud Moubray, 1996, p.2).

Com o objetivo de integrar o setor de manutenção ao seu lugar de destaque na cadeia produtiva, novas tecnologias estão disponíveis. Atualmente, não apenas as camadas produtivas são contempladas com esse propósito, mas toda a pirâmide da automação, diferente da sua forma originalmente concebida (Goeking, 2010). Logo, o *ERP (Enterprise Resource Planning)*, camada responsável em disponibilizar os dados em tempo real para as demais (Oliveira et al., 2011) fornece dados imediatos para a camada *MES (Manufacturing Execution Systems)*, cuja função é interligar a realidade do chão de fábrica ao sistema de gestão empresarial (Souza e Oliveira, 2003) permitindo dessa forma o dinamismo necessário para fomentação crescente da I4.0 no cenário econômico mundial.

Com as informações disponíveis na camada MES, uma comunicação é estabelecida com um software *CMMS (Computerized Maintenance Management System)*, com significado definido de forma sucinta por Oliveira (2022, p. 40) como “[...] sistemas de informação orientados para dar apoio à função de manutenção [...]”. Por meio de algoritmos definidos, esse sistema emite ou não, solicitações de manutenção que até pouco tempo não eram possíveis (Goeking, 2010). Portanto, desde que todas as informações do complexo industrial sejam coletadas e disponibilizadas, é possível extrair expressivos resultados. Para que isso ocorra, os dados devem além de estar disponibilizados de forma correta, serem empregados de forma diligente, pois segundo Jeferson Bighet:

O grande desafio desta abordagem é promover a integração entre as tecnologias da automação com as de TI, equipamentos e sistemas alocados em diferentes níveis hierárquicos dos sistemas industriais. Nesse sentido, um paradigma recente tem sido o da automação colaborativa através do uso e compartilhamento de serviços [...]. (Bighet, 2019, p.2).

2.4.5 ERP

Topo da pirâmide da automação e camada de gerenciamento corporativo. As decisões que impactam toda a cadeia produtiva são determinadas nesse ponto, como: gestão de vendas, financeira e produtiva. Essa camada conta com softwares que auxiliam nas tomadas de decisões globais da companhia, pois apresentam de forma simplificada, mas fidedigna, de como os resultados produtivos são apresentados. Sendo assim, decisões que exigiriam análises complexas e demoradas possam ser tomadas de forma assertiva e rápida.

Como já citado, a I4.0 tem como principal característica a conectividade entre sistemas. Conhecendo as especificidades de cada camada da pirâmide da automação, é possível tirar proveito das tecnologias disponíveis e integrá-las da forma mais conveniente em busca de resultados antes não possíveis ou sequer imaginados. Com isso, a otimização de recursos mostrar-se-á de maneira eficaz e de simples emprego.

2.5 ESP32

Os microcontroladores, em função da sua funcionalidade simplificada e discreta, estão presentes em nosso dia a dia de forma praticamente imperceptível. Rotinas simples como o soar do despertador e sintonia de uma estação de rádio são controladas por esses componentes. Logo, tarefas simples do nosso cotidiano seriam bem mais difíceis ou até mesmo impossíveis sem a presença desses minicomputadores.

O principal objetivo da aplicação dos microcontroladores no processo produtivo é o aumento da qualidade (Goeking, 2010). Dessa forma, tarefas repetitivas que estão sujeitas a erros de operação são facilmente substituídas por algoritmos programáveis e flexíveis nos microcontroladores, sem contar com as tecnologias embarcadas de acesso à rede wireless nativas da família ESP. Por consequência, é cada vez mais conveniente e necessária a utilização de microcontroladores no equevo panorama industrial.

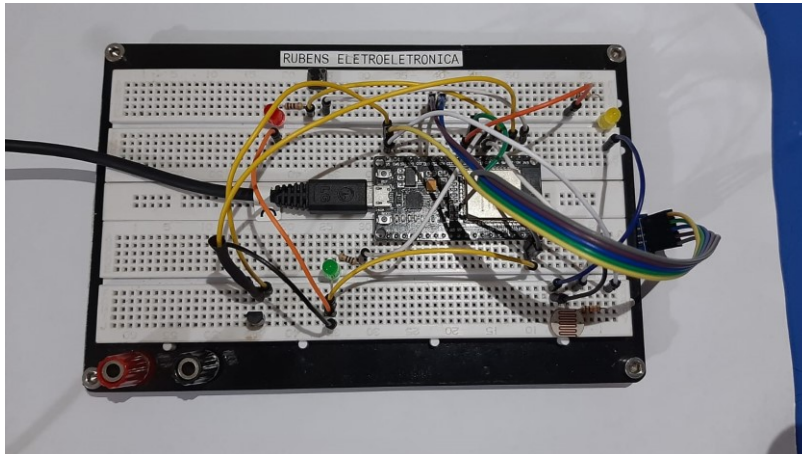
A tecnologia, disponível atualmente com os microcontroladores ESP32, permite a maximização de resultados com o uso cada vez mais racional de recursos. Para tanto, basta direcionar as aplicações ao cenário que se pretende otimizar. Destarte, tecnologia e foco na aplicação são aliados importantes para que se alcance a excelência.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Montagem na protoboard

Este artigo tem como procedimentos metodológicos a pesquisa bibliográfica e a pesquisa aplicada. A metodologia da pesquisa bibliográfica é um processo sistemático que envolve a coleta, análise e interpretação de informações já publicadas, como livros, artigos científicos, teses, dissertações, documentos e outros materiais acadêmicos, para fundamentar esse estudo. Além disso, por meio da técnica de pesquisa aplicada, a inicialização da aplicação é dada pela montagem dos componentes na protoboard. Os componentes são convenientemente montados e ligados às portas digitais e analógicas do microcontrolador conforme mostrado na Figura 2. Os componentes montados são discretos, ou seja, têm a função de realizar uma função elementar e estão listados na Tabela 1.

Figura 2-Protoboard com o ESP32 e componentes



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 1 - Lista de materiais da protoboard

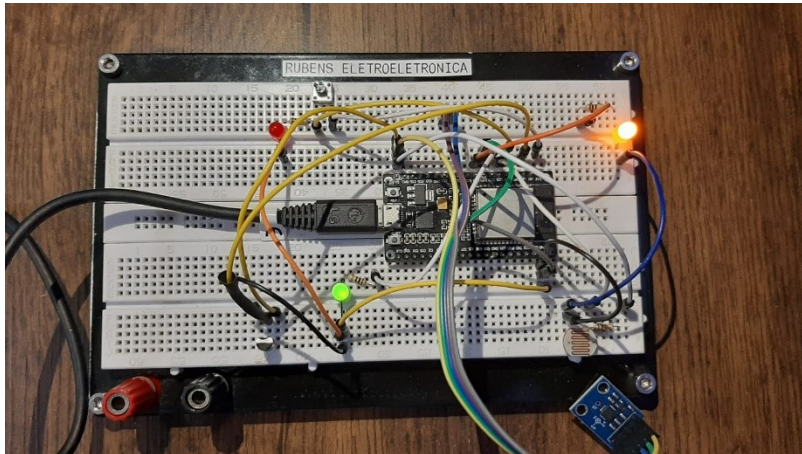
Item	Descrição	Unidades
1	Protoboard	1
2	ESP 32	1
3	LDR	1
4	LM35	1
5	Acelerômetro ADXL335	1
6	Push button	1
7	Resistor 10Ω 1/4W	1
8	Resistor 120Ω 1/4W	3
9	LED verde	1
10	LED vermelho	1
11	LED amarelo	1
12	Cabo jumper macho x macho	12
13	Cabo jumper macho x fêmea	5

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 Rotina de controle

O microcontrolador também foi responsável pela rotina de controle da temperatura de um componente. Uma saída digital é acionada toda vez que a variável denominada temperatura fica acima de um determinado valor. Essa abstração faz alusão a um ventilador, que fica ligado refrigerando um componente até que sua temperatura chegue a um determinado valor. Essa rotina é evidenciada pelo LED amarelo acesso na Figura 3 e sua programação na Figura 4.

Figura 3- Rotina de controle evidenciada pelo LED amarelo aceso



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4-Programação da rotina de controle

```
float val = temperatura;

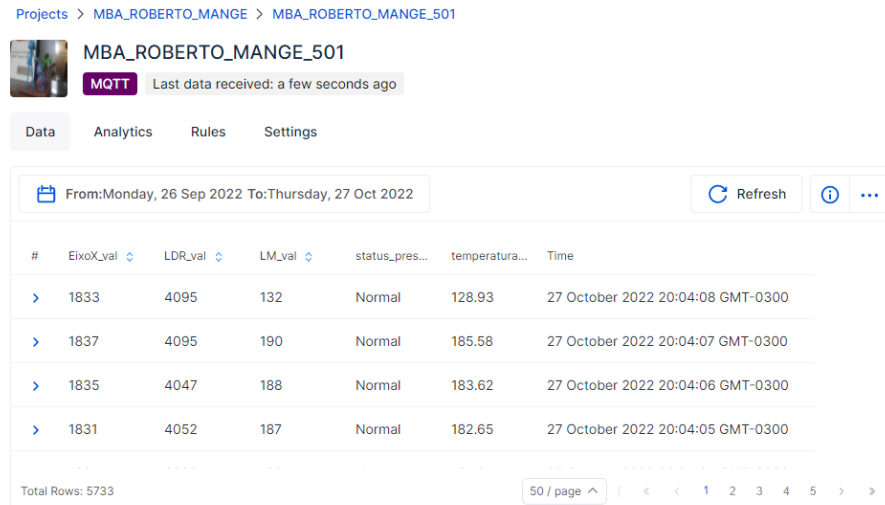
if (val > 200)
{
  digitalWrite (LEDa, HIGH);
  delay(100);
}
if (val <200)
digitalWrite (LEDa,LOW );
delay(100);
```

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3 Dados na nuvem

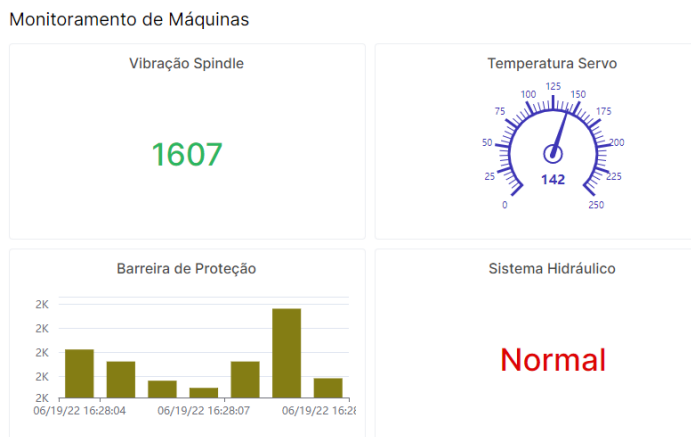
O microcontrolador ESP32 possui o recurso embarcado de comunicação com a internet. Com essa facilidade, os dados coletados pelo microcontrolador são enviados para a nuvem com o uso protocolo de comunicação *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)* e hospedados em um *broker*. Para que o envio e hospedagem aconteça, é necessário que os dados sejam organizados e convertidos em linguagem de programação apropriada, de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo *broker* que hospeda esses dados. A Figura 5 mostra os dados já coletados e armazenados e que também serviram para a criação de um sistema supervisorio como mostrado na Figura 6.

Figura 5- Variáveis hospedadas no broker



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6- Supervisório criado com as variáveis hospedadas no broker



Fonte: Elaborado pelo autor

3.4 Criação de dashboards e monitoramento de variáveis no Power BI

Com a utilização de uma *API*, o software Power BI requisita os dados hospedados no *broker*. Com essas informações são elaboradas *dashboards* para fácil visualização do estado de funcionamento das máquinas em tempo real e determinação da curva de tendência dos parâmetros monitorados. A Figura 7 mostra algumas máquinas da planta fabril que de forma abstrata são monitoradas com o auxílio do software, entretanto, apenas duas terão seus comportamentos experimentados e com os resultados expostos. Utilizamos um centro de usinagem e um torno CNC (Comando Numérico Computadorizado) em nossa aplicação e que serão devidamente apresentados quando conveniente.

Figura 7- Máquinas monitoradas pelo Power BI

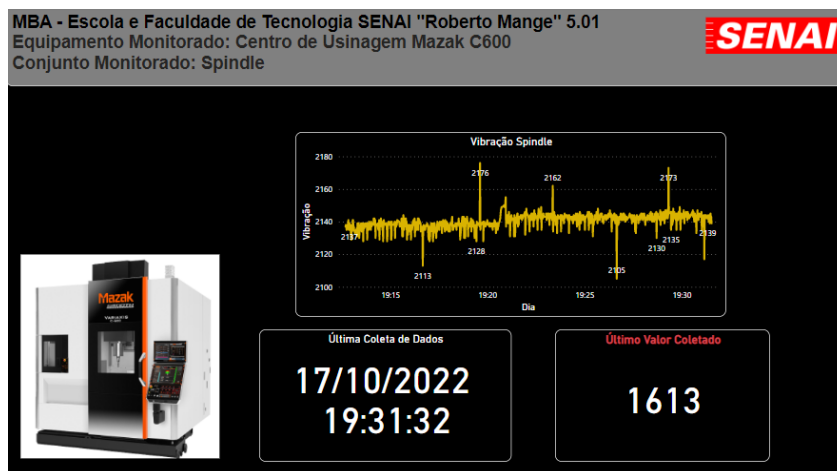


Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.1 Rotina de normalidade da máquina 01

A máquina 01 é um centro de usinagem marca Mazak, modelo C600 com a vibração do spindle como variável monitorada. Esse parâmetro é medido através do acelerômetro e conta com valores apurados em apenas um dos eixos possíveis de medição. A Figura 8 mostra o valor da medição apurado durante o ensaio.

Figura 8- Medição realizada em condição de normalidade na máquina 01



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o valor registrado de 1613 pelo acelerômetro, nenhuma ação deve ser tomada. Destacado que se trata de um valor aleatório que não tem nenhuma relação com as grandezas de velocidade e aceleração usuais para medição de vibração, pois esse artigo não contempla o propósito de criticidade de valores para tomada de decisões de manutenção e sim a integração entre as cinco camadas da pirâmide da automação. Dessa forma, como mostrado na Figura 9, a máquina 01 não apresenta qualquer anormalidade, conforme mostrado pelo software CMMS Melvin.

Figura 9- Condição de normalidade da máquina 01 no CMMS



Fonte: Elaborado pelo autor

A condição de normalidade é determinada por meio da programação que determina qual valor é aceitável ou deve requisitar o software CMMS. Na ocasião de valores registrados pela camada ERP fora do intervalo determinado em programação, uma ação deve ser iniciada. O valor limite para a requisição de manutenção na máquina 01 é mostrado na Figura 10.

Figura 10- Script em Python para acionamento do CMMS

```
# Máquina 01

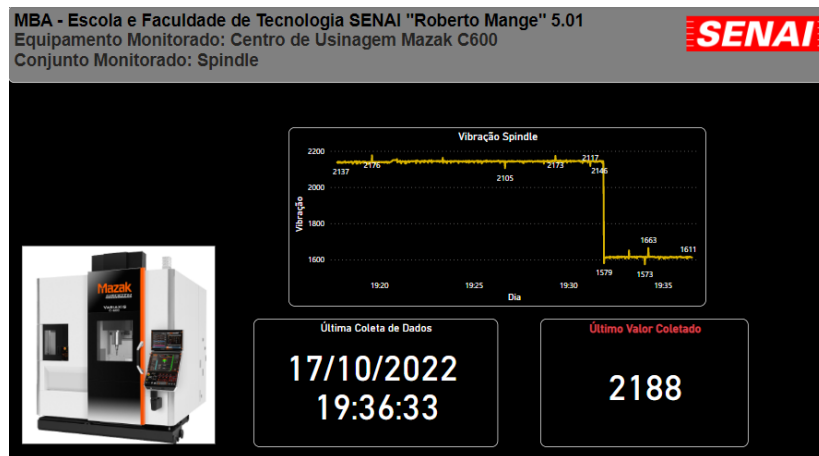
if (medicao1 > 1800):
    dadosMelvin ['CodEquipamento'] = 18
    dadosMelvin ['Solicitacao'] = " Vibração Anormal no Spindle"

print("Abrir Ordem!!!")
solicitacao=requests.post('https://api.oimelvin.com.br/api/SolicitacaoManutencao',headers = headerMelvin, json= dadosMelvin)
```

Fonte: Elaborado pelo autor

Com o valor registrado de 2188 uma ação deve ser tomada pelo *ERP*. Esse valor é tratado única e exclusivamente para efeito de acionamento do *CMMS* e advertido novamente como valor aleatório. A Figura 11 mostra o valor apontado pelo acelerômetro.

Figura 11-Medição realizada em condição de anormalidade na máquina 01



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o valor registrado na imagem anterior, uma ação de manutenção deve ser enviada ao CMMS Melvin. Com isso, a camada ERP através da sua API envia uma solicitação de manutenção à camada responsável pelo monitoramento do comportamento das máquinas instaladas na planta industrial. A Figura 12 mostra o alarme no centro de usinagem cadastrado na árvore de ativos do CMMS além da requisição de serviço de manutenção mostrado na Figura 13.

Figura 12-Condição de anormalidade da máquina 01



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13-Solicitação de manutenção gerada automaticamente no CMMS máquina 01

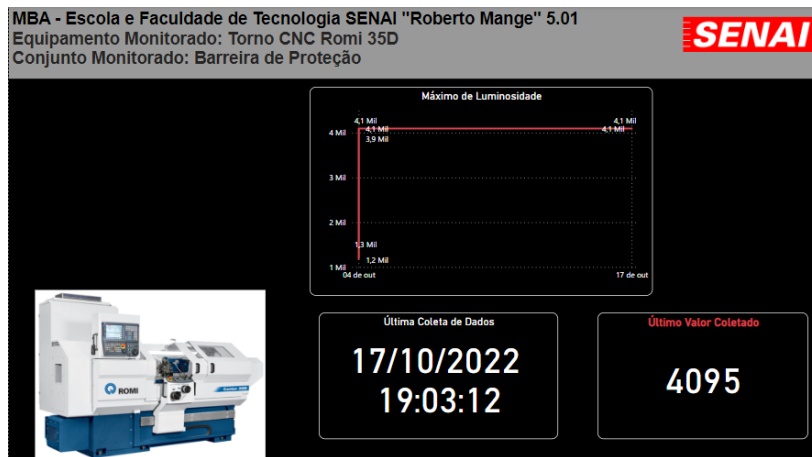
Código	Data	Canal	Urgência	Solicitante	Ativo	Solicitação	Status	OS Origem	Arquivamento
38	17/10/2022			Rubens Lima	Centro de Usinagem Mazaki C600	Vibração Anormal no Spindle	Em Aberto		POWER BI

Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.2 Rotina de normalidade da máquina 02

A máquina 02 é um torno CNC marca ROMI, modelo 35D com uma barreira de proteção como variável monitorada. Esse parâmetro é medido através do componente LDR (Light Dependent Resistor) e que tem seu valor de resistência interna alterada de acordo com sua exposição à luz. A Figura 14 mostra o valor da medição apurado durante o ensaio.

Figura 14-Medição realizada em condição de normalidade na máquina 02



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o valor registrado de 4095 pelo LDR, nenhuma ação deve ser tomada. Esse valor é registrado por uma entrada analógica do ESP32 que recebe um valor proveniente de um circuito divisor de tensão. Com isso, como mostrado na Figura 15, a máquina 02 não apresenta qualquer anormalidade, conforme mostrado pelo software CMMS Melvin.

Figura 15- Condição de normalidade da máquina 02 no CMMS



Fonte: Elaborado pelo autor

A condição de normalidade é determinada por meio da programação que determina qual valor é aceitável ou deve requisitar o software CMMS. Na ocasião de valores registrados pela camada ERP fora do intervalo determinado em programação, uma ação deve ser iniciada. O valor limite para a requisição de manutenção na máquina 02 é mostrado na Figura 16.

Figura 16- Script em Python para acionamento do CMMS

```
# Máquina 02

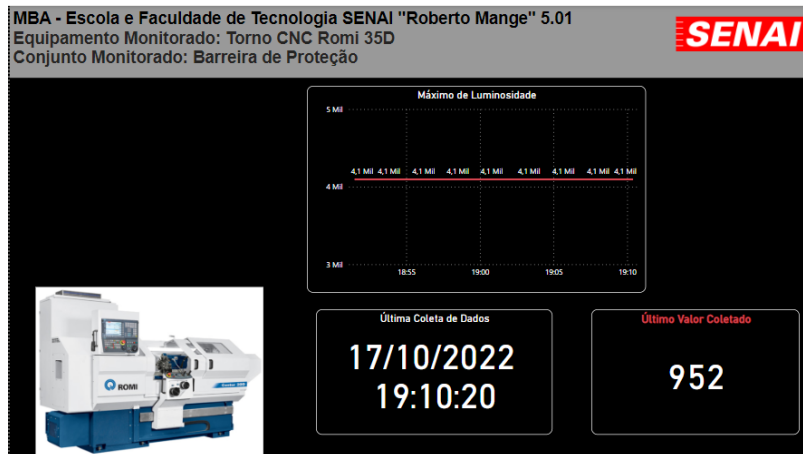
if (medicao2 < 1000):
    dadosMelvin ['CodEquipamento'] = 19
    dadosMelvin ['Solicitacao'] = " Proteção Removida"

    print("Abrir Ordem!!!")
    solicitacao=requests.post('https://api.oimelvin.com.br/api/SolicitacaoManutencao',headers = headerMelvin, json= dadosMelvin)
else:
    print("Equipamento OK!!!")
```

Fonte: Elaborado pelo autor

Com o valor registrado de 952 uma ação deve ser tomada pelo *ERP*. Esse valor é tratado única e exclusivamente para efeito de acionamento do *CMMS*. A Figura 17 mostra o valor apontado pelo LDR.

Figura 17-Medição realizada em condição de anormalidade na máquina 02



Fonte: Elaborado pelo autor



Com o valor registrado na imagem anterior, uma ação de manutenção deve ser enviada ao CMMS Melvin. Com isso, a camada ERP através da sua API envia uma solicitação de manutenção à camada responsável pelo monitoramento do comportamento das máquinas instaladas na planta industrial. A Figura 18 mostra o alarme no torno CNC cadastrado na árvore de ativos do CMMS além da requisição de serviço de manutenção mostrado na Figura 19.

Figura 18-Condição de anormalidade da máquina 02



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19-Solicitação de manutenção gerada automaticamente no CMMS máquina 02

Código	Data	Canal	Urgência	Solicitante	Ativo	Solicitação	Status	OS Origem	Arquivamento
30	17/10/2022			Rubens Lima	Torno ROMI 35D	Proteção Removida	Em Aberto		POWER BI

Fonte: Elaborado pelo autor

4 RESULTADOS

Conforme proposto inicialmente, as cinco camadas da pirâmide da automação foram integradas. A validação da integração iniciou-se com a montagem dos componentes na *proto-board*. Após a realização dessa etapa, com o microcontrolador devidamente programado, recebendo sinais em suas portas digitais e analógicas e convenientemente energizado, passou a enviar dados para o *broker*, além da sua função de controle da temperatura do componente LM35. Com isso, parte da pirâmide da automação já integrada.

Com os dados enviados ao *broker* por meio do protocolo de comunicação MQTT, dentro da própria plataforma na nuvem, foi desenvolvido um sistema supervisor. Dessa forma, a rotina de funcionamento das máquinas foram exibidas por uma IHM para supervisão em tempo real e de forma remota. Esse recurso é muito importante dentro do ambiente industrial, uma vez que máquinas ou componentes dela, como servo motores por exemplo, podem exercer suas funções enclausurados. Portanto, a necessidade de sistemas supervisórios se faz presente em muitas aplicações industriais.

O software Power BI fez requisições de dados para o *broker* por meio de uma API dedicada para este fim e com isso, foi possível a elaboração de dashboards para melhor acompanhamento do comportamento das máquinas, além de evidenciar uma curva de tendência com esse dados. Com isso, é possível que o nível mais alto da pirâmide da automação estabeleça estratégias de produção que impactem positivamente nos resultados globais da companhia.

Por meio de um script em linguagem Python, o software Power BI fez a comunicação com a camada MES, aqui representada pelo software CMMS Melvin. Dependendo do valor das variáveis monitoradas pela camada ERP, uma solicitação de manutenção foi automaticamente enviada para a quarta camada da pirâmide da automação. *Ex Positis*⁸, foi possível a realização da integração das cinco camadas da automação com a utilização de recursos físicos e tecnológicos destinados para este propósito.

5 CONCLUSÕES

A integração entre sistemas é uma das prerrogativas da Indústria 4.0, utilizando como meio a *IIoT* (Internet das Coisas Industrial). Muitas vezes os usuários deparam-se com soluções já prontas, apenas aproveitando dos seus benefícios e em grande parte, sem ter a menor ideia de como as integrações entre sistemas acontecem de forma técnica e funcional. Em virtude

⁸ Termo em latim para: do exposto/isso posto.

dessa lacuna entre “o que faz” e “como se faz”, apresentou-se como a integração entre sistemas distintos acontecem.

A contribuição desse artigo é demonstrar como componentes discretos e acessíveis, do ponto de vista financeiro, podem ser aplicados em soluções complexas. Além disso, exemplifica como a tecnologia pode aprimorar a comunicação entre áreas tradicionalmente isoladas, a exemplo da manutenção, possibilitando a redução de custos e conferindo mais agilidade e competitividade às empresas. No presente artigo, todas as camadas da pirâmide da automação foram integradas, em especial, as camadas de níveis gerenciais com a utilização de sua respectiva API. A integração entre o topo e a base da pirâmide é algo relativamente novo (Goeking, 2010). Portanto, fica evidente de como a tecnologia pode estreitar informações entre departamentos que até a década de 80 sequer se conectavam, ainda que desempenhando papéis fundamentais nos resultados globais de qualquer empresa.

Com o mercado cada vez mais competitivo, o controle e gerenciamento de boas práticas no departamento de manutenção tornou-se uma necessidade e é cada vez mais experimentada (Espinosa, 2006). Uma vez que as empresas têm o mesmo acesso a maquinário, matéria prima e recursos humanos, cabe à alguns setores estratégicos, como o departamento de manutenção por exemplo, serem os protagonistas na vantagem estratégica das empresas, uma vez que um custo menor de manutenção representa necessariamente diminuição do valor não percebido de um bem ou serviço adquirido. Isto posto, devido ao potencial de redução de custos de departamentos que até pouco tempo não eram explorados à margem de suas potencialidades, agora poderão ser vislumbrados com a realidade da I4.0.

Por fim, cabe orientar os resultados obtidos ao interesse comum, pois de forma brilhante, expressa seu pensamento o professor do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica (PEA), da USP (Universidade de São Paulo), Sérgio Luiz Pereira no artigo já citado de Weruska Goeking:

A automação é uma poderosíssima ferramenta e o emprego dela é que pode ser bom ou ruim e, dentro de um desenvolvimento sustentável, deve haver a inclusão social. Isso porque se ela for empregada apenas para substituição do ser humano e o resultado não for investido nele mesmo para que possa exercer outras atividades mais nobres, a automação pode levar a um desemprego. E esse aumento de produção será revertido para quem? (Goeking, 2010, p.76).

A tecnologia está disponível e mais difundida do que nunca. Com o advento da internet, a maioria das pessoas passaram a ter mais acesso aos repositórios de pesquisas que estão disponíveis hoje. Portanto, desde que se tenha clareza do que e para que fazer algo, projetos ainda nem imaginados podem fazer parte de uma realidade muito próxima, com o bem estar coletivo como objetivo maior.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, João Victor de Oliveira et al. **Automação de análises de projeto no Autodesk Revit**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Formosa, 2022. 122p. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/1024>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- BIGHET, Jeferson A. et al. Proposta de arquitetura orientada a microserviços para aplicações de Internet das Coisas Industrial. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA-CBA 2018. **Sociedade Brasileira de Automática**, v. 1, n. 1, 2019. Disponível em: https://sba.org.br/open_journal_systems/index.php/cba/article/view/79. Acesso em: 07 mai. 2023.
- BORLIDO, David José Araújo. **Indústria 4.0**: aplicação a sistemas de manutenção. 2017. Disponível em: <https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/102740/2/181981.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2024.
- CORREIA, João António Gamboa. **Representação digital e gestão de equipamentos numa plataforma IIoT**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Universidade do Porto, Porto – PT, 2022. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/143008/2/573070.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2023.
- DATE, Christopher J. **Introdução a sistemas de bancos de dados**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=xBeO9LSIK7UC&oi=fnd&pg=PP23&dq=DATE,+Christopher+J.+Introdu%C3%A7%C3%A3o+a+sistemas+de+bancos+de+dados.+Elsevier+Brasil,+2004.&ots=xdOyiXz8aH&sig=2w1XufdtlTiBft7ibkFGrDuiHZs#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- ESPINOSA FUENTES, Fernando Félix. **Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. 192p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/88894>. Acesso em: 07 jul. 2024.
- FRANCO, Carlos Leonardo Freitas Viveiros *et al.* Vantagens da computação em nuvem para empresas de menor porte. **South American Development Society Journal**, v. 7, n. 20, p. 255, 2021. Disponível em: <http://sadsj.org/index.php/revista/article/view/439>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- GOEKING, Weruska. **Da máquina a vapor aos softwares de automação**. Santa Cecília, SP, 2010. Disponível em: https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/memoria_maio_10.pdf. Acesso em: 15 mai. 2023.

KHAN, Ateeq; TUROWSKI, Klaus. A survey of current challenges in manufacturing industry and preparation for industry 4.0. *In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES FOR INDUSTRY"*(IITI'16), 1., v. 1. Springer International Publishing, 2016. p. 15-26. [Proceedins...]. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-33609-1_2 . Acesso em: 23 fev. 2024.

MEDINA, Marco; FERTING, Cristina. **Algoritmos e programação: teoria e prática**. São Paulo: Novatec, 2006. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=wSKcVefj7XwC&oi=fnd&pg=PA2&dq=MEDINA,+Marco%3B+FERTING,+Cristina.+Algoritmos+e+programa%C3%A7%C3%A3o:+teoria+e+pr%C3%A1tica.+Novatec+Editora,+2006.&ots=QIV_FZ2HQU&sig=VIsMObiJ5PEUeynsDIh9WYfuYzo#v=onepage&q=MEDINA%2C%20Marco%3B%20FERTING%2C%20Cristina.%20Algoritmos%20e%20programa%C3%A7%C3%A3o%3A%20teoria%20e%20pr%C3%A1tica.%20Novatec%20Editora%2C%202006.&f=false . Acesso em: 05 jun. 2023.

OLIVEIRA, Paulo C. et al. **Análise da Implantação de um Sistema ERP (Enterprise Resource Planning) em uma empresa de automação industrial**. 2011. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos11/12514146.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2023.

OLIVEIRA, Francisco Miguel Fernandes. **Melhoria das Práticas de Gestão da Manutenção e Implementação de um Software CMMS Numa Empresa do Setor Têxtil**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade do Minho (Portugal). Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/30038c6d96ca13c98559e9ddd3d5aeca/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y> . Acesso em: 20 abr. 2023.

OLIVEIRA, Mauro Vitor de et al. **Design and evaluation of human-system interfaces for industrial plants**. 2007. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=5e77235e338d64ab51a10af262739468832fdc4e> . Acesso em: 16 mar. 2024.

OTANI, Mario; MACHADO, Waltair Vieira. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, v. 4, n. 2, 2008. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/16> . Acesso em: 03 abr. 2023.

PREDIGER, Daniel. **Modelo de aplicabilidade de sistema RFID para rastreabilidade na indústria alimentícia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/12810> . Acesso em: 20 out. 2023.

SANTOS, Beatrice Paiva *et al.* Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, 2018. Disponível em: <https://portal.amelica.org/ameli/journal/167/1671510006/html/> . Acesso em: 30 abr. 2023.

SELLITTO, Miguel Afonso. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Production**, v. 15, p. 44-59, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/SVhm5tHjcGKbmD4Ng5fMjmC/>. Acesso em: 14 nov. 2023.

SOUZA, Alessandro J.; OLIVEIRA, Luiz Carlo. **Gerência dos processos de automação**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003. Disponível em: https://dca.ufrn.br/~afonso/FTP/DCA447/trabalho3/trabalho3_10.pdf. Acesso em: 14 out. 2023.

Sobre os(as) Autores(as):

i Rubens Ferreira de Lima Junior



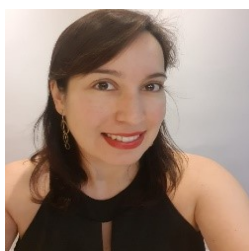
Possui tecnólogo em Mecatrônica Industrial pela Escola e Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange” (2021), cursou a Pós-Graduação MBA - Gestão da Manutenção em Processos Industriais pela mesma instituição, bem como, Técnico em Mecatrônica e Eletroeletrônica. Atualmente é instrutor de formação profissional nos cursos regulares da modalidade aprendizagem industrial e técnico da Escola e Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. <https://orcid.org/0009-0000-0104-963X>

ii Michel de Moura Chaparro



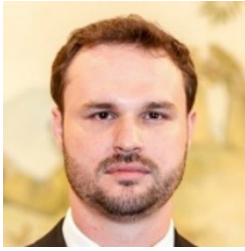
Possui graduação em Instrumentação e Controle de Processos Industriais (UNISAL - 1992). Especialização em Mecatrônica (UNISAL - 2015). Especialização em Engenharia de Controle e Automação Industrial pela Universidade Candido Mendes (UCAM - 2022). Cursando Engenharia da Computação (UNIVESP - 2020). Mestrando em Engenharia Mecânica na área de Automação (UNITAU). Atualmente é professor da Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”, <https://orcid.org/0009-0000-2789-1390>

iii Sandra Mônica do Nascimento Moura



Doutoranda em Estudos Literários pelo Programa de Pós-Graduação em Estudos de Literatura - PPGLit, na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestra pelo mesmo programa, na linha de pesquisa: Literatura e outras linguagens. Graduada em Letras pela mesma universidade. Graduada em Pedagogia pela Universidade de Franca - Unifran. Atualmente é professora da Escola e Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. <https://orcid.org/0000-0001-5639-9012>

iv **Renato Ludwig Pilan**



Possui graduação em Manutenção Mecânica Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2011). Mestrando em Mecânica dos Sólidos pela UNICAMP. Atualmente é Professor de Educação Superior - Especialista II - SENAI - Departamento Regional de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica. <https://orcid.org/0009-0007-8581-4837>

v **Roberto Giani Pattaro Junior**



Doutorando em Engenharia Mecânica pela Unicamp. Mestre em Engenharia Mecânica pela Unicamp (2019). Especialista MBA - em Gestão da Produção e Qualidade (2015). Graduação em Engenharia de Produção - Anhanguera Educacional - Campinas (2010). Atualmente é instrutor de formação profissional III - SENAI - Departamento Regional de São Paulo. Grande experiência na área de Engenharia Mecânica e de Produção. <https://orcid.org/0000-0003-4992-1006>

vi **Daniel Filipe Vieira**



Doutorando em Engenharia Elétrica pela Unicamp. Mestre em Engenharia Elétrica pela Unicamp. Engenheiro Eletricista formado pelo Centro Universitário UniMetrocamp Wyden. Atualmente é Professor universitário na Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". <https://orcid.org/0000-0002-8907-8837>

vii **Fabio Kuranaka**



Doutorando em Engenharia Mecânica. Mestre em Engenharia Mecânica. Especialista em Planejamento Educacional e Metodologia do Ensino Superior, Automação Industrial e Controle de Processos Industriais e em Psicopedagogia Clínica e Institucional. Engenheiro de Produção Mecânica. Atualmente é Professor de Educação Superior na Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". <https://orcid.org/0000-0002-7935-7429>