



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

HUGO FIRMINO DAMASCENO

UMA CAMADA DE COMUNICAÇÃO PARA GERENCIAMENTO DE
EQUIPAMENTOS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

FORTALEZA – CEARÁ

2021

HUGO FIRMINO DAMASCENO

UMA CAMADA DE COMUNICAÇÃO PARA GERENCIAMENTO DE EQUIPAMENTOS
NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência da Computação. Área de Concentração: Ciência da Computação

Orientador: Gerardo Valdisio Rodrigues Viana

FORTALEZA – CEARÁ

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Estadual do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Damasceno, Hugo Firmino.

Uma camada de comunicação para gerenciamento de equipamentos no contexto da Indústria 4.0 [recurso eletrônico] / Hugo Firmino Damasceno. - 2021.

72 f. : il.

Dissertação (MESTRADO ACADÊMICO) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Mestrado Acadêmico Em Ciência da Computação, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Gerardo Valdisio Rodrigues Viana.

1. API. 2. Customização. 3. Gerenciamento de Equipamentos Industriais. 4. Indústria 4.0. 5. Simulador. I. Título.



ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos vinte e dois dias de fevereiro de dois mil e vinte e um, no(a) À Distância (Google Meets), realizou-se a sessão pública de defesa da dissertação de HUGO FIRMINO DAMASCENO, aluno(a) regularmente matriculado(a) no curso MESTRADO ACADÊMICO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO - MACC, Intitulada: **UMA CAMADA DE COMUNICAÇÃO PARA GERENCIAMENTO DE EQUIPAMENTOS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**. A Banca Examinadora reuniu-se no horário de **15h00 às 17h00** horas, sendo constituída por: Prof. Dr. GERARDO VALDISIO RODRIGUES VIANA (Orientador e Presidente da Banca/UECE), Profa. Dra. ANA LUIZA BESSA DE PAULA BARROS (UECE) e Prof. Dr. ANTONIO DE BARROS SERRA (IFCE). Inicialmente o(a) mestrando(a) expôs seu trabalho e a seguir foi submetido (a) à arguição pelos membros da Banca, dispondo cada membro de tempo para tal. Finalmente a Banca reuniu-se em separado e concluiu por considerar o(a) mestrando(a) **APROVADO**, por sua dissertação e sua defesa pública. Eu, Prof. Dr. GERARDO VALDISIO RODRIGUES VIANA, orientador(a) e presidente da banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim e os demais membros. Fortaleza, 22 de Fevereiro de 2021.

Prof. Dr. GERARDO VALDISIO RODRIGUES VIANA
(Orientador e Presidente da Banca/UECE)

Profa. Dra. ANA LUIZA BESSA DE PAULA BARROS (UECE)

Prof. Dr. ANTONIO DE BARROS SERRA (IFCE)

A Deus, por conduzir cada passo da minha vida. A minha família, por investir e acreditar no meu sonho, por lutarem comigo. Mãe, sempre ao meu lado. Meu sobrinho Heitor Firmino, minha válvula de escape.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por guiar, conduzir e cuidar dos meus passos, durante meu percurso acadêmico e pela certeza de que continuará comigo dirigindo meu futuro. A minha família, pois foram muitos momentos de incertezas e de muitos desafios, ter vocês ao meu lado, me deu forças e esperança para continuar. Hoje, graças a vocês realizo mais um sonho.

A Dona Francisca, que me acolheu como a um filho, abriu as portas de sua residência, me fez sentir como se estivesse em casa. Meu muito obrigado, por tudo.

Aos meus amigos que direta e indiretamente, contribuíram com minha formação, estiveram por perto, me aconselharam, me deram apoio e motivação, vocês foram e são importantes na minha caminhada.

Ao Prof. Dr. Gerardo Valdisio, por sua orientação, por seu comprometimento, por sua dedicação e por seu companheirismo. O seu incentivo e apoio facilitaram todo o percurso. Como estive disponível sempre que foi solicitado, seu acompanhamento foi essencial para a realização e para o prosseguimento deste estudo.

A Prof. Me. Camila Campos Colares, por "comprar" a ideia do projeto, também sempre estive a disposição, sanando dúvidas, me orientando, meu muito obrigado.

A Prof. Dr. Ana Luiza Bessa, que se dispôs a contribuir com esse projeto, ganhando minha admiração por seu profissionalismo.

Ao Laboratório de Otimização e Gestão de Inteligência - LOGIN, pela oportunidade e espaço para desenvolver esse projeto.

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP, que proporcionou recursos necessários para a concretização do projeto.

A esta universidade, ao seu corpo docente, à sua direção e à sua administração que oportunizaram minha formação e a todos os professores por me fornecerem e por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional.

“Vá tão longe quanto você pode ver, quando
você chegar lá, você poderá ver mais”
Thomas Carlyle

RESUMO

A indústria 4.0 é um termo utilizado para representar a evolução das indústrias, termo surgido primeiramente na Alemanha, a quarta revolução industrial tem como pilares a Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Sistemas Cyber-físicos entre outros. Nesse contexto, foi implementado uma camada de comunicação envolvendo os pilares da Indústria 4.0 para o gerenciamento de equipamentos industriais. Através de uma API, será possível a automação do equipamento, podendo gerar relatórios sobre os dados fornecidos, manipular o equipamento por meio de controladores e atuadores, e tomar decisão a partir dos dados analisados. A validação dessa camada de comunicação é feita por meio de um simulador. Não foi encontrado um simulador gratuito e que pudesse ser customizado, limitando a validação. Por esse motivo, é implementado um simulador de esteira transportadora, capaz de fornecer dados como temperatura, umidade e velocidade, podendo também alterar a rotação da esteira. A API e o simulador são software abertos que possibilitam a customização e adaptação, para a comunidade acadêmica utilizar, implementar novas classes ou adicionar novas funcionalidades, caso assim desejem. A documentação do trabalho é fornecida por meio da plataforma do GitHub.

Palavras-chave: API. Customização. Gerenciamento de Equipamentos Industriais. Indústria 4.0. Simulador.

ABSTRACT

The fourth industrial revolution, also known as Industry 4.0, a term that first emerged in Germany, has as pillars the Internet of Things, Cloud Computing, Cyber-physical systems, among others. In this context, a communication layer, involving the Industry 4.0 pillars, was implemented for the management of industrial equipment. Through an API, it will be possible to automate the equipment, being able to generate reports on the data provided, manipulate the equipment through controllers and actuators, and make decisions based on the analyzed data. The validation of this communication layer is done using a simulator. It was not found a free simulator that could be customized, limiting the validation. For this reason, a conveyor belt simulator is implemented, capable of providing data such as temperature, humidity, and velocity can also change the conveyor of the belt. Both the API and the simulator are open source that can be customized and adapted for the academic community needs, implement new classes, or add new features if they wish. The work documentation is provided through the GitHub platform.

Keywords: API. Customization. Industrial Equipment Management. Industry 4.0. Simulator.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pilares da Indústria 4.0	15
Figura 2 – Revoluções Industriais	16
Figura 3 – Tecnologias inseridas na API	17
Figura 4 – Computação em Nuvem	21
Figura 5 – 3Vs Big Data	24
Figura 6 – Volume de pesquisas no Google sobre Wireless Sensor Networks e Internet of Things	27
Figura 7 – Blocos Básicos da IoT	29
Figura 8 – Domínios da arquitetura M2M	33
Figura 9 – Estrutura das disciplinas que integram o Sistema Ciber-físico	34
Figura 10 – Correlação entre M2M, WSNs, CPS e IoT	37
Figura 11 – Esteira Transportadora	46
Figura 12 – Mqtt Broker	50
Figura 13 – Arquitetura da API	52
Figura 14 – Arquitetura do Simulador	53
Figura 15 – Stack Simulador	53
Figura 16 – Stack API	54
Figura 17 – Simulador	55
Figura 18 – Modal do simulador	56
Figura 19 – Tela de informação da API	57
Figura 20 – Caso de Uso API	65
Figura 21 – Caso de Uso Simulador	66
Figura 22 – Diagrama de Classe da API	67
Figura 23 – Diagrama de Classe do Simulador	68
Figura 24 – Tela inicial	69
Figura 25 – Tela login	69
Figura 26 – Tela conexão	70
Figura 27 – Tela cadastro de usuário	70
Figura 28 – Tela relatório	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Possíveis aplicações para M2M	31
Tabela 2 – Tabela comparativa	43
Tabela 3 – Funcionalidades de Software de Simulação	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controladores Lógicos Programáveis
CPS	Cyber Physical Systems
DoS	Denial of Services
EF	Entidades Físicas
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EUA	Estados Unidos da América
EV	Entidades Virtuais
EXI	Efficient XML Interchange
IaaS	Infraestrutura como Serviço
IoT	Internet of Things
M2M	Machine to Machine
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NSF	National Science Foundation
OWL	Web Ontology Language
PaaS	Plataforma como Serviço
RA	Realidade Aumentada
RDF	Resource Description Framework
REST	Representational State Transfer
RFID	Radio Frequency Identification
SaaS	Software como Serviço
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SP	São Paulo
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UML	Unified Modeling Language
WSN	Wireless Sensor Networks

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	Estrutura do trabalho	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Computação em nuvem	20
2.1.1	Arquitetura	21
2.2	Big data	23
2.3	Internet das coisas	26
2.3.1	Blocos básicos de construção da IoT	28
2.3.2	Segurança	30
2.4	Machine to machine	31
2.4.1	Arquitetura M2M	32
2.5	Sistemas ciber-físicos	33
2.5.1	CPS vs sistemas embarcados	34
2.5.2	CPS na indústria	35
2.5.3	Segurança de um CPS	35
2.5.4	Aplicações CPS	36
3	TRABALHOS RELACIONADOS	38
4	METODOLOGIA	45
4.1	Esteira transportadora	45
4.2	Simulador	45
4.3	Requisitos	48
4.3.1	Requisitos funcionais da API	48
4.3.2	Requisitos não-funcionais da API	48
4.3.3	Requisitos funcionais do simulador	48
4.3.4	Requisitos não-funcionais do simulador	49
4.4	Diagrama de caso de uso	49

4.5	Diagrama de classe	49
4.6	Mqtt broker	50
4.6.1	Mqtt	50
4.6.2	Broker	51
4.7	Arquitetura rest	51
4.7.1	Arquitetura da API	51
4.7.2	Arquitetura do simulador	52
4.8	Tecnologias utilizadas	53
5	RESULTADOS	55
6	CONCLUSÃO	58
6.1	Desafios	58
6.2	Contribuições	58
6.3	Trabalhos futuros	58
	REFERÊNCIAS	60
	APÊNDICE A – DIAGRAMA DE CASO DE USO	65
	APÊNDICE B – DIAGRAMA DE CLASSE	67
	APÊNDICE C – PROTÓTIPO DE TELAS	69

1 INTRODUÇÃO

A primeira revolução industrial aconteceu na Inglaterra, no final do século XVIII, caracterizada principalmente pelo desenvolvimento da máquina a vapor com a utilização do carvão como fonte de energia (XU et al., 2018). Essa inovação industrial trouxe grandes benefícios, principalmente na produção têxtil, que anteriormente era realizada de forma artesanal, proporcionando, por consequência, um crescimento nos grandes centros urbanos em busca de melhoramentos contínuos.

Em 1840, um século após a primeira revolução, surgiu a necessidade do aumento na produção. Nesse ínterim, Henry Ford introduz, por meio das linhas de montagem, o que determinaria a segunda revolução industrial, utilizando-se da eletricidade como alternativa em relação ao vapor. Isso possibilitou a aceleração do ritmo industrial e a redução de custos e de tempo na fabricação de produtos, os quais eram consumidos em escala cada vez maior (COELHO, 2016).

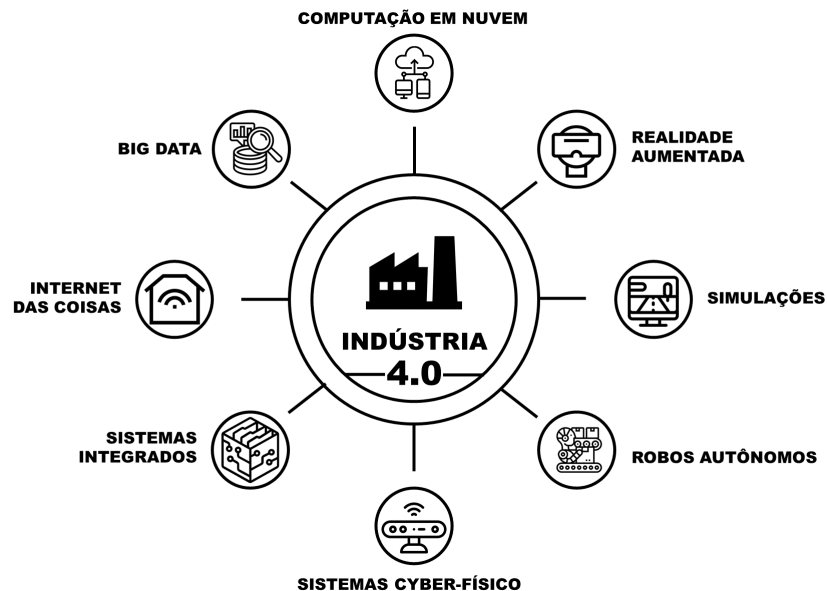
A terceira revolução industrial teve início logo após a segunda guerra mundial, principalmente com a colaboração de Alan Turing que, ainda na guerra, desenvolveu a conhecida máquina de Turing, possibilitando a decodificação das mensagens reportadas pelo exército alemão e auxiliando no fim da guerra. A utilização de recursos de telecomunicação e o avanço tecnológico possibilitaram a integração de diversos sistemas, aumentando a produtividade. Outros recursos também caracterizam essa revolução, como é o caso da internet, da automatização e da robotização em linhas de produção, sensores e semicondutores (COELHO, 2016).

Com base nas três primeiras revoluções, pressupõe-se o surgimento de uma quarta revolução industrial. Observa-se que em todas elas, obteve-se um aumento significativo da produção industrial e consequentemente do crescimento econômico. Hoje, as indústrias têm recursos tecnológicos que possibilitam ainda mais o aumento de produção em menor tempo e com maior qualidade, obtendo a satisfação dos clientes, como mostra o estudo de Cheng et al. (2015). Esses chamados recursos tecnológicos ligados à indústria são o que caracterizam a quarta revolução industrial.

Conhecida como Indústria 4.0, a quarta revolução industrial teve seu surgimento na Alemanha e tem como pilares tecnologias já desenvolvidas, utilizadas em conjunto, como é o caso da Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Sistemas Cyber-físicos, Big Data, entre outros, como mostra a figura 1. A utilização dessas

tecnologias na indústria, aplicadas em conjunto, visa facilitar cada vez mais o trabalho humano, além de otimizar tempo e recursos.

Figura 1 – Pilares da Indústria 4.0



Fonte: Elaborado pelo autor

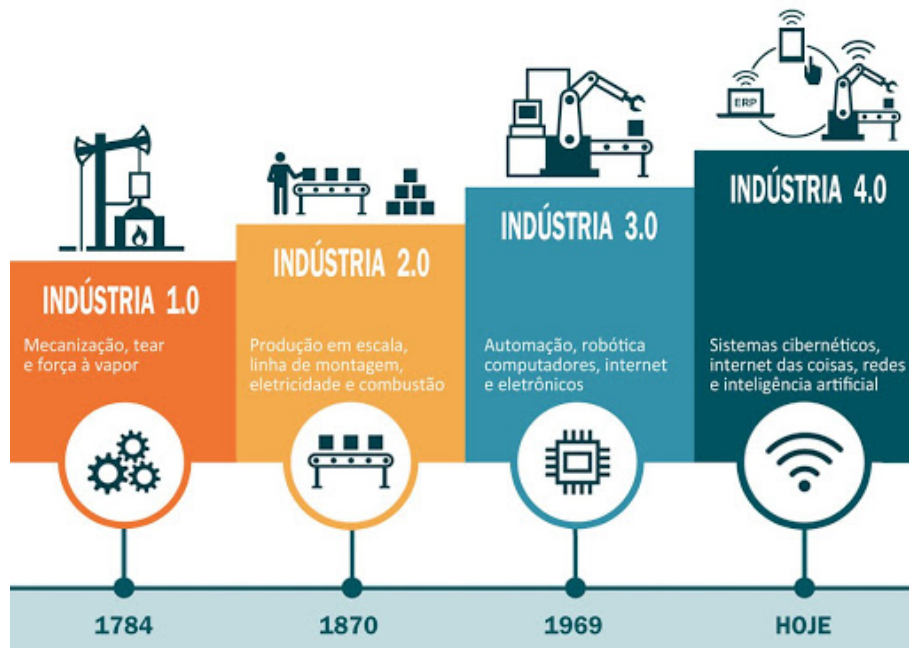
A figura 2 mostra as revoluções industriais existentes, sendo a Indústria 4.0 a quarta revolução industrial, nos dias de hoje. Nesse contexto, um fator importante a ser analisado é o tempo. Nas três primeiras revoluções, o tempo que difere uma de outra é de aproximadamente um século, e o tempo que difere a terceira da quarta revolução é bem menor. Isso mostra que a evolução da tecnologia promove na indústria um crescimento exponencial e não linear, como nas anteriores (SHWAB, 2015).

Com essa rápida transformação digital, procuram-se cada vez mais soluções que otimizem os processos industriais. Desse modo, torna-se necessário o uso de tecnologias disponíveis a fim de minimizar tempo e custo diante das situações cotidianas nas indústrias, como por exemplo, reduzir erros de um maquinário, automatizar um processo manual, gerir um determinado equipamento industrial. E é sobre esse último, a abordagem do presente trabalho.

O presente trabalho visa implementar uma camada de comunicação para gerenciamento de equipamentos industriais. Por meio dela, será possível a automação do equipamento que, através de sensores e controladores, seja habilitado a analisar seu estado e seu funcionamento, a fim de prever e de solucionar possíveis erros,

podendo assim, obter melhores resultados e redução de tempo na produção.

Figura 2 – Revoluções Industriais

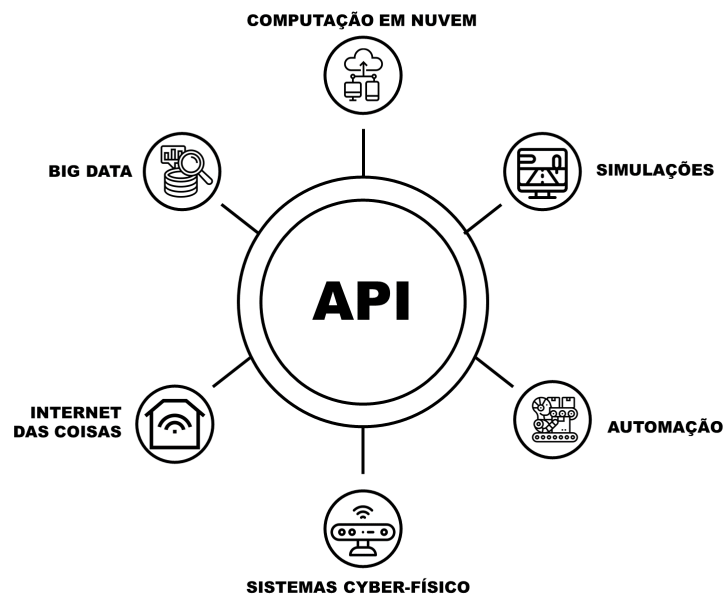


Fonte: (NETSCAN DIGITAL, 2020)

Para a validação do uso da API, é necessário que primeiro sejam realizados testes com simuladores de equipamentos industriais. Os simuladores atualmente disponíveis, no entanto, não oferecem recursos necessários para essa validação, pois não apresentam dados como temperatura, umidade e velocidade, além de não poderem ser customizados. Por esse motivo, propôs-se então, o desenvolvimento de um simulador que representasse equipamentos industriais, sendo o primeiro caso implementado, o de uma esteira transportadora. O simulador aqui proposto é uma alternativa para a validação da API, disponibilizando os recursos necessários para a realização de testes. Além disso, por ser de código livre, poderá ser customizado e adaptado para futuros desenvolvimentos no âmbito acadêmico.

A figura 3 mostra os pilares da Indústria 4.0 que integram a API, tornando-a um recurso da quarta revolução industrial, para obter melhorias no processo de produção. A proposta é que a API seja uma camada de comunicação, que possibilite os demais pesquisadores a estenderem suas funcionalidades e assim criarem outras aplicações sobre ela.

Figura 3 – Tecnologias inseridas na API



Fonte: Elaborado pelo autor

1.1 Motivação

A quarta revolução industrial é uma realidade. A presença de tecnologias proporcionam eficiência e rapidez, geram lucros para a indústria e o meio econômico em geral. No entanto, a utilização de tecnologias digitais na indústria brasileira não é muito frequente. Apenas 58% das indústrias no Brasil têm conhecimento da importância da utilização dessas tecnologias para a competitividade da indústria, sendo que ainda menos da metade as utiliza (CNI, 2016).

Com o desenvolvimento, cada vez maior, de ferramentas que proporcionam uma revolução nas indústrias, se fazem necessários profissionais que estejam capacitados, tanto para o desenvolvimento dessas ferramentas, quanto para o seu manuseio. A cada revolução industrial, a exigência do perfil dos trabalhadores foi se modificando, passando do trabalho manual para o intelectual (AIRES et al., 2018). Dessa forma, requerer dos operários qualificação e habilidades que são adquiridas mediante capacitação profissional, tornou-se uma exigência nesse contexto produtivo.

Um dos fatores que também viabilizam o estudo nessa área é o tempo gasto nos processos industriais. Procura-se, cada vez mais, reduzir o tempo de produção, visando garantir a fabricação de mais produtos e, assim, gerar mais lucros. Acredita-se que a automação de um equipamento industrial viabiliza um melhor gerenciamento do

equipamento, uma vez que auxiliará os operadores, por meio da análise dos dados providos pelo equipamento e possibilitará melhorias no processo de produção.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral implementar uma camada de comunicação que forneça meios de gerenciar equipamentos industriais, aplicando conceitos da Indústria 4.0.

1.2.2 Objetivos específicos

- Implementar uma camada de comunicação como recurso da Indústria 4.0, para gerenciamento de equipamentos industriais, a partir da API proposta.
- Implementar um simulador como alternativa para a validação da API, no qual seja possível sua customização e sua adaptação, podendo ser utilizado também como recurso da quarta revolução industrial.
- Realizar testes por meio do simulador para validar a API desenvolvida, verificando se a mesma atende as especificações estabelecidas;
- Fornecer toda a documentação da API e do simulador, para que terceiros, possam estender suas classes, adicionando novas funcionalidades ou criar novas aplicações sobre a API, caso assim desejem.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em seis capítulos. O primeiro fez uma breve introdução ao tema, contextualizando o assunto abordado, a motivação, os objetivos e a apresentação da estrutura da pesquisa.

O capítulo 2 apresenta tecnologias que compõem a Indústria 4.0 e expõe suas respectivas definições e aplicabilidades principalmente no meio industrial.

No capítulo 3, são abordados os trabalhos que utilizaram a mesma temática da Indústria 4.0, proporcionando embasamento teórico e motivação para o desenvolvimento dessa dissertação.

O capítulo 4 apresenta detalhes sobre o desenvolvimento do gerenciador e do simulador da esteira transportadora, utilizando-se do modelo de pesquisa descritiva.

No capítulo 5, são abordados os resultados da implementação da API e do simulador.

Por fim, o capítulo 6 destaca os desafios encontrados durante a pesquisa, ressalta as contribuições do trabalho para a comunidade acadêmica e para possíveis trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As três primeiras revoluções industriais são marcadas por alguns componentes específicos que possibilitaram um rápido crescimento no mundo industrial. A primeira revolução, por exemplo, é marcada pela criação da máquina a vapor; a segunda revolução tem como marca as linhas de montagem popularizadas por Henry Ford; a terceira revolução industrial é marcada pela criação de computadores e da Internet. Com isso, considera-se o fato de que algo marca a Indústria 4.0. Nesta seção, serão abordados os principais conceitos e vertentes que constituem a Indústria 4.0.

2.1 Computação em nuvem

A computação em nuvem surgiu com o objetivo de facilitar o acesso a informações de forma descentralizada, possibilitando decisões estratégicas (LIMA; PINTO, 2019). O desenvolvimento dessa ferramenta, além de possibilitar o avanço tecnológico, contribui consideravelmente para o desenvolvimento industrial.

Para uma compreensão mais global da definição de computação em nuvem, considera-se a própria nomenclatura, especificamente o termo nuvem, dá ideia de algo distante, não físico, ilimitado. Contudo, ainda assim é um local onde se guardam todos os recursos computacionais como dados, aplicações, entre outros, aos quais o usuário pode acessar de qualquer lugar e hora, utilizando apenas uma interface padrão e acesso à rede (Internet).

A representação do termo nuvem é justamente a Internet, ou seja, a infraestrutura de comunicação composta por hardwares, software, interfaces, dispositivos de controles e armazenamentos que permitem a entrega da computação como serviços (HURWITZ et al., 2010). Essa definição está melhor representada na figura 4.

Fox et al. (2009) estabelecem computação em nuvem como um conjunto de serviços de rede ativados que proporciona escalabilidade, qualidade de serviço com menor custo. No caso, o baixo custo é uma das motivações principais para o desenvolvimento da computação em nuvem. Para executar certas aplicações, software e até mesmo guardar grandes quantidades de dados, o usuário pagaria por um hardware mais sofisticado com valores elevados, uma vez que o valor seria fixo, independente da utilização. Já que com o emprego da nuvem, torna-se possível ao usuário, pagar

apenas o que é utilizado.

Figura 4 – Computação em Nuvem



Fonte: (BAILEY, 2017)

Apesar de o termo nuvem transmitir a ideia de um local não físico, a computação em nuvem utiliza grandes centros de dados para armazenamento. Dessa forma, dados e aplicações são guardados nesses locais conhecidos como *data centers*. Empresas como GOOGLE, MICROSOFT, AMAZON, que fornecem o serviço de computação em nuvem, possuem seus próprios *data centers*.

Os *data centers* são grandes centros de dados, isto é, um local com grandes servidores, sistemas de armazenamento, *switches*, roteadores e outros componentes, porquanto se exige que seja um local seguro, com acesso restrito, câmeras de segurança, vigilância armada. Como visto anteriormente, a utilização da computação em nuvem possibilita que o usuário acesse seus dados a qualquer hora e local. Diante disso, os *data centers* devem garantir que não haja falta de energia, assim, grandes máquinas ficam ligadas 24 horas diárias. Para manter esse funcionamento, são desenvolvidos sistemas de prevenção contra incêndios e equipamentos de refrigeração, a fim de não prejudicar o funcionamento das máquinas. Vale ressaltar que, se esse local for destruído, existem outros centros de dados conectados com backups, isto é, cópias de segurança.

2.1.1 Arquitetura

Entendido o conceito de computação em nuvem, pode-se agora mostrar como é sua estrutura e seu funcionamento.

Levando em consideração o nível de abstração do recurso provido pela computação em nuvem, identifica-se a existência de três camadas de arquitetura, sendo

uma a camada inferior: Infraestrutura como Serviço (IaaS), a camada intermediária: Plataforma como Serviço (PaaS) e a camada superior: Software como Serviço (SaaS). (PEDROSA; NOGUEIRA, 2011).

A camada Infraestrutura como Serviço pode ser vista como a camada base, que dá suporte para as demais camadas. Ela oferece recursos virtualizados, como servidores capazes de executar e de operar softwares em diferentes sistemas operacionais, fazendo comunicação com host, com switches, com roteadores, entre outros.

Em relação à camada intermediária, Plataforma como Serviço, esta permite que aplicações sejam desenvolvidas sem que o desenvolvedor se preocupe com os recursos de memória, de configuração, de armazenamento, de rede e de banco de dados que estarão sendo utilizados. Além de reduzir o tempo de codificação, permite a utilização de forma acessível de ferramentas sofisticadas, entre outras vantagens. Juntamente com a camada inferior, torna-se possível as aplicações criadas serem compatíveis com diversos sistemas operacionais, com linguagens de programação e com ambientes de desenvolvimento.

Por fim, a camada superior, Software como Serviço, utiliza as outras duas camadas, oferecendo assim uma transparência ao usuário final. Ela tem a responsabilidade de fornecer para o usuário aplicações completas, permitindo a execução das mesmas na nuvem, a partir de uma máquina local.

Faz-se também necessário citar os modelos de implementação da computação em nuvem, que estão relacionados com sua arquitetura. Os modelos são: público, privado, comunidade e híbrido. Estes modelos estão disponíveis de acordo com a necessidade do usuário, por exemplo, o modelo público oferece recursos para o público geral ou para grandes indústrias, nas quais o prestador de serviço deve garantir a segurança e o desempenho (MELL et al., 2011). Os demais modelos, também com suas respectivas peculiaridades, oferecem recursos apropriados para suprir necessidades do usuário.

Como o foco deste trabalho é a Indústria 4.0, não será explanado profundamente sobre todas as tecnologias que compõem a computação em nuvem. Mas esse é um tema fundamental para o desenvolvimento da indústria, pois fornece recursos, armazenamento e processamento de dados em escala, além de virtualizar estruturas e

reduzir custos. Mais informações sobre computação em nuvem podem ser obtidas em Buyya et al. (2010) e Mell et al. (2011).

2.2 Big data

Outra tecnologia que contribui com a quarta revolução industrial é o *big data*. A princípio, pela própria nomenclatura da tecnologia, tem-se à impressão de estar relacionada apenas a quantidade de dados, o que não é real, pois se refere à análise dessa grande quantidade, sendo possível colher informações, transformá-las em conhecimento, para então gerar lucros por meio desse conhecimento. Schönberger-Mayer e Cukier (2013) definem *big data* como sendo mais que uma ferramenta de processamento de dados. É a capacidade de uma sociedade obter informações de maneiras novas, a fim de formar ideias úteis, bens e serviços de valor significativo. Assim, a verdadeira revolução não está nas máquinas que calculam dados, mas nos dados em si, e na maneira como os utilizamos.

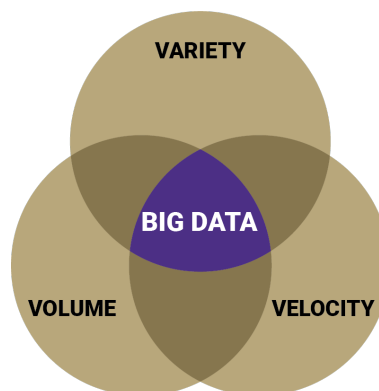
Vale ressaltar que quantidades desmedidas de dados são geradas diariamente e grande parte está diretamente relacionada ao meio industrial. Faz-se necessário que os dados gerados sejam analisados e convertidos em informação, para maior produtividade e desenvolvimento da indústria. Segundo Coelho (2016), o grande desafio da Indústria 4.0 é agrupar todos os dados significativos e processá-los, transformando-os em conhecimento.

De acordo com Chang et al. (2015), o termo *big data*, refere-se a um enorme conjunto de dados, em que a grande massa de dados é não estruturada e exige uma arquitetura escalável para armazenamento, para manipulação e para análise eficientes em tempo real. Vê-se então que todos os dados que são gerados podem ser analisados para coletar informações e para auxiliar na tomada de decisão. Suponha que uma pessoa chamada Ana queira comprar uma televisão, ela terá de decidir sobre o tipo de TV, sobre o preço que estará disposta a pagar e onde comprar. Com base nisso, Ana realiza uma pesquisa sobre a TV em um determinado site em que ela concordou fornecer seus dados de busca e em tempo real, serão apresentadas a ela várias opções de TVs em suas redes sociais através de anúncios, e ela poderá decidir qual TV comprar. Apesar de a história ser sobre Ana, o fato é que, a pesquisa que ela realizou é uma informação, que foi processado e utilizado em tempo real, para que empresas

fornecessem para Ana opções de TVs.

O conceito de *big data* é formado por três propriedades conhecidas como 3Vs, que são: volume, velocidade e variedade, como mostra o diagrama na figura 5. Mas Wu et al. (2016) mostram o emprego de mais propriedades, no total de 9Vs (velocidade, variedade, volume, veracidade, visibilidade, valor, variabilidade, validade e veridicidade), que tornam o *big data* mais abrangente e relevante como um modelo de negócio, e assim auxilia na tomada de decisão de uma empresa, indústria, e até mesmo pessoal, como citado no caso de Ana. Taurion (2013) resume *big data* em uma simples fórmula para caracterizá-lo: Big Data = volume + variedade + velocidade + veracidade, tudo agregado + valor. Será detalhada cada variável dessa fórmula para melhor compreensão.

Figura 5 – 3Vs Big Data



Fonte: (CENTER FOR DATA SCIENCE, 2020)

- **Volume:** O primeiro V é o de volume, que se refere à quantidade de dados que são gerados e que são processados diariamente. Esses dados podem ser publicações em redes sociais, vídeos assistidos, pesquisas web, músicas, documentos, artigos, até mesmo curtidas. São quantidades expressivas que ultrapassam os zettabytes(unidade de memória). Um fator importante é que por mais que os bancos de dados comuns tenham avançado, ainda assim, não é possível armazenar e nem processar tais quantidades, um dos motivos é porque são dados não estruturados.
- **Velocidade:** refere-se à rapidez em que os dados são criados e também à capacidade de serem processados em tempo real. Para que se possa adquirir uma determinada informação e assim tomar uma decisão ou transformá-la em

conhecimento, os dados precisam ser processados paralelamente com a sua criação, somente assim essa informação poderá ser válida. Em frações de segundos, centenas de milhares de dados são produzidos, interferindo direta ou indiretamente no comércio, pois a partir do processamento desses dados em tempo real, é possível estabelecer a necessidade do cliente.

- **Variedade:** A diversidade dos dados é atribuída principalmente às redes sociais e aplicativos. Um exemplo é o *WhatsApp*, com áudios, textos, imagens, vídeos em um único aplicativo. E podem ser citados também outros geradores de informações, como o Twitter, Instagram, Facebook, meios que estão presentes no dia a dia da sociedade e que geram quantidades diversificadas de dados. Os bancos de dados relacionais, no entanto, não conseguem organizar tais dados sequencialmente em tabelas, em virtude da diversidade.

Para uma melhor compreensão sobre a variedade, os tipos de dados estão divididos em basicamente três grupos: estruturados, semi-estruturados e os não estruturados.

- **Estruturados:** São dados que estão organizados em tabelas com estrutura rígida projetada previamente, ou seja, cada campo de dados tem um formato bem definido. Bancos de dados sequenciados em tabelas são exemplos de dados estruturados.
- **Semi-estruturados:** Diferente dos estruturados, cada campo tem uma estrutura, mas não possui uma imposição de formato. Podem seguir diversos padrões, isto é, possuem uma estrutura flexível, com representação heterogênea, por esse motivo são os mais difíceis de serem identificados. Exemplos xml, json, rdf entre outros.
- **Não estruturados:** Dados com diversas fontes em que há mesclagem de áudio, texto, vídeos e imagens.
- **Veracidade:** Atualmente o termo *Fake News* tem sido constantemente utilizado, principalmente nas rede sociais. É um termo em inglês usado para referir-se a informações falsas divulgadas. Um dos pontos mais importantes de uma informação é que ela seja verdadeira, caso contrário, a tomada de decisão a partir dessa informação errônea trará prejuízos para a empresa. Por isso a veracidade é uma propriedade que define o *big data*. O conceito de velocidade descrito

anteriormente, está relacionado com a veracidade, pois é necessário que esses dados sejam analisados em tempo real para os mesmos agregarem valor ao processo.

- **Valor:** Uma das propriedades fundamentais do *big data* é o valor. É necessário que através dos dados analisados seja agregado valor às informações, assim como, sejam identificados quais os benefícios que aqueles dados podem trazer para a empresa. Ressalta-se, no entanto, que não são todas as informações que serão úteis para serem analisadas, primeiramente é preciso saber qual o interesse e o objetivo da empresa. Nesse contexto, vê-se a importância do papel desempenhado pelo profissional de dados, mais conhecido como analista de dados. Ele é o responsável por fazer as perguntas corretas que agregarão valor ao conhecimento gerado, tomando decisões corretas, e, assim, fazendo frente à concorrência no mercado.

Para obter resultados significativos nos processos industriais, é necessário que todos os dados gerados na indústria, como velocidade de produção, informações do funcionamento dos equipamentos, opiniões dos consumidores, e etc, sejam processados e analisados com o intuito de obter informações essenciais que colaborem com o processo de produção. Através da análise da opinião dos consumidores, por exemplo, uma indústria pode melhorar a produção de seu produto, ou deixar de produzi-lo. Por isso o *big data* também é importante na indústria. No tópico a seguir, discorre-se sobre a internet das coisas.

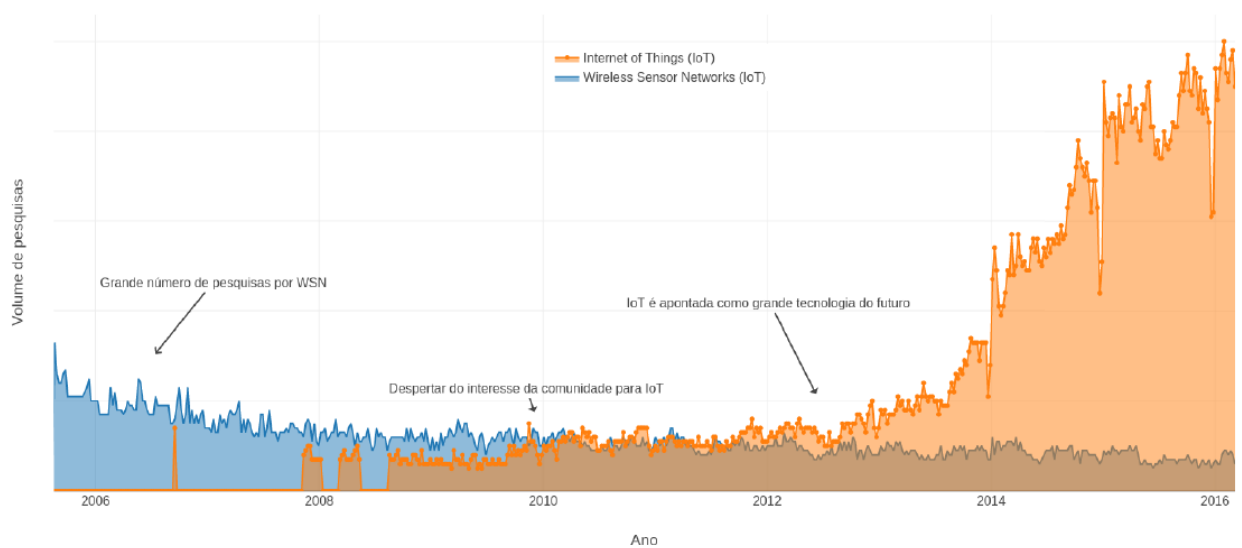
2.3 Internet das coisas

Com o avanço eminente da tecnologia, em todo mundo, pessoas estão conectadas, independente do lugar ou da hora. Além disso, esse avanço possibilitou que objetos também estivessem conectados. Essa conexão é nomeada como Internet das coisas e emergiu do avanço de áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento (SANTOS et al., 2016).

Do inglês, *Internet of Things (IoT)*, o termo internet das coisas, surgiu no ano de 1999, mas somente no ano de 2005 o interesse sobre o tema começou a ganhar proporção significativa, tanto na academia quanto na indústria, assim como as redes de sensores sem fio (do inglês *Wireless Sensor Networks* - WSN), como mostra a

figura 6. WSN é uma rede sem fio, composta por dispositivos autônomos, os quais utilizam sensores para monitorar condições físicas e ambientais. Essas redes trouxeram avanços para automação residencial e industrial, o que proporcionou o crescimento da IoT (KELLY et al., 2013; XU et al., 2014). As WSN não somente contribuíram para o avanço da IoT, mas também fazem parte dela.

Figura 6 – Volume de pesquisas no Google sobre Wireless Sensor Networks e Internet of Things



Fonte: (SANTOS et al., 2016)

Segundo Atzori et al. (2010), IoT é um paradigma que propõe um mundo de sistemas físicos embarcados com sensores e atuadores, conectados por redes sem fio, e que se comunicam usando a internet, moldando uma rede de objetos inteligentes capazes de realizar variados processamentos, de capturar variáveis ambientais e de reagir a estímulos externos. Ao pensar em objetos conectados entre si e conectados à Internet, torna-se possível imaginar a facilidade que esse meio proporciona para os dias atuais, são exemplos: carros autônomos, que se locomovem sem o auxílio de motorista devido a uma quantidade de sensores e da comunicação entre eles; casas inteligentes, que ao detectarem a temperatura ambiente podem automaticamente regular a temperatura da casa; melhorias no âmbito da saúde, com uso de dispositivos como relógios ou pulseiras que transmitem sinais vitais do usuário, entre outros. Mas não é somente para uso pessoal que a IoT se aplica. Ela está também presente na indústria.

Haller (2010) define IoT como um mundo onde objetos físicos estão integrados perfeitamente em uma rede de informação, e que os mesmos podem tornar-se participantes ativos no processo de negócio. Constitui-se uma realidade, máquinas estarem conectadas entre si, promovendo maior produção nas indústrias, consequentemente, gerando cada vez mais lucros. Com isso, a IoT tem se tornado indispensável para o progresso humano, pois combina a capacidade de sentir, de coletar, de transmitir, de analisar e de distribuir dados em grande escala (FREITAS, 2017).

A IoT é uma extensão da internet atual, que proporciona aos objetos, com capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à internet (SANTOS et al., 2016). Contudo, se faz necessária a compreensão de que modo esses objetos estão conectados, como é seu funcionamento e sua segurança. A seguir serão apresentados alguns desses aspectos para um melhor entendimento sobre IoT.

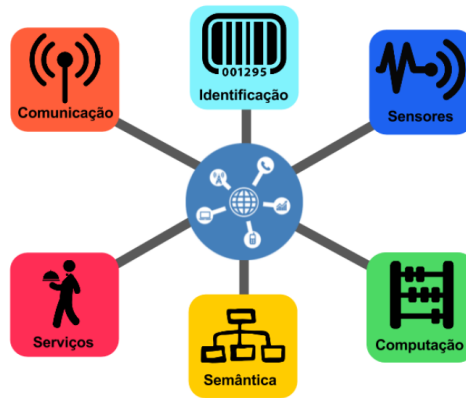
2.3.1 Blocos básicos de construção da IoT

A figura 7 apresenta os blocos básicos para a construção da IoT. Entender esses blocos, ajuda a obter uma compreensão do real significado e a funcionalidade dessa tecnologia. Segundo Al-Fuqaha et al. (2015), existem seis elementos principais necessários para fornecer funcionalidade à IoT. São atributos que, além de essenciais, definem IoT como sendo uma combinação de diversas tecnologias que tem o objetivo de viabilizar a integração dos objetos reais ao mundo virtual. Serão apresentados cada um deles.

- **Identificação:** A identificação é um dos elementos mais importantes da IoT, pois é crucial identificar os objetos unicamente e conectá-los à Internet. Os métodos de identificação são usados para fornecer uma identidade clara para cada objeto dentro da rede. São exemplos de métodos de identificação: endereçamentos IP, dentre os mais comuns e utilizados, IPV6 e IPV4.
- **Sensores:** Sensores ligados a IoT são responsáveis por coletar informações, ou seja, coletar dados de objetos relacionados na rede e enviá-los de volta para um armazém de dados (do inglês, *data warehouse*), ou um banco de dados e até mesmo a nuvem, para que a partir dessas informações coletadas, elas possam ser analisadas para executar ações específicas com base nos serviços necessários. Podem ser sensores inteligentes, atuadores ou dispositivos de

detecção vestíveis.

Figura 7 – Blocos Básicos da IoT



Fonte: (SANTOS et al., 2016)

- **Comunicação:** A comunicação refere-se às diversas técnicas usadas para conectar objetos inteligentes. Em outras palavras, as técnicas de comunicação da IoT conectam objetos heterogêneos para fornecer serviços inteligentes específicos, tendo como fator crítico o consumo de energia para evitar perdas e ruídos. Alguns exemplos de técnicas de comunicação: Wifi, Bluetooth, IEEE 802.15.4, entre outros.
- **Computação:** A computação da IoT é representada pelas unidades de processamentos como microcontroladores, microprocessadores, etc, e aplicativos de *software* que são considerados o cérebro da IoT. Várias plataformas de *hardware* foram desenvolvidas para executar essas aplicações, como é o caso do arduino. Plataformas como a nuvem também formam outra parte computacional importante da IoT.
- **Serviços:** De acordo com Xiaojang et al. (2010) e Gigli et al. (2011), os serviços de IoT podem ser classificados em quatro classes: a primeira são os Serviços relacionados à Identidade, considerados os serviços mais básicos e importantes. São responsáveis por mapear Entidades Físicas (EF) em Entidades Virtuais (EV). Os serviços de Agregação de Dados coletam e resumizam informações homogêneas/heterogêneas dos objetos inteligentes, para depois serem processadas e enviadas para as aplicações. Serviços de Colaboração e de Inteligência atuam juntamente com os Serviços de Agregação de Dados usando as informações obtidas para tomar decisões e para reagir adequadamente em determinadas

situações. Por fim, os Serviços de Ubiquidade, que tem por objetivo prover serviços de colaboração e de inteligência em qualquer momento e lugar que seja necessário.

A automação industrial é uma das ferramentas que se enquadra nos Serviços de Colaboração e Inteligência. A IoT é utilizada na automação industrial para controlar e para monitorar operações, funcionalidades e a taxa de produtividade das máquinas de produção através da Internet. Além disso, a IoT aumenta a produtividade analisando os dados de produção, o tempo e as causas dos problemas na produção (UNGUREAN et al., 2014; WANG et al., 2014).

- **Semântica:** A semântica refere-se à capacidade de extrair conhecimento de forma inteligente para fornecer os serviços necessários, incluindo o reconhecimento e a análise de dados para auxiliar na tomada de decisão correta, fornecendo o serviço exato (BARNAGHI et al., 2012). Para isso, algumas técnicas como: *Resource Description Framework (RDF)*, *Web Ontology Language (OWL)* e *Efficient XML Interchange (EXI)* podem ser utilizadas no emprego da semântica.

2.3.2 Segurança

Para a implementação e utilização de um sistema IoT, o usuário precisa sentir segurança de que esse sistema traz a segurança desejada, principalmente quando se trata da indústria. Mas para isso, é preciso estabelecer quais os objetivos de segurança se deseja. Segundo Shelby e Bormann (2011), existem pelo menos três grupos de objetivos desejáveis para segurança em IoT, são eles:

- **Confidencialidade:** Requisito no qual os dados transmitidos podem ser percebidos ou entendidos somente por elementos participantes da comunicação, ou seja, elementos que não possuem autorização sabem que houve uma comunicação mas não sabem o conteúdo da mesma.
- **Integridade:** Garante que os dados não poderão ser alterados por elementos que não possuam autorização. Para isso, medidas como criptografia de mensagens devem ser tomadas verificando-as no lado receptor, evitando que *hackers* adulterem mensagens, quebrando assim a integridade.
- **Disponibilidade:** A disponibilidade refere-se ao desejo de manter o sistema sempre disponível e seguro. Entretanto, as redes sem fio estão sujeitas a interferência

de comunicação, e ataques maliciosos podem se aproveitar dessa vulnerabilidade. Por isso, os sistemas IoT precisam ser capazes de identificar e tratar problemas como ataques *Denial of Services* (DoS).

Os requisitos de segurança para um sistema de IoT variam de aplicação para aplicação. Por esse motivo, deve-se analisar os objetivos desejáveis das aplicações para poder implementá-las de forma que propiciem segurança ao usuário.

Como se pode observar, a IoT traz vários benefícios para diversas áreas. No entanto, ainda há uma série de desafios a serem vencidos para impulsionar o crescimento dessa tecnologia. Zabadal e Castro (2017) apresentam os principais desafios da IoT, no qual ressaltam a alta heterogeneidade decorrente do emergente desenvolvimento de novas tecnologias.

2.4 Machine to machine

No mesmo âmbito da IoT, a comunicação máquina a máquina, do inglês *machine-to-machine* - M2M, constitui-se na capacidade de máquinas trocarem informações. Kim et al. (2013), refere-se ao termo *machine-to-machine* à comunicação entre máquinas sem a necessidade de intervenção humana. Os dados gerados através dessa comunicação contribuem para diversas aplicações, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Possíveis aplicações para M2M

Aplicação	Descrição
Segurança e Proteção	Controle de acesso físico, monitoramento de ambiente, sistema de vigilância
Utilities	Eletricidade, água, gás, medição
Cuidados com a saúde	Monitoramento de sinais vitais, diagnóstico remoto, telemedicina
Manutenção e Controle	Automação industrial, sensores, luz, bomba
Veicular	Informação de tráfego, diagnóstico remoto, gestão de frotas

Fonte: Kim et al. (2013)

Dentro das aplicações vistas acima, destaca-se para esse trabalho a automação industrial. Desse modo, as redes M2M são uma tecnologia que tem contribuído para o desenvolvimento e para inovação da indústria. Contudo, a M2M deixa a desejar no que se refere à manutenção de equipamentos. Embora os sensores e atuadores possam detectar possíveis erros e falhas, e propor uma ótima solução para a resolução do problema, o sistema depende do operador humano para tomar a decisão. O ideal seria que o próprio sistema, a partir do conhecimento da problemática, obtivesse a

solução e tomasse a decisão de executá-la.

Watson et al. (2004) definem M2M como a comunicação entre computadores, processadores embarcados, sensores inteligentes, atuadores e dispositivos móveis. Através desses recursos, é possível extrair informações sobre o meio em que estão inseridos, podendo assim, tomarem decisões sobre o ambiente que os cerca. O desenvolvimento tecnológico da comunicação M2M mudou completamente aplicações relacionadas à monitorização em tempo real, e uma das áreas afetadas positivamente foi a automação industrial (LU et al., 2011).

Apesar de se identificar com o conceito da IoT, *machine-to-machine* é um complemento da mesma, pois o crescimento da IoT depende muito da evolução da comunicação M2M. Em relação à rede de informações e os dispositivos inteligentes, para essa evolução, são necessárias condições mínimas de comunicação, como por exemplo: suportar a transmissão de dispositivos em massa; possuir alta confiabilidade; pouco consumo de energia; baixa mobilidade; monitoração e segurança (AZEVEDO, 2017).

2.4.1 Arquitetura M2M

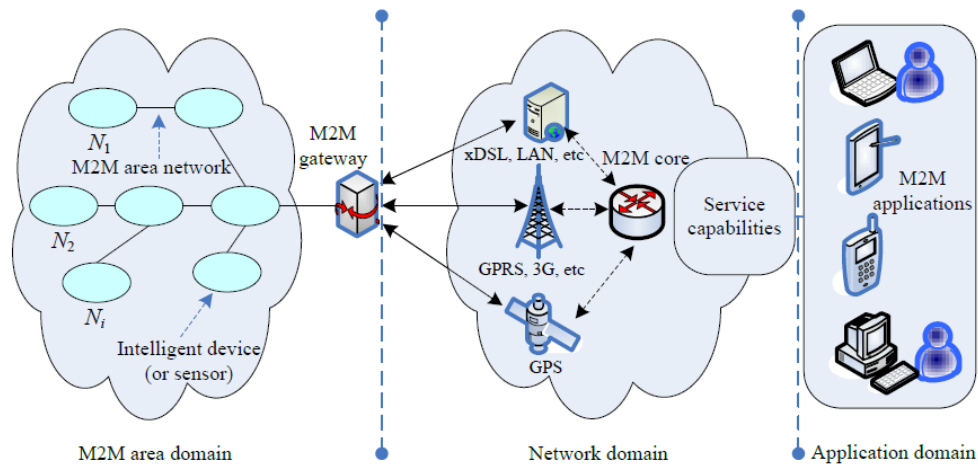
De acordo com Chen et al. (2012), o ETSI - Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicação (do inglês, *European Telecommunications Standards Institute*), responsável por elaborar padrões para as tecnologias da informação e da comunicação (TIC), define uma rede M2M como uma estrutura de cinco partes, são elas:

1. Dispositivos - geralmente incorporados a um dispositivo inteligente, respondem solicitações ou enviam dados.
2. *Gateway* - este atua como entrada para outra rede. Ele organiza a troca de informações entre um equipamento e a internet.
3. Rede de área M2M - esta fornece conexão entre todos os tipos de dispositivos inteligentes (ou sensores) e *gateways*.
4. As redes de comunicação alcançam conexões entre *gateways* e aplicativos.
5. Aplicativo - passa dados por vários serviços de aplicativos e é usado pelos mecanismos específicos de processamento de negócios.

Lu et al. (2011), Tekbiyik e Uysal-Biyikoglu (2011) resumem essa estrutura de cinco partes propostas pelo ETSI e estabelecem três domínios interligados, são eles:

domínio de área M2M , formado por uma rede de área M2M e *gateway* M2M; domínio de rede de comunicação, que consiste em todas as redes com/sem fio e domínio de aplicativos. Esses domínios estão melhores representados na figura 8.

Figura 8 – Domínios da arquitetura M2M



Fonte: (CHEN et al., 2012)

A estrutura apresentada acima é apenas um dos diversos padrões desenvolvidos para garantir a comunicação M2M com fiabilidade e com segurança.

2.5 Sistemas ciber-físicos

O conceito de Sistemas Ciber-físicos, do inglês *Cyber-Physical Systems* CPS, teve sua origem no ano de 2006 nos Estados Unidos da América (EUA), e foi apresentado pela pesquisadora Helen Gill, do *National Science Foundation* (NSF) (WAN; ALAGAR, 2014). Desde então, pesquisas e implementações relacionadas aos CPS vêm aumentando cada vez mais, principalmente com a inclusão da internet na sua estrutura. Atualmente, os Sistemas Ciber-físicos estão presentes no cotidiano de quase todas as pessoas, como, por exemplo, em controles e em segurança de tráfego, sistemas automotivos, sistemas de comunicação, entre outros.

Os CPS integram as áreas de computação, de comunicação e de controle de sistemas, como mostrado na figura 9. Nessa mesma perspectiva, WINTER (2017) define tais sistemas como sistemas computacionais e colaborativos nos quais as operações são monitoradas, controladas e integradas por núcleos de comunicação e de computação. Coelho (2016) também conceitua CPS, nessa mesma linha, como sendo

sistemas que integram computação, redes de comunicação, computadores embutidos e processos físicos interagindo entre si e influenciando-se mutuamente.

Figura 9 – Estrutura das disciplinas que integram o Sistema Ciber-físico



Fonte: (MORAES et al., 2013)

2.5.1 CPS vs sistemas embarcados

Para entender a diferença ou a semelhança entre um Sistema Ciber-físico e um sistema embarcado, é necessário primeiro a compreensão da definição de um sistema embarcado. Do inglês, *Embedded Systems* são sistemas dedicados exclusivamente a uma única tarefa que interage continuamente com o ambiente em sua volta por meio de sensores e de atuadores (BALL, 2002). A partir deste conceito, e da definição dos CPS feita anteriormente, pode-se concluir que são semelhantes mas existem diferenças significativas entre eles.

Coelho (2016), de forma genérica, apresenta a seguinte fórmula:

$$\text{Cyber Physical Systems} = \text{Embedded Systems} + \text{Ambiente físico}$$

De acordo com Poovendran (2010), a principal diferença entre um CPS e um sistema de controle regular ou um sistema embarcado é o uso das comunicações, que acrescentam configurabilidade e escalabilidade. E apesar de ambos utilizarem sensores e atuadores, os CPS possuem mais recursos e restrições de desempenho significativamente menores do que os sistemas embarcados. Os sistemas embarcados tradicionais são projetados como dispositivos autônomos, já os CPS têm o foco na rede de vários dispositivos.

2.5.2 CPS na indústria

Pode-se questionar o modo como os sistemas Ciber-físicos podem contribuir para o aumento ou para o auxílio na produção em uma indústria. Para responder este questionamento, alguns autores estabelecem, no conceito de CPS, uma ligação direta com o processo produtivo. Lee (2008) define *Cyber Physical Systems* como um ambiente de sistemas integrados com sensores inteligentes que podem se autoajustarem, ou se configurarem automaticamente.

Ainda no âmbito produtivo, Wright (2014) caracteriza CPS por uma intensa comunicação entre máquinas, sensores e computadores, em que os dados obtidos pelos sensores são repassados aos computadores em tempo real, monitorando todos os processos. É nesse fluxo de dados, nessa troca de informações, que é estabelecida a integração entre o físico e o virtual. A partir disso, processos podem ser reorganizados sem a intervenção humana por meio de algoritmos de tomadas de decisão. Desse modo, é possível manipular a linha de produção remotamente, realocando os serviços de maneira rápida e eficaz (SAKURAI et al., 2016).

Para Schuh et al. (2014), o principal objetivo dos Sistemas Ciber-físicos na produção, é criar uma grande malha de controle para todos os subsistemas, que permita ao usuário controlar um processo de produção industrial altamente complexo, sem o gerenciamento de cada subsistema. Isso possibilita uma produção eficiente e veloz, auxiliando a indústria a passar por determinadas situações anormais, caso ocorram.

2.5.3 Segurança de um CPS

Um CPS tem a segurança como um fator crítico, e por esse motivo ela deve ser fiável. A fiabilidade é a probabilidade do sistema não falhar e ela engloba os seguintes aspectos (MARWEDEL, 2017; HU et al., 2012):

- **Manutenção:** É a probabilidade de que a falha do sistema seja solucionada em um intervalo de tempo definido.
- **Disponibilidade:** É a probabilidade do sistema estar disponível. Para que isso ocorra, a fiabilidade e a manutenção devem ser fatores prioritários.
- **Segurança física:** É a propriedade de o sistema não causar nenhum dano ao

ambiente em que está inserido.

- **Segurança lógica:** É a propriedade de que a comunicação seja garantida e os dados permaneçam confidenciais.
- **Restrições de tempo real:** O sistema deve processar informações dentro de um determinado intervalo de tempo, caso isso não ocorra, a fiabilidade e a segurança do sistema estarão perdidas.

A segurança desses sistemas deve ser levada em consideração, pois tais sistemas estão diretamente ligados ao meio físico e têm um impacto imediato sobre o ambiente e o cotidiano das pessoas.

2.5.4 Aplicações CPS

Os setores mais beneficiados com o desenvolvimento de pesquisas em CPS são: saúde, automotivo, redes inteligentes de energia e aeroespacial (PARK et al., 2012).

- **Saúde:** Muito se ouve falar de dispositivos sendo desenvolvidos para o monitoramento de pacientes com a idade avançada, com sensores de gravidade, caso haja alguma queda do paciente, para medir pressão arterial, para verificar glicemia, dentre outros, assim como há salas inteligentes de operações, de cirurgias guiadas por imagens etc. São algumas das tecnologias desenvolvidas com a utilização de CPS.
- **Automotivo:** Uma das aplicações de segurança de maior impacto no cotidiano das pessoas. O maior interesse está no desenvolvimento de tecnologias com elevado grau de reatividade em função dos estímulos do ambiente, reduzindo a interferência direta do motorista.
- **Redes inteligentes de energia:** É um tema que desperta o interesse público como sendo uma possível solução para o crescente aumento da demanda da energia elétrica, juntamente com as fontes renováveis de energia. Com o auxílio de controle de tempo real em redes interligadas, pode-se oferecer redes de distribuição mais confiáveis e robustas.
- **Aeroespacial:** Inclusão de novas funcionalidades, objetivando a obtenção de maior capacidade, segurança e eficiência das aeronaves.

Muitas outras aplicações podem ser desenvolvidas a partir de pesquisas

relacionadas aos CPS em diversas áreas, na busca constante de facilitar e de melhorar a indústria, a saúde, o trânsito, o comércio, a educação, a segurança e, de modo geral, a vida do homem.

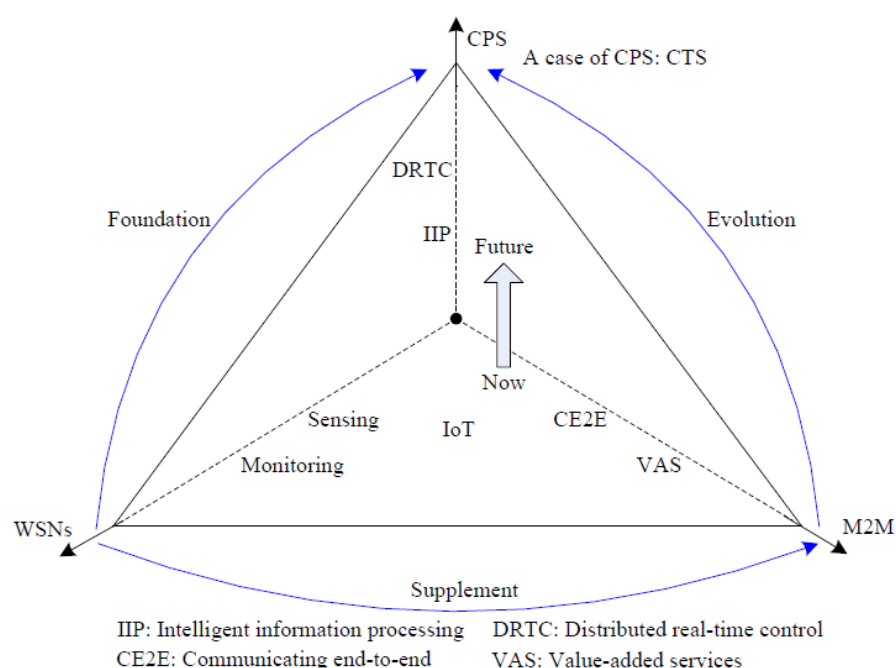
Uma outra tecnologia aqui não relatada são as *Wireless Sensor Network* - WSNs, ou seja, as redes de sensores sem fio. Fazendo um breve resumo, são sensores autônomos responsáveis por monitorar condições físicas ou ambientais, transmitindo os dados coletados para um local principal.

As WSNs, IoT, Comunicação M2M e CPS estão intrinsecamente conectadas. Chen et al. (2012) apresentam as seguintes características sobre esses relacionamentos:

- WSNs, M2M e CPS pertencem à IoT;
- As WSNs juntamente com M2M são a base dos CPS;
- Os CPS são uma evolução do M2M no processamento inteligente de informações;
- M2M é o principal padrão da IoT no estágio atual;
- Os CPS serão uma forma técnica importante para IoT no futuro.

A figura 10 é uma representação das características citadas acima, trazendo uma correlação entre essas tecnologias. O espaço formado pelos três eixos WSNs, M2M e CPS representa a IoT.

Figura 10 – Correlação entre M2M, WSNs, CPS e IoT



Fonte: (CHEN et al., 2012)

3 TRABALHOS RELACIONADOS

O tema Indústria 4.0 tem alavancado um grande número de pesquisas nos últimos anos, não somente para o setor industrial, mas também a academia tem dado relevante importância para o assunto. Não diferente das três anteriores revoluções industriais iniciadas na Europa e aos poucos se expandiram pelo mundo. A quarta revolução teve seu início na Alemanha e a passos lentos vem chegando ao Brasil, consistindo, pois, a principal motivação desta pesquisa. Neste capítulo, serão abordados trabalhos e pesquisas nacionais e internacionais, que contribuirão para o desenvolvimento dessa dissertação, apresentando pequenos resumos, objetivos e a relação com o tema estudado.

Em Xu et al. (2018), o artigo intitulado *The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges* engloba características das quatro revoluções industriais, apresentando também as oportunidades e os desafios proporcionados pela Indústria 4.0. O autor apresenta três razões para a promulgação da terceira revolução industrial e o surgimento da quarta e distinta revolução: a velocidade, o escopo e o impacto nos sistemas. Dentre as oportunidades apresentadas no trabalho estão: barreiras mais baixas entre desenvolvedores e mercado, papel mais ativo da inteligência artificial, integração de diferentes técnicas e domínios, melhoria na qualidade de vida e a vida conectada. Já os desafios relatados são três: desigualdade de renda, ciber-segurança e dilemas éticos. O artigo tem como objetivo fazer uma análise de todo o contexto que envolve a Indústria 4.0.

Em *Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades* de Santos et al. (2018), a pesquisa objetiva descrever os componentes da Indústria 4.0 e os desafios de sua implementação. O autor apresenta as seguintes tecnologias que compõem a visão da quarta revolução industrial: fabricação de aditivos, conhecido como impressão 3D, Realidade Aumentada (RA), e Radio Frequency Identification (RFID). Esses componentes já estão sendo implementados por grandes organizações, como a Siemens, Bosch e Faurecia. Os desafios relatados no trabalho são questões como: padronização, que é apontada como um dos desafios mais importantes; segurança e proteção digital; capacidade cognitiva e as novas formas de trabalho. São desafios que precisam ser melhor estudados, a fim de favorecer a implantação desse novo ambiente industrial.

No trabalho intitulado *Service innovation and smart analytics for Industry 4.0*

and big data environment (LEE et al., 2014), os autores entendem a quarta revolução industrial como sendo máquinas com unidades colaborativas, ou seja, uma fábrica em que as máquinas estão a se comunicar. Para que essa evolução seja possível, eles estabelecem a necessidade de ferramentas que, além de promoverem a comunicação entre as máquinas como inovações na manufatura e serviços baseados em sistemas ciber-físicos, também gerenciam os dados gerados por essa comunicação para o auxílio na tomada de decisão. O trabalho propõe tendências de transformação de serviços de produção em ambiente de *big data*, apresentando ferramentas inteligentes para gerenciar *big data* e obter transparência e produtividade.

No artigo *Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook* (WANG et al., 2016), são apresentados os pilares da Indústria 4.0, com enfoque especial em três integrações, são elas: a integração horizontal, sendo basicamente a colaboração entre empresas; integração vertical, que considera sistemas hierárquicos dentro da fábrica e cria assim, um sistema de fabricação flexível e reconfigurável; e por fim, a integração *end-to-end*, que dá suporte à personalização do produto. Os autores consideram a implementação dessas integrações na fábrica, essenciais para tornar realidade a quarta revolução industrial. Também é proposto no trabalho um *framework* que faz a utilização de tecnologias como rede sem fio industrial, computação em nuvem, *big data* e terminais inteligentes. É um sistema auto-organizado que fornece *feedback* e coordenação. Sendo que são obtidos os resultados a partir da implementação desse sistema e, por fim, são mostrados os principais desafios técnicos existentes, sugerindo possíveis soluções.

Em *A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems* (LEE et al., 2015), os autores partem do princípio de que os avanços da indústria tem contribuído para a implantação sistemática de sistemas ciber-físicos. Esses sistemas são considerados uma tendência que está mudando a indústria de transformação para a próxima geração. Ademais, com a implementação da Indústria 4.0, as máquinas poderão ter um desempenho mais eficiente, colaborativo e resiliente. Além de propor uma definição para sistemas ciber-físicos, o trabalho também estabelece uma arquitetura unificada de cinco níveis como diretriz para a implementação do CPS.

O artigo *Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of*

energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm (SHROUF et al., 2014) é um estudo relacionado às fábricas inteligentes. Com o foco na perspectiva da sustentabilidade, o trabalho propõe uma arquitetura de referência para as fábricas inteligentes, baseada em Internet das Coisas, para o gerenciamento de energia da fábrica, fornecendo a partir da linha de produção, o consumo *on-line* e em tempo real para qualquer dispositivo.

Azevedo (2017), em *Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil*, constitui-se uma pesquisa no âmbito da Indústria 4.0 que aborda vários pilares dessa quarta revolução industrial, como M2M, IoT, CPS, e outras tecnologias que contribuem para a implantação de fábricas inteligentes, além de apresentar como está o cenário do Brasil frente a essa nova realidade. O diferencial desse trabalho é o estudo abordado na indústria de *Utilities*, ou seja, indústrias dos setores de produção, transporte, distribuição e comercialização de energia e água, que por sua vez, é um dos principais setores que utilizam IoT. É uma pesquisa voltada para um tema ligado a aspectos ambientalistas, no caso específico, ao consumo racional da água. Para isso, o principal objetivo do trabalho é propor uma plataforma de transformação digital, a fim de alcançar uma gestão eficiente dos recursos atrelados à problemática da água.

Na primeira etapa do trabalho, o autor realiza uma pesquisa em forma de questionário direcionado às indústrias da região metropolitana de Campinas/SP, servindo como um meio de traçar o nível de conhecimento, aderência e perfil profissional desejados pelas empresas inseridas no contexto da transformação digital. Também foi realizada uma tabulação dos dados apresentando-os graficamente. O questionário foi realizado de forma presencial com 34 executivos de empresas de capital nacional e internacional. Segundo o trabalho, os objetivos propostos com a aplicação do questionário foram alcançados.

No que diz respeito à aplicação da segunda etapa da pesquisa de Azevedo (2017), esta se deu no campus da Universidade de São Paulo (USP), a partir de projetos já existentes tirados como base para a definição de uma nova plataforma para a gestão eficiente e para o uso racional da água. Antes, a arquitetura utilizada para o tratamento da água era a arquitetura clássica composta por 5 camadas em forma piramidal. O trabalho propõe um novo modelo de arquitetura, utilizando tecnologias

habilitadoras para promover a transformação digital. Foi utilizado o FIWARE, que é um ecossistema de inovação *opensource* composto de 3 camadas, não mais piramidal, mas sim colaborativa, que disponibiliza as funcionalidades e as propriedades necessárias para o desenvolvimento de soluções e de aplicações na nuvem.

De acordo com o trabalho, os resultados obtidos com a aplicação da nova arquitetura de três camadas foram satisfatórios, apesar de ter sido apenas um experimento para a comparação entre as duas arquiteturas, destacando-se as seguintes melhorias: tomada de decisão automatizada; a utilização de históricos para a tomada de decisão; previsão de necessidades; e integração com outras fontes de dados. No trabalho aqui referenciado, são apresentadas outras melhorias relevantes no contexto da transformação digital. Porém, algumas preocupações também surgiram, entre elas destacam-se questões de *safety* e *security*. À vista disso, o autor propõe solução a essas questões em trabalhos futuros.

Coelho (2016), no trabalho intitulado *Rumo a Indústria 4.0*, apresenta um estudo de implementação de ferramentas tecnológicas e estratégias na fábrica SRAM-PORT, com o intuito de alavancar a produção e de reduzir custos. O autor se refere ao termo Indústria 4.0 não como uma definição, mas sim como uma visão em constante evolução, à medida em que tecnologias facilitadoras vão surgindo. A pesquisa é dividida em duas partes, a primeira alude vertentes e pilares que caracterizam a Indústria 4.0, como *Big Data*, Computação em Nuvem, Sistemas Ciber-físicos, dentre outros. A segunda parte é um estudo de como são realizados determinados processos na indústria SRAMPORT implementando estratégias vanguardistas de inovação.

Sobre a SRAMPORT, localiza-se na cidade de Coimbra em Portugal e faz parte do grupo SRAM desde 1998, com sede em Chicago nos EUA. Essa fábrica é responsável por produzir e por exportar correntes de transmissão para veículos de duas rodas e correntes de distribuição para automóveis. O trabalho enfatiza duas vertentes, a primeira é uma das ferramentas tecnológicas mais importantes implementada na SRAMPORT, a fábrica virtual. Com a virtualização do chão da fábrica, foi criado um CPS que possibilitou ver e analisar em tempo real informações sobre máquinas, operadores e produtos. A segunda vertente é a digitalização das linhas de produção da montagem, em que é proposta a automatização de alguns processos até então manuais, garantindo rastreabilidade, qualidade, prazo de entrega e satisfação do cliente.

De acordo com o trabalho, os resultados apresentados com a implementação da automatização dos processos foram satisfatórios. Antes, as informações da rastreabilidade eram colhidas manualmente através de um documento gerido internamente pelo planejamento e não diretamente pela linha de produção. Com a aplicação do sistema, obteve-se as seguintes melhorias:

- Maior eficiência do departamento de planejamento, pois algumas atividades foram transferidas para as linhas de produção;
- Inventário em tempo real e por lote;
- Rastreabilidade simplificada com maior disponibilidade através do sistema, antes era procura em papel;
- Códigos de barras e validação nas linhas reduziu os erros de associação de lotes errados.

O controle de qualidade, formado pelos cálculos de média e amplitude, era realizado manualmente. Por ser um dos critérios de maior importância da SRAMPORT, foi automatizado. Agora esse processo é calculado em tempo real pelo sistema, conta com a geração de gráficos, com isso, obteve as seguintes melhorias:

- Eliminação de erros de leitura, pois os equipamentos de medição se comunicam direto com o computador;
- Redução dos erros dos cálculos e de representação;
- Redução de custos de não qualidade devido à possibilidade de detectar de forma antecipada os desvios.

Em suas considerações, o autor declara que a SRAMPORT ainda não é uma fábrica inteligente, para isso, seriam necessários que processos realizados por operadores, fossem executados por máquinas inteligentes. Somente assim, a fábrica estaria no âmbito da quarta revolução industrial. No trabalho, são apresentadas algumas melhorias que ainda podem ser feitas para que a SRAMPORT possa estar na visão da Indústria 4.0.

No trabalho de Kuteken (2017), com o título *Desenvolvimento de um software para a simulação de centros de distribuição*, o autor propõe o desenvolvimento de um software que permite a construção de modelos de centros de distribuição reais para realizar simulações. Primeiro, o autor faz um levantamento de uma lista de funcionalidades que o software deveria possuir a partir de outros softwares já existentes

no mercado. Em seguida, por meio de um questionário ao cliente, foi possível priorizar as funcionalidades que seriam implementadas. Já com o software desenvolvido, foram realizadas duas simulações apresentadas como resultados, que permitiram validar as funcionalidades do sistema e a coleta de dados estatísticos importantes.

Junior (2014), no trabalho intitulado, *Desenvolvimento de uma plataforma para aplicação de mobilidade na manutenção de processos de automação*, propõe uma ferramenta que gerencie um parque industrial, ajudando controladores e técnicos de manutenção industrial a identificar possíveis problemas e falhas nos processos produtivos, por meio de alarmes configuráveis e notificações. A ferramenta é dividida em web e móvel, e utiliza tecnologias como ANDROID, sistema SCADA, CLP e protocolo de comunicação MODBUS.

Tabela 2 – Tabela comparativa

Trabalhos	Descrição	Diferença da API proposta
Azevedo (2017)	Plataforma para gerenciar o consumo de água na USP	O autor propõe uma outra arquitetura para tratamento de água. Já a API é uma camada de comunicação para equipamentos industriais.
Coelho (2016)	Informatização de processos manuais para gerir melhor dados gerados na produção da fábrica SRAMPORT e virtualização do chão de fábrica.	Não automatiza o equipamento apenas o processo de produção. A API, além de automatizar o processo também deixa o equipamento autônomo.
Kuteken (2017)	Desenvolvimento de um simulador de centro de distribuição.	Não está relacionado ao estado do equipamento e sim na distribuição de produtos.
Junior (2014)	Desenvolvimento de uma ferramenta WEB e Móvel para gerenciamento de um parque industrial.	Não gerencia o equipamento, apenas os dados que o mesmo gera.

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 2 é um comparativo dos últimos quatro trabalhos apresentados neste capítulo, que foram utilizados como referência para a implementação deste trabalho, pois também desenvolveram aplicações semelhantes. Os demais trabalhos aqui referenciados, tratam de conceitos da Indústria 4.0, não possuindo a finalidade de comparação com o trabalho aqui desenvolvido. A tabela é composta por três colunas, a primeira coluna, são os trabalhos relacionados, a segunda coluna apresenta o estudo

que foi feito em cada um e, na terceira e última coluna, a diferença deles para a API proposta.

4 METODOLOGIA

De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa pode ser de caráter descritivo e ou explicativo. Segundo o autor, as pesquisas de natureza descritiva são as que, habitualmente, os pesquisadores atuam na prática, por exemplo, pesquisas de campo, pesquisas de desenvolvimento, etc. A presente pesquisa objetiva apresentar um recurso para Indústria 4.0, através do desenvolvimento de uma API para gerenciamento de equipamentos industriais e de um simulador de esteira transportadora utilizado para validação da API. Logo, será utilizado o método descritivo.

O desenvolvimento do trabalho se dá a partir das especificações pré-estabelecidas para a API, para o simulador da esteira transportadora e para o protocolo de comunicação para agir entre a API e o simulador. Neste capítulo, serão apresentadas essas especificações, principalmente ressaltando as tecnologias utilizadas para atingir o objetivo proposto, detalhando os requisitos funcionais, não-funcionais e a modelagem do sistema através do diagrama de casos de uso e diagrama de classe.

4.1 Esteira transportadora

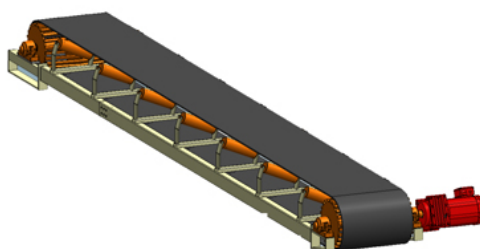
Para validar a API proposta, foi escolhido um equipamento industrial. O equipamento especificado é a esteira transportadora, conhecida também como transportadores de correia. Essas máquinas são utilizadas no deslocamento de matérias-primas, de produtos, dentre outros. Dentre as motivações para a escolha da esteira, destaca-se a presença desse equipamento em praticamente todas as indústrias que utilizam o serviço de transporte de materiais, baixo custo operacional e principalmente por serem equipamentos considerados fáceis de serem automatizados (NOGUEIRA, 2004). A Figura 11, é a representação de um modelo de esteira transportadora.

4.2 Simulador

Para a validação do uso da API em escala industrial, é necessário que primeiro sejam realizados testes com simuladores de equipamentos industriais. Os simuladores atualmente disponíveis, no entanto, não oferecem recursos necessários para essa validação, além de não poderem ser customizados. Além de serem software não gratuitos, são simuladores que não permitem alteração de parâmetros e nem

manipulação de velocidade, rotação, temperatura e umidade. Esses requisitos são imprescindíveis para prever possíveis erros nos equipamentos industriais, como, por exemplo, a percepção de que a temperatura do equipamento está muito acima da temperatura normal, possibilitando assim que o operador desligue o equipamento em resposta a essa situação.

Figura 11 – Esteira Transportadora



Fonte: (RG MAQ, 2020)

Existem muitos simuladores já desenvolvidos para a automação industrial, os quais apresentam limitações quando se trata de uma simulação que necessita de dados como temperatura e umidade, através de sensores e do controle de velocidade. Dentre os software pesquisados, destacam-se: Factory IO (FACTORY IO COMPANY, 2020) , AnyLogic (THE ANYLOGIC COMPANY, 2020) , FlexSim (FLEXSIM SOFTWARE PRODUCTS, 2020) e Simcad (CREATE A SOFT, 2020) . A tabela 3, apresenta as principais características dos simuladores citados.

Para a validação da tabela 3, foi utilizada a versão teste do Factory IO. Foi realizada a simulação da esteira transportadora utilizando programação em PLC no CodeSys, juntamente com um servidor local para estabelecer a conexão com o simulador. Também foi utilizado como auxílio na simulação o software Elipse SCADA, recurso responsável por controlar o equipamento industrial, e também utilizado no desenvolvimento de sistemas para indústrias, tendo como uma de suas principais características a apresentação de dados do processo em geral.

No teste realizado com o Factory IO, foi possível implementar sensores apenas de detecção de presença, para realizar a contagem das caixas na esteira transportadora. Visualmente é um excelente simulador, permitindo a simulação do chão de fábrica com diferentes tipos de processos. Possui, no entanto, limitadores sobre o equipamento industrial, como a impossibilidade de alterar a velocidade da

Tabela 3 – Funcionalidades de Software de Simulação

	AnyLogic	FlexSim	Simcad	FactoryIO
Edição de layouts	X	X	X	X
Importação de layouts (CAD)	X	X	X	X
Representação gráfica em 2D	X	X	X	X
Representação gráfica em 3D	X	X	X	X
Importação de arquivos externos (modelos 3D, imagens)	X	X		X
Geração de vídeos de simulações		X		X
Funcionamento em múltiplos sistemas operacionais	X			

Fonte: (KUTEKEN, 2017) - Adaptado pelo autor

esteira, e a não capacidade de prever possíveis erros do equipamento. Não foram realizados testes com os demais simuladores, pois, de acordo com (KUTEKEN, 2017), apresentam características semelhantes ao Factory IO.

Como não foram encontrados simuladores que atendessem aos requisitos da API, propôs-se, então, o desenvolvimento de um simulador que representasse equipamentos industriais, sendo o primeiro caso implementado, o de uma esteira transportadora. O simulador aqui proposto é uma alternativa para a validação da API, disponibilizando os recursos necessários para a realização de testes. Além disso, por ser de código livre, poderá ser customizado e adaptado para futuros desenvolvimentos no âmbito acadêmico.

Por fim, a proposta de desenvolvimento do simulador da esteira transportadora é modelar situações do cotidiano, que possam ser implementadas no equipamento real para otimizar processos, gastos e tempo. O simulador desenvolvido nesse trabalho é capaz de apresentar dados relevantes da esteira, assim como manipular a velocidade e a rotação da mesma. Sensores de temperatura e umidade também são implementados no simulador, para controle e para a prevenção de defeitos no equipamento.

4.3 Requisitos

De acordo com Sommerville (2003), requisitos de software, são um conjunto de atividades que o software precisa desempenhar, com suas limitações e restrições, incluindo também características não ligadas às funções do software. Ainda segundo o autor, os requisitos funcionais referem-se às funções que o sistema deve fornecer. Já os requisitos não-funcionais, podem ser descritos como atributos de qualidade, de desempenho, de segurança ou como uma restrição geral do software (PRESS-MAN; MAXIM, 2016). Para o desenvolvimento da API e do simulador, foram definidos requisitos funcionais e não funcionais.

4.3.1 Requisitos funcionais da API

Foram definidos os seguintes requisitos funcionais para a API:

- Estabelecer conexão a um determinado equipamento industrial e/ou a um simulador.
- Apresentar o estado do equipamento.
- Salvar em um banco de dados as informações do equipamento.
- Operar o equipamento industrial (ligar, desligar, velocidade, rotação).
- Apresentar relatórios dos dados gerados pelo equipamento e pela API.

4.3.2 Requisitos não-funcionais da API

Os requisitos não funcionais da API são os seguintes:

- A API deve ser multiplataforma.
- Deverá se comunicar com um banco SQL.
- A API deverá se comunicar com simuladores e/ou esteiras transportadoras no chão de fábrica.
- Bom desempenho (execução sem interferência).

4.3.3 Requisitos funcionais do simulador

Os requisitos funcionais definidos para o simulador da esteira transportadora são os seguintes:

- Adicionar/Remover esteira.

- Gerenciar velocidade da esteira.
- Gerenciar rotação da esteira.
- Adicionar/Remover sensores (temperatura, umidade).

4.3.4 Requisitos não-funcionais do simulador

Como requisitos não funcionais do simulador da esteira transportadora foram definidos:

- O simulador deverá ser multiplataforma.
- Visualização 2D.
- Poderá ser utilizado off-line.
- Deverá se comunicar com API, enviando informações da esteira, para que a API possa gerenciá-la.
- Velocidade será medida em m/s.

4.4 Diagrama de caso de uso

Segundo Pressman e Maxim (2016), um caso de uso tem como objetivo descrever como um usuário irá interagir com o sistema, estabelecendo os passos necessários para atingir o objetivo específico. Para a representação do caso de uso, é utilizado Linguagem de Modelagem Unificada ou Unified Modeling Language (UML) para criar o diagrama. O diagrama é uma visão geral de todo o sistema, e como o usuário interage com eles. Os cenários da API e do simulador estão representados pelo apêndice A.

4.5 Diagrama de classe

Os diagramas de classe são utilizados no desenvolvimento de um modelo de sistema, orientado a objetos para expor as classes e a associação entre as elas no sistema (SOMMERVILLE, 2003). Com a utilização da programação orientada a objeto, achou-se necessário apresentar diagrama de classe, através da linguagem UML. Cada classe da API, e do simulador da esteira transportadora, é apresentada no apêndice B.

4.6 Mqtt broker

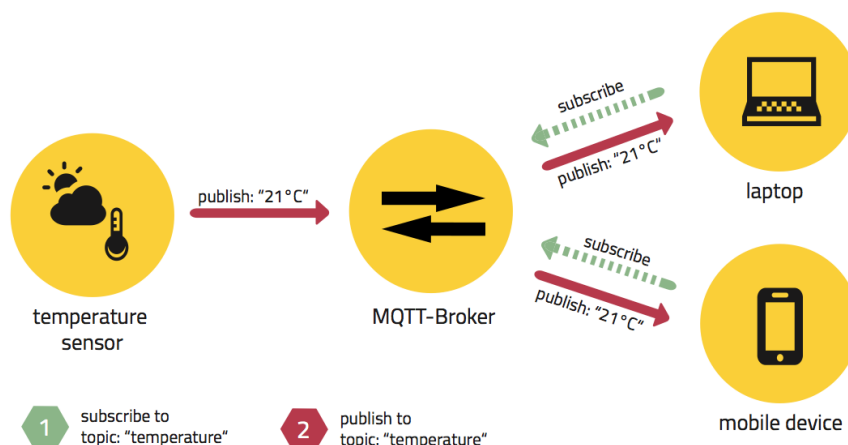
Para estabelecer a comunicação entre a API e o simulador da esteira, é necessário um protocolo de comunicação. Atualmente, com o avanço da IoT, muitas formas de comunicação e de protocolos têm surgido, permitindo conexões mais leves e mais rápidas (ENGPROCESS, 2018). Nesse trabalho, para a comunicação entre a API e o simulador da esteira, foi utilizado o protocolo de comunicação Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), que é baseado no protocolo da internet TCP/IP. Já o broker é um intermediário desta comunicação atuando como um tipo de servidor.

4.6.1 Mqtt

Ressaltando, MQTT é um protocolo de mensagens entre máquinas, principalmente utilizado no âmbito da IoT, pois possibilita que várias máquinas e vários sensores possam estar conectados ao mesmo tempo (ENGPROCESS, 2018). Outra vantagem da utilização desse protocolo é a segurança, pois além de ser de domínio público é de fácil implementação.

A figura 12 mostra como funciona o MQTT, de forma geral, a mensagem é enviada ao broker, podendo ser lida/entendida através de diversos aparelhos simultâneos.

Figura 12 – Mqtt Broker



Fonte: (CHRISTIAN GÖTZ, 2020)

Algumas nomenclaturas utilizadas pelo protocolo se fazem necessárias para o entendimento:

- **Publisher/Publicador:** Conhecido como o emissor da mensagem, ou seja, quem envia.
- **Subscriber/Subscrito:** São os que estão inscritos para receber a mensagem que foi enviada, conhecido como receptor.

4.6.2 Broker

Apesar da nomenclatura estar associada ao mercado imobiliário como corretor, a função do broker na tecnologia, especialmente na área da comunicação e de protocolos, é bastante similar. É o responsável por gerir as publicações e as subscrições, do protocolo MQTT, que atua na forma de publicação/assinatura, ou seja, é o responsável diretamente pelo estabelecimento da comunicação (ENGPROCESS, 2018).

Existem diversos tipos de broker, tanto públicos como privados. O escolhido para o projeto foi o Mosca (COLLINA, 2013), pois além de atender aos requisitos necessários, é de fácil implementação e de código livre.

4.7 Arquitetura rest

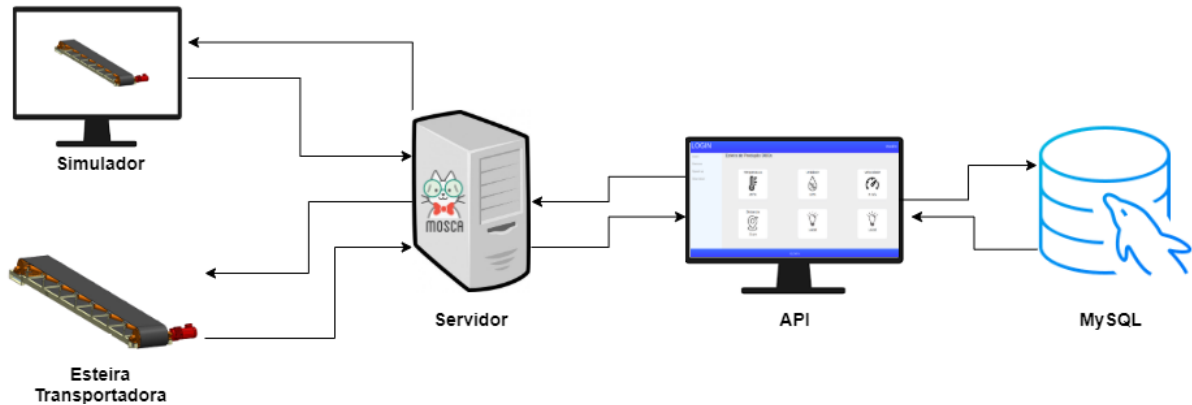
A principal funcionalidade dos sistemas aqui desenvolvidos é a comunicação, ou seja, a API precisa se comunicar com o banco de dados, e com a esteira transportado, e o simulador se comunica com os sensores. Para projetar essa comunicação foi escolhida a arquitetura Representational State Transfer (REST), do português Transferência de Estado Representacional, que contempla um conjunto de definições necessárias para criação de um sistema, e que permite a comunicação entre aplicações. A seguir estão definidas as arquiteturas da API e do simulador, respectivamente.

4.7.1 Arquitetura da API

A arquitetura da API é composta por quatro componentes, o primeiro componente é o banco de dados, que é responsável por armazenar todas as informações da comunicação entre a API e o equipamento industrial. O segundo componente refere-se a API, responsável por gerenciar o equipamento, através do terceira componente, no caso, o servidor. Esse estabelecerá a comunicação entre a API e o equipamento

industrial. E, por fim, o equipamento/simulador do processo de produção.

Figura 13 – Arquitetura da API



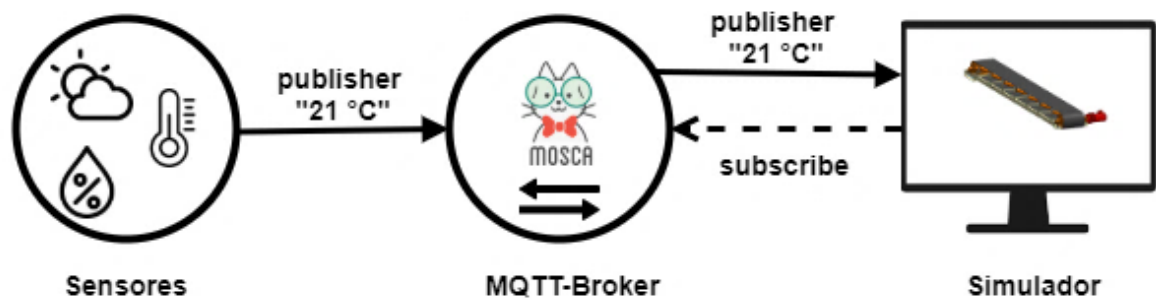
Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 13, pode-se visualizar os componentes que fazem parte do projeto e como estes realizam a comunicação no processo. Quando a esteira ou o simulador executa uma ação, o servidor recebe o pedido e envia para a API, que, por sua vez, gerencia a informação e a salva em um banco de dados. A API poderá enviar solicitações à esteira transportadora ou ao simulador por meio do servidor. Quando a solicitação chegar ao equipamento, será executada.

4.7.2 Arquitetura do simulador

O simulador é composto pela esteira transportadora, sensores, e um protocolo de comunicação. Os sensores (publisher/emissor da mensagem) enviam uma informação para a esteira (subscribe/ receptor da mensagem), através do protocolo de comunicação, como mostra a figura 14. O protocolo escolhido foi o MQTT, tal protocolo possui vantagens como: fácil implementação, domínio público e a possibilidade de que vários sensores estejam conectados ao mesmo tempo. Para ser o intermediador dessa comunicação, ou seja, o Broker, foi escolhido o Mosca, também por ser de fácil implementação e de código livre. O Broker é o responsável por gerir as publicações e as subscrições do protocolo MQTT.

Figura 14 – Arquitetura do Simulador



Fonte: Elaborado pelo autor

4.8 Tecnologias utilizadas

Para o desenvolvimento do simulador e da API, foram empregadas tecnologias que permitem o desenvolvimento multiplataforma e de código aberto. Foi utilizada a linguagem tipada Typescript, que é uma extensão do JavaScript, possuindo, no entanto, uma sintaxe simplificada e mais clara. A linguagem permite também a utilização de recursos da programação orientada ao objeto, como encapsulamento, herança, abstração e polimorfismo. Foram utilizados também dois frameworks, o bootstrap, que é um framework web de código-fonte aberto e faz uso de HTML, CSS e JavaScript para desenvolvimento de componentes de interfaces e front-end. E o phaser, framework para jogos 2D, que também faz uso de HTML, JavaScript e TypeScript. Ele é o responsável pela animação do simulador. Por fim, foi escolhido o MySQL, para o gerenciamento de banco de dados da API.

As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do simulador estão representadas pela figura 15.

Figura 15 – Stack Simulador



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 16, mostra de forma detalhada as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento da API.

Figura 16 – Stack API



Fonte: Elaborado pelo autor

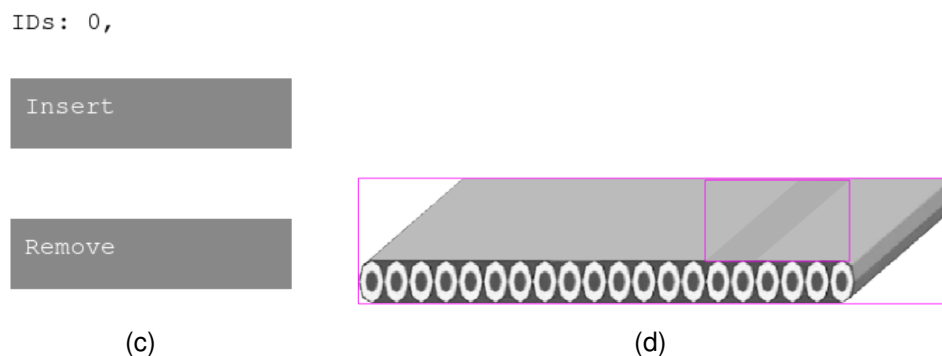
5 RESULTADOS

Com a definição das tecnologias IoT, M2M, CPS, pôde-se desenvolver uma camada de comunicação para o gerenciamento de equipamentos industriais, que poderá guardar os dados do processo de produção na nuvem, e esses dados serem analisados em tempo real, ajudando na tomada de decisão do equipamento, conceito de *big data*. Com base nisso, pode-se afirmar, que a API aqui desenvolvida é um recurso da Indústria 4.0.

A proposta da API é a apresentação de dados como, temperatura, umidade e velocidade, coletados através de sensores, para então poder automaticamente tomar decisão a partir desses dados sobre o equipamento. Os simuladores existentes não possuem essas três variáveis em conjunto, são software não gratuitos e não permitem alteração de parâmetros, o que os torna limitados para a validação da API. Não encontrado dentre os simuladores existentes, o que apresentasse esses recursos, foi proposto então o desenvolvimento de um simulador como alternativa para a validação da API.

O simulador fornece dados de temperatura e de umidade através de sensores e pode controlar a velocidade e a rotação da esteira por meio de controladores. Além de ser desenvolvido para a validação da API, ele poderá ser utilizado para modelar processos do chão de fábrica. A figura 17 representa a captura de tela do simulador. Na figura 18(c), são os botões de inserção e remoção da esteira, possibilitando a execução de uma ou mais esteiras por vez. A figura 18(d) é a representação da esteira propriamente dita.

Figura 17 – Simulador



Fonte: Elaborada pelo autor

O simulador também apresenta dados referentes à execução da esteira. A figura 18 é a representação de um modal com as informações da esteira, que só aparecerá caso a esteira seja selecionada. Os dados apresentados no modal são: ID da esteira, a velocidade de rotação, a temperatura em graus celsius, a umidade em porcentagem, o tamanho da esteira, dois botões para inverter a rotação e parar a esteira respectivamente, e, por fim, uma caixa de texto para alterar a aceleração da esteira. Na figura 19(c), apresentam-se os dados da esteira com rotação no sentido horário, indicada pela aceleração e velocidade positivas. A figura 19(d), por sua vez, é a representação dos dados da esteira com a sua rotação no sentido anti-horário, indicada pela velocidade e pela aceleração negativas.

Figura 18 – Modal do simulador

Esteira 0 x

Velocidade : 5.37 m/s
Aceleração : 0.15 m/s²

Temperatura: 23 °C

Umidade: 57%

Tamanho : 10 m.

Aceleração (Press Enter):

Esteira 0 x

Velocidade : -4.57 m/s
Aceleração : -0.15 m/s²

Temperatura: 23 °C

Umidade: 57%

Tamanho : 10 m.

Aceleração (Press Enter):

(c)
(d)

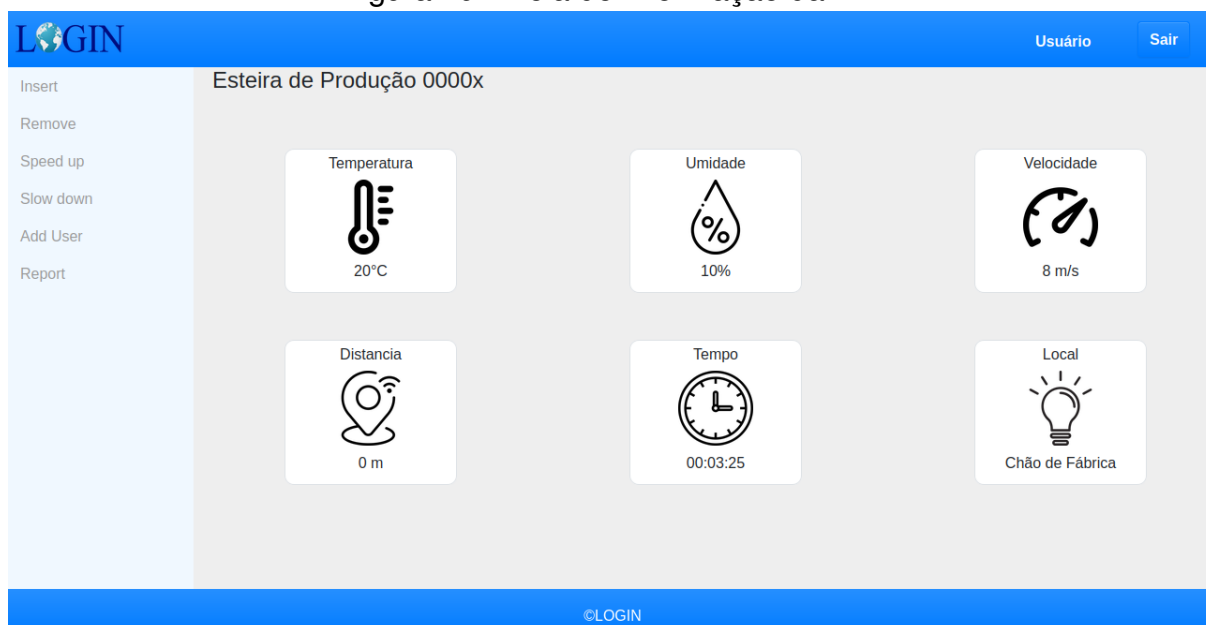
Fonte: Elaborado pelo autor

A API aqui apresentada pode ser utilizada para o gerenciamento de equipamentos industriais, como, por exemplo, a esteira transportadora. Através de sensores e de controladores, a API permite que o operador não necessite se locomover até o chão de fábrica para que possa gerenciar o equipamento, pois ele operará o equipamento a partir da API. O que ocasionará ganho de tempo, agilidade nos processos, assim como o acompanhamento do histórico do equipamento. Também é possível, por meio da API, a geração de relatórios dos dados apresentados pelo gerenciamento dos equipamentos, podendo auxiliar o operário a tomar decisões sobre o processo de produção.

Um outro recurso oferecido com a utilização do trabalho aqui apresentado, é

a possibilidade de tomada de decisão pelo sistema, de forma automatizada, a cerca de um determinado equipamento, por meio da interpretação dos dados monitorados. Exemplo, o sistema, ao detectar que a temperatura do equipamento está acima da temperatura considerada normal, enviará um comando ao equipamento para que o mesmo seja desativado.

Figura 19 – Tela de informação da API



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 19 representa o protótipo da tela da API desenvolvida. Refere-se à tela de informação, na qual é apresentado, no cabeçalho (barra superior), a logo do laboratório LOGIN e o usuário logado. A barra lateral esquerda apresenta os controladores do equipamento que será conectado, e um botão para geração de relatórios referentes ao equipamento. No centro da página, são mostrados o nome do equipamento, as informações como temperatura, a umidade, a velocidade, a distância entre a API e o equipamento, o tempo de funcionamento e o local, onde o equipamento se encontra. Os demais protótipos das telas da API são apresentados no apêndice C.

6 CONCLUSÃO

6.1 Desafios

Um dos desafios encontrados durante o desenvolvimento do projeto foi o de encontrar uma solução para a validação da API. A simulação é um recurso da indústria 4.0, que possibilita essa validação. Entretanto, não foi encontrado um simulador que atendesse aos requisitos propostos para a API. Logo, optou-se pelo desenvolvimento de um simulador de esteira transportadora, capaz de apresentar dados como temperatura, umidade e manipulação de velocidade.

6.2 Contribuições

A pesquisa teve como foco principal a aplicação do conceito da indústria 4.0, utilizando recursos tecnológicos acessíveis para o desenvolvimento de uma camada de comunicação, que, por meio da API, gerenciará equipamentos industriais sem que seja necessário o operador se deslocar ao chão de fábrica.

Destaca-se também como contribuição, a implementação do simulador. O simulador da esteira transportadora atende às necessidades, inicialmente, requeridas para validação da API para automação de equipamentos industriais, que são: manipulação de velocidade e apresentação de dados do equipamento industrial (a esteira transportadora), como umidade e temperatura, e também inversão da rotação da esteira. Além disso, por ser de código livre, o simulador poderá ser utilizado pela academia para futuras pesquisas no desenvolvimento da indústria 4.0.

Os códigos e a documentação da API e do simulador estão disponíveis no link <https://github.com/hugo7damasceno/gerenciador_de Equipamento Industrial.git>, para que terceiros, possam estender suas classes, adicionar novas funcionalidades ou criar novas aplicações, a partir do que foi desenvolvido, se assim desejarem.

6.3 Trabalhos futuros

Ainda há bastante pontos a serem melhorados no simulador. Um deles são os gráficos visuais, a visualização da esteira no simulador apresentada é em 2D, considerada simples em comparação aos simuladores existentes no mercado, que

utilizam visualização em 3D. Um outro fator que requer melhorias no simulador é a implementação de um banco de dados, sendo possível o armazenamento de dados gerados pelo simulador de forma independente de outra aplicação. A implementação de objetos na esteira, também é um recurso para trabalhos futuros, que viabilizará simulações como contador de objetos, ou uma balança na própria esteira para determinar se o peso do objeto está dentro dos padrões estabelecidos.

Em relação à API, tem-se por trabalhos futuros, a melhoria na segurança, por meio da validação de usuários. Adicionar novas funcionalidades, para que seja possível gerenciar outros equipamentos, além da esteira transportadora. É possível ainda que realizem testes em equipamentos de uma indústria, buscando soluções por meio de sensores para atingir o objetivo proposto pela API, que é de gerenciar o equipamento industrial sem a necessidade de se deslocar até ele.

REFERÊNCIAS

- AIRES, Regina Wundrack do Amaral; FREIRE, Patrícia de Sá; SOUZA, João Artur de. Educação Corporativa como ferramenta para estimular a inovação nas organizações: uma revisão de literatura. 2018.
- AL-FUQAHA, Ala et al. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. **IEEE communications surveys & tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015.
- ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The internet of things: A survey. **Computer networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.
- AZEVEDO, Marcelo Teixeira de. **Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BALL, Stuart. **Embedded microprocessor systems: real world design**. Elsevier, 2002.
- BARNAGHI, Payam et al. Semantics for the Internet of Things: early progress and back to the future. **International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)**, v. 8, n. 1, p. 1-21, 2012.
- BAILEY, Alexis. **Cloud Computing Hd**. 2017. Disponível em: <https://www.freepngimg.com/png/23603-cloud-computing-hd>. Acesso em: 20 fev. 2020.
- BUYYA, Rajkumar; BROBERG, James; GOSCINSKI, Andrzej M. (Ed.). **Cloud computing: Principles and paradigms**. John Wiley & Sons, 2010.
- CHANG, Wo L.; GRADY, Nancy. NIST Big data interoperability framework: Volume 1, definitions. 2019.
- CENTER FOR DATA SCIENCE. **The 3 Vs of big data: volume, variety, and velocity**. Disponível em: <http://dscience.tacoma.uw.edu/mission/>. Acesso em: 15 fev. 2020.
- CHEN, Min; WAN, Jiafu; LI, Fang. Machine-to-machine communications: Architectures, standards and applications. **Ksii transactions on internet & information systems**, v. 6, n. 2, 2012.
- CHENG, Chih-Hong et al. Semantic degrees for industrie 4.0 engineering: deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate technologies. In: **Proceedings of the 2015 10th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering**. 2015. p. 1010-1013.
- CHRISTIAN GÖTZ. **MQTT 101 – How to Get Started with the lightweight IoT Protocol**. Disponível em: https://www.eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/october/article2.php. Acesso em: 03 jan. 2020.

CNI, CN da I. Indústria 4.0: novo Desafio para a indústria Brasileira. **Indicadores CNI**, v. 17, p. 13, 2016.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à indústria 4.0**. 2016. Tese de Doutorado. 00500:: Universidade de Coimbra.

COLLINA, M. mosca—MQTT broker as a module. 2013.

CREATE A SOFT. **SimCad**: simulation software. Simulation Software. Disponível em: <https://www.createasoft.com/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

ENGPROCESS. **O que é MQTT broker e quais as suas principais vantagens?** 2018. Disponível em: <https://engprocess.com.br/mqtt-broker/>. Acesso em: 03 jan. 2020.

FACTORY IO COMPANY. **Next-Gen PLC Training**: 3d factory simulation. 3D Factory Simulation. Disponível em: <https://factoryio.com/>. Acesso em: 15 jul. 2020.

FLEXSIM SOFTWARE PRODUCTS. **3D Simulation Modeling and Analysis Software**. Disponível em: <https://www.flexsim.com/>. Acesso em: 05 ago. 2020.

FOX, Armando et al. Above the clouds: A berkeley view of cloud computing. **Dept. Electrical Eng. and Comput. Sciences, University of California, Berkeley, Rep. UCB/EECS**, v. 28, n. 13, p. 2009, 2009.

FREITAS, Arnold de Araujo. A internet das coisas e seus efeitos na indústria 4.0. 2017. 57 f. **TCC (Graduação)-Curso de Tecnologia em Sistemas de Computação, Universidade Federal Fluminense, Niterói**, 2017.

GIGLI, Matthew et al. Internet of things: services and applications categorization. **Adv. Internet of Things**, v. 1, n. 2, p. 27-31, 2011.

HALLER, Stephan. The things in the internet of things. **Poster at the (IoT 2010). Tokyo, Japan, November**, v. 5, n. 8, p. 26-30, 2010.

HU, Liang et al. Review of cyber-physical system architecture. In: **2012 IEEE 15th International Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing Workshops**. IEEE, 2012. p. 25-30.

HURWITZ, Judith S.; KIRSCH, Daniel. **Cloud computing for dummies**. John Wiley & Sons, 2020.

FERREIRA JÚNIOR, Clóvis Lemes. Desenvolvimento de uma plataforma para aplicação de mobilidade na manutenção de processos de automação. 2014.

KELLY, Sean Dieter Tebje; SURYADEVARA, Nagender Kumar; MUKHOPADHYAY, Subhas Chandra. Towards the implementation of IoT for environmental condition monitoring in homes. **IEEE sensors journal**, v. 13, n. 10, p. 3846-3853, 2013.

KIM, Jaewoo et al. M2M service platforms: Survey, issues, and enabling technologies. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 16, n. 1, p. 61-76, 2013.

KUTEKEN, Fernando. Desenvolvimento de um software para simulação de centros de distribuição. **Trabalho de Formatura - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção**. 2017.

LEE, Edward A. Cyber physical systems: Design challenges. In: **2008 11th IEEE international symposium on object and component-oriented real-time distributed computing (ISORC)**. IEEE, 2008. p. 363-369.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-An. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing letters**, v. 3, p. 18-23, 2015.

LEE, Jay; KAO, Hung-An; YANG, Shanhu. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia Cirp**, v. 16, p. 3-8, 2014.

DE LIMA, Alison Gustavo; PINTO, Giuliano Scombatti. INDÚSTRIA 4.0: um novo paradigma para a indústria. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p. 299-311, 2019.

LU, Rongxing et al. GRS: The green, reliability, and security of emerging machine to machine communications. **IEEE communications magazine**, v. 49, n. 4, p. 28-35, 2011.

MARWEDEL, Peter. Embedded System Design: Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things. 2021.

MELL, P. et al. The NIST definition of cloud computing, computer security division. **Information Technology Laboratory National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD**, 2011.

MORAES, Elisabete Nakoneczny et al. Método para gerenciamento do consumo de energia elétrica em sistemas ciberfísicos. 2013.

NETSCAN DIGITAL (ed.). **O QUE A DIGITALIZAÇÃO DE DOCUMENTOS E A INDÚSTRIA 4.0 TÊM EM COMUM?** Disponível em: <https://netscandigital.com/wp-content/uploads/2019/02/industria4.0-1024x768.jpg>. Acesso em: 20 fev. 2020.

NOGUEIRA, FJ HORTA. Correias Transportadoras–Guia Avançado. **Procel Indústria. Rio de Janeiro–RJ**, 2004.

PARK, Kyung-Joon et al. Cyber-physical systems: Milestones and research challenges. 2012.

PEDROSA, Paulo HC; NOGUEIRA, Tiago. Computação em nuvem. **artigo disponível em <http://www.ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2011>**, v. 2, 2011.

POOVENDRAN, RADHA. Cyber–physical systems: Close encounters between two parallel worlds [point of view]. **Proceedings of the IEEE**, v. 98, n. 8, p. 1363-1366, 2010.

PRESSMAN, Roger; MAXIM, Bruce. **Engenharia de Software-8ª Edição**. McGraw Hill Brasil, 2016.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

RG MAQ. Esteira Transportadora. Disponível em:
<https://www.rgmaq.com.br/%20equipamentos/esteira-transportadora/>. Acesso em: 25 jan. 2020.

SAKURAI, LUCAS H. et al. Aplicação da internet das coisas em sistemas produtivos com foco na indústria 4.0. In: **XXI Congresso Brasileiro de Automática-CBA2016**. 2016. p. 2683-2688.

SANTOS, Beatrice Paiva et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

SANTOS, Bruno P. et al. Internet das coisas: da teoria à prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, v. 31, 2016.

SCHÖNBERGER-MAYER, Viktor; CUKIER, K. Tradução Paulo Palzonoff Junior. Big data: como extrair volume, variedade, velocidade e valor da avalanche de informação cotidiana. 2013.

SCHUH, Günther et al. Short-term cyber-physical Production Management. **Procedia Cirp**, v. 25, p. 154-160, 2014.

SHELBY, Zach; BORMANN, Carsten. **6LoWPAN: The wireless embedded Internet**. John Wiley & Sons, 2011.

SHROUF, Fadi; ORDIERES, Joaquin; MIRAGLIOTTA, Giovanni. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. In: **2014 IEEE international conference on industrial engineering and engineering management**. IEEE, 2014. p. 697-701.

SHWAB, Klaus. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. **Foreign Affairs**, v. 12, p. 2015-17, 2015.

SOMMERVILLE, Ian. Engenharia de Software. 6a. edição. **AddisonWesley. São Paulo**, 2003.

TAURION, Cezar. **Big data**. Brasport, 2013.

TEKBIYIK, Neyre; UYSAL-BIYIKOGLU, Elif. Energy efficient wireless unicast routing alternatives for machine-to-machine networks. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 34, n. 5, p. 1587-1614, 2011.

THE ANYLOGIC COMPANY. **AnyLogic Simulation Software**. Disponível em: <https://www.anylogic.com/>. Acesso em: 07 ago. 2020.

UNGUREAN, Ioan; GAITAN, Nicoleta-Cristina; GAITAN, Vasile Gheorghita. An IoT architecture for things from industrial environment. In: **2014 10th International Conference on Communications (COMM)**. IEEE, 2014. p. 1-4.

WAN, Kaiyu; ALAGAR, Vangalur. Context-aware security solutions for cyber-physical systems. **Mobile Networks and Applications**, v. 19, n. 2, p. 212-226, 2014.

WANG, Chengen; BI, Zhuming; DA XU, Li. IoT and cloud computing in automation of assembly modeling systems. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 2, p. 1426-1434, 2014.

WANG, Shiyong et al. Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. **International journal of distributed sensor networks**, v. 12, n. 1, p. 3159805, 2016.

WATSON, David S. et al. **Machine to machine (M2M) technology in demand responsive commercial buildings**. Pacific Grove, 2004.

WINTER, J. Sistemas ciber-físicos: a nova revolução. **E-aware technologies**, v. 12, 2017.

WRIGHT, Paul. Cyber-physical product manufacturing. **Manufacturing Letters**, v. 2, n. 2, p. 49-53, 2014.

WU, Caesar; BUYYA, Rajkumar; RAMAMOHANARAO, Kotagiri. Big data analytics= machine learning+ cloud computing. **arXiv preprint arXiv:1601.03115**, 2016.

XIAOJIANG, Xing; JIANLI, Wang; MINGDONG, Li. Services and key technologies of the Internet of Things. **ZTE Communications**, v. 8, n. 2, p. 26-29, 2020.

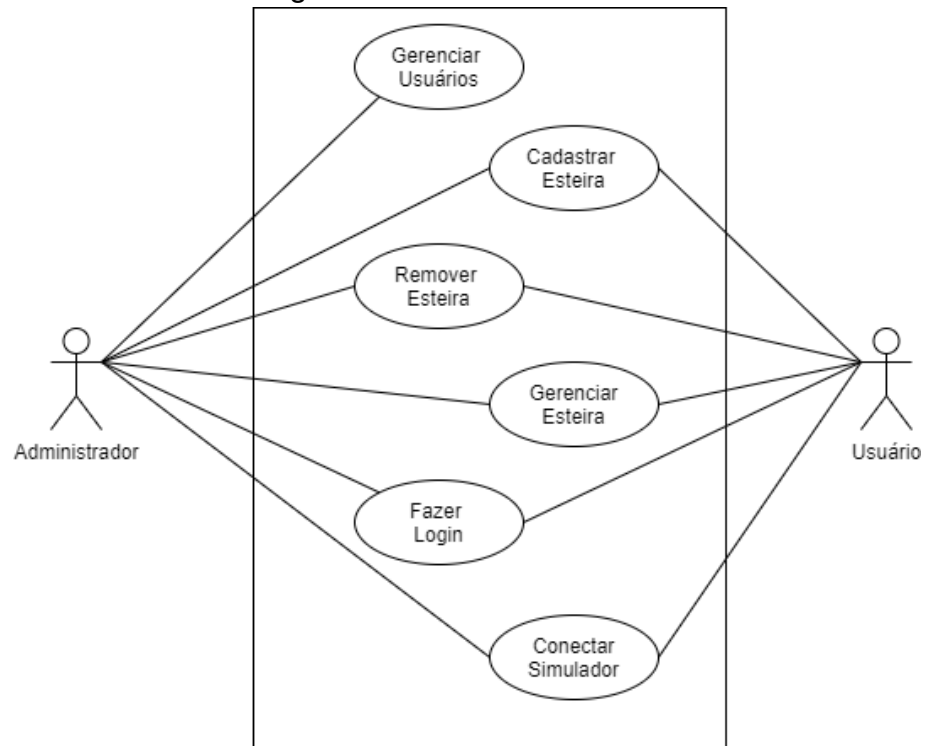
DA XU, Li; HE, Wu; LI, Shancang. Internet of things in industries: A survey. **IEEE Transactions on industrial informatics**, v. 10, n. 4, p. 2233-2243, 2014.

XU, Min et al. The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. **International journal of financial research**, v. 9, n. 2, p. 90-95, 2018.

ZABADAL, Bernardo Moreira; DE CASTRO, Bianca Francinny Lisboa Murta. IoT e seus principais desafios. **Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação**, v. 3, n. 1, 2017.

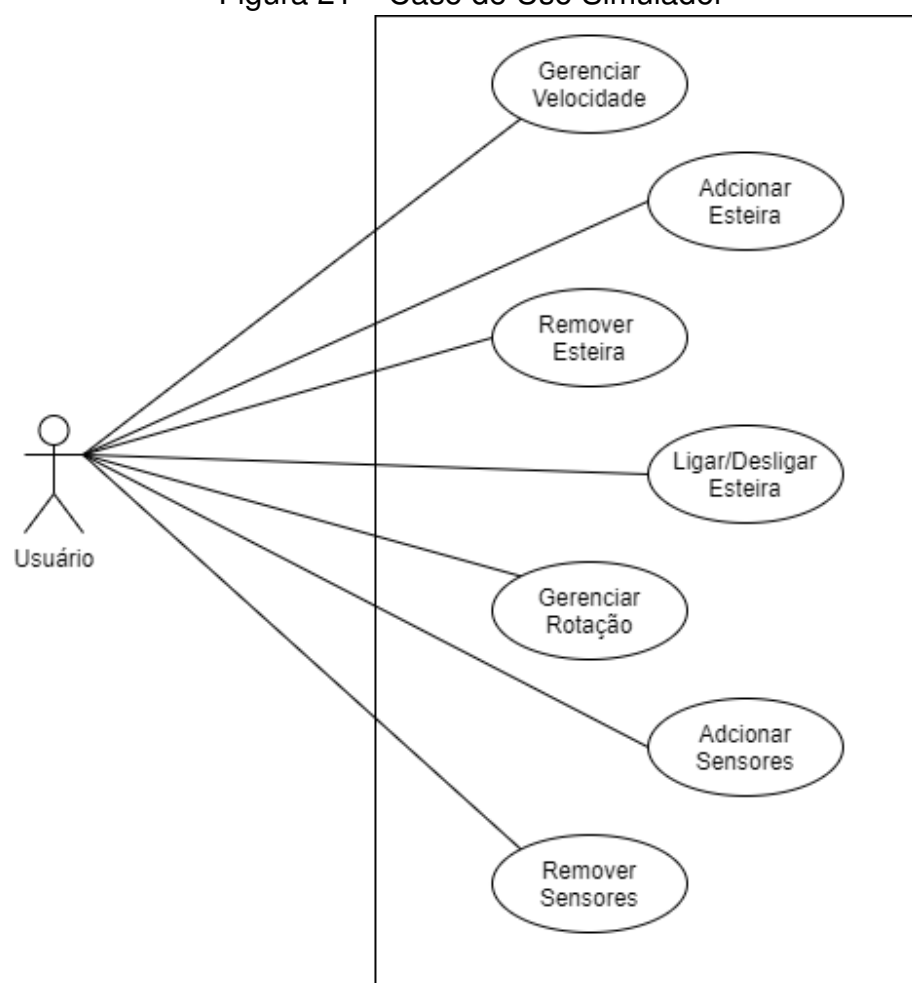
APÊNDICE A – DIAGRAMA DE CASO DE USO

Figura 20 – Caso de Uso API



Fonte: Elaborado pelo autor

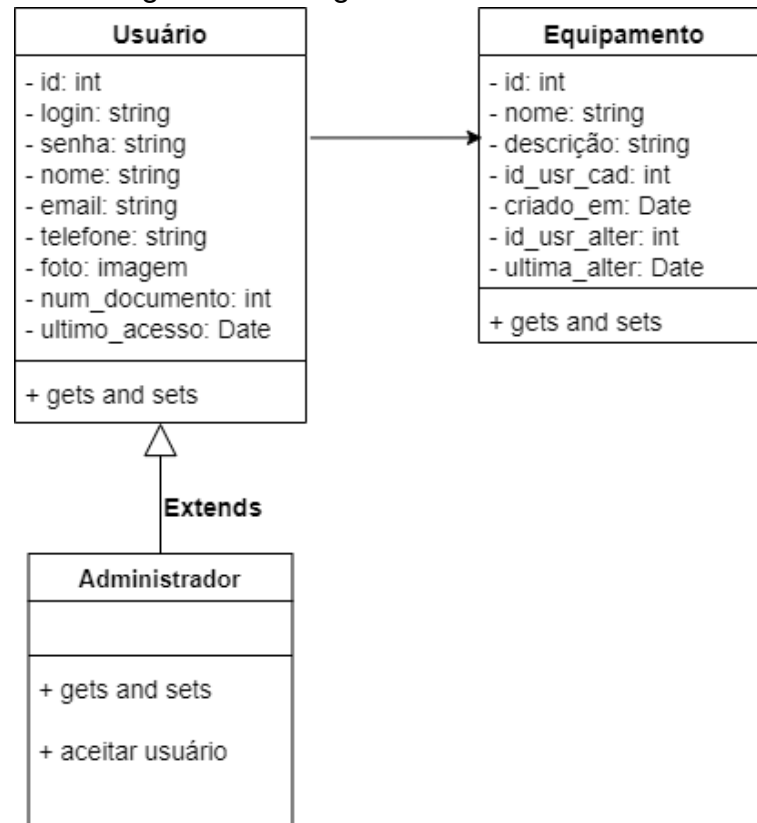
Figura 21 – Caso de Uso Simulador



Fonte: Elaborado pelo autor

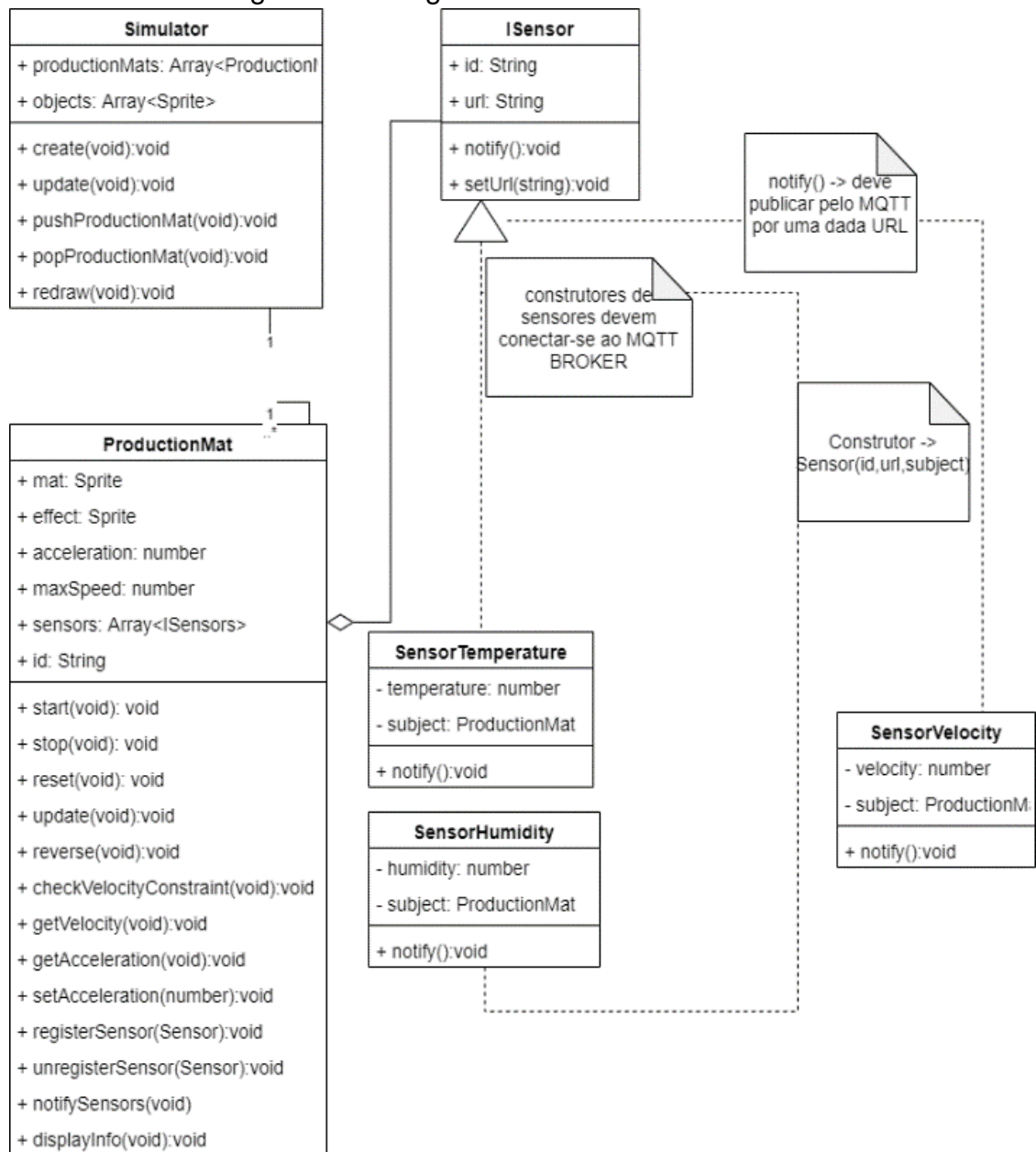
APÊNDICE B – DIAGRAMA DE CLASSE

Figura 22 – Diagrama de Classe da API



Fonte: Elaborado pelo autor

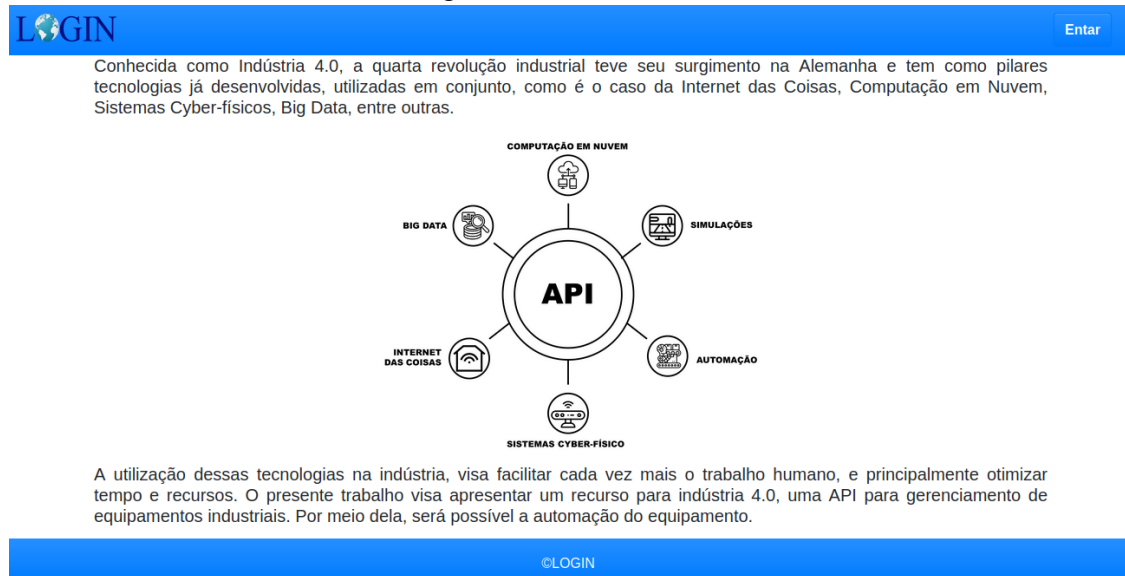
Figura 23 – Diagrama de Classe do Simulador



Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE C – PROTÓTIPO DE TELAS

Figura 24 – Tela inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25 – Tela login

Plataforma IoT

usuário

senha

Entrar

©LOGIN

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26 – Tela conexão

LOGIN

Usuário

Sair

Simulador

porta

Conectar

©LOGIN

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27 – Tela cadastro de usuário

LOGIN

Usuário

Sair

Nome

Nome Completo

CPF

CPF

Telefone

Telefone

Email

Email

Usuário

Usuário

Senha

Senha

Cadastrar

©LOGIN

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 28 – Tela relatório

LOGIN								
Usuário								Sair
Usr	Data	Hora	Equipamento	Tempo	Vel-Med	Temp	Umidt	Produção
hugonline	07/02/21	15:00	Esteira	2:00	2 m/s	28 °C	8%	100%
valdisio	10/02/21	08:00	Esteira	1:00	2 m/s	28 °C	8%	99%

Gerar PDF

©LOGIN

Fonte: Elaborado pelo autor