



**Rúben Filipe
Rocha Almeida**

**Proposta de um novo equipamento para a marcação
e leitura para a Vista Alegre, rastreabilidade da
produção ao cliente final.**



**Rúben Filipe
Rocha Almeida**

**Proposta de um novo equipamento para a marcação
e leitura para a Vista Alegre, rastreabilidade da
produção ao cliente final.**

Relatório apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor José Paulo Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e pelo Doutor Manuel Pedro Fernandes Graça, Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho ao Miguel, por me ensinar que vale sempre a pena, e à Bárbara, por nunca deixar de lutar.

O júri

Presidente

Doutor Duncan Paul Fagg
Investigador Principal em Regime Laboral, Universidade de Aveiro

Vogais

Prof. Doutor Henrique Leonel Gomes
Professor Associado com Agregação, Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Manuel Pedro Fernandes Graça
Professor Auxiliar em Regime Laboral, Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Agradecer à Bárbara, pela motivação, amor e ajuda em todo este processo, mesmo nos momentos mais desesperantes.

Ao Professor Miguel Riem de Oliveira, que me ajudou, apoiou e me deu forças nos momentos mais difíceis, por ser um ser humano incrível.

Ao meu colega Miguel Pina, por mostrar uma grande compreensão, humanidade e acima de tudo um altruísmo inigualável.

Ao Bichão, por ser o amigo de sempre, desde sempre.

Aos meus avós, por serem o porto de abrigo.

À avó Lala, sem a qual nada disto seria possível.

Ao Professor José Paulo Santos, por estar sempre disponível e me orientar nesta etapa.

Ao professor Pedro Graça, por me ter ajudado de forma crucial para este trabalho, por me ajudar com todas as dúvidas e pela orientação excepcional.

Ao eng. José Carlos Ferreira por se mostrar sempre disponível para todos os assuntos, pelo acompanhamento e por me mostrar a compreender os pontos chave.

Palavras-chave

Rastreabilidade Industrial, Automação, Indústria 4.0, Controle, Indústria cerâmica, Bases de Dados, SCADA, IoT, efeito de Hall, Node-RED.

Resumo

No advento da Indústria 4.0 a rastreabilidade consolidou o seu lugar como ferramenta indispensável à otimização dos processos e à tomada de decisão. Na transição para este novo paradigma, muitas empresas têm de modificar os processos internos e o equipamento que possuem sob pena de não se conseguirem adaptar às novas exigências do mercado e da indústria. Este é um desafio recorrente em indústrias centenárias como é o caso da Vista Alegre. O presente trabalho é um protótipo de uma solução pensada para a rastreabilidade das peças de uma linha de produção na unidade fabril da Vista Alegre, em que é desenvolvido um sistema invisível de leitura de códigos. É ensaiada a leitura das marcações, o tratamento e armazenamento da informação ao longo das fases de produção e a visualização dos dados. São exploradas e desenvolvidas tecnologias para leitura de códigos, criação e utilização de bases de dados, criação de dashboards e agilização dos fluxos de informação. A tecnologia desenvolvida permite abrir portas para novos desenvolvimentos nas técnicas de rastreabilidade industrial.

keywords

Industrial Traceability, Automation, Industry 4.0, Control Process, ceramics industry, data bases, SCADA, IoT, Hall Effect, Node-RED.

abstract

In the advent of Industry 4.0, traceability has consolidated its place as an indispensable tool for process optimization and decision-making. In the transition to this new paradigm, many companies must modify the internal processes and equipment they have under penalty of not being able to adapt to the new demands of the market and industry. This is a recurring challenge in centuries-old industries such as Vista Alegre.

The present work is a prototype of a solution designed for the traceability of the products of a production line in the Vista Alegre manufacturing unit, in which an invisible code reading system is developed. The reading of the markings, the processing and storage of the information throughout the production phases and the visualization of the data are tested. Technologies are explored and developed for reading codes, creating and using databases, creating dashboards and information flow support. The technology developed allows to open doors to new developments in industrial traceability techniques.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	xi
Lista de Acrónimos	xiii
1. Introdução	1
1.1. Motivação	1
1.2. Problema	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Organização do documento	2
2. A Empresa	5
2.1. Impacto Económico	7
2.2. Processo Produtivo	9
2.2.1. Prensas Isostáticas	10
3. Revisão da Bibliografia	13
3.1. Indústria 4.0	13
3.1.1. Tecnologias preponderantes na transição para a Indústria 4.0	17
3.1.2. Dificuldades de implementação das tecnologias da Indústria 4.0 e o seu futuro	20
3.1.3. ANSI/ISA 95 - Pirâmide de automação	22
3.1.3.1. A implementação de três tipos de integração	25
3.2. Rastreabilidade	26
3.2.1. Internet das Coisas (IoT)	27
3.2.2. Efeito de Hall	31
3.2.3. Ferrite de Ítrio	33
3.3. Sistemas SCADA	35

3.3.1.	Visualização de dados na Indústria 4.0	36
3.3.2.	Node-RED e Dashboards para visualização de dados	41
3.4.	Casos práticos existentes	43
3.4.1.	Proposta de um sistema de rastreabilidade na indústria cerâmica	43
3.4.2.	Implementação de IoT e Node-RED para um sistema de rastreabilidade inteligente	44
3.4.3.	IoT Smartbox industrial para o chão de fábrica	45
3.4.4.	Uso do Node-RED em ambiente industrial	46
4.	Solução Proposta	49
4.1.	Arquitetura da solução proposta	50
4.2.	Princípio de funcionamento da detecção	52
4.3.	Processamento de dados	54
4.3.1.	Unidade de Processamento	54
4.3.2.	Servidor Local	56
4.3.3.	Interface Gráfica	57
4.4.	Base de Dados Proposta	58
4.4.1.	Diagramas de Entidade-Relação	58
4.4.2.	Diagrama de Dependências Funcionais	66
5.	Implementação da Solução Proposta	75
5.1.	Arquitetura da implementação	75
5.2.	Amostras	76
5.3.	Hardware	79
5.3.1.	Deteção das marcas	79
5.3.1.1.	Hall Sensor	81
5.3.1.2.	Módulo Arduíno ky-024	82
5.3.1.3.	Circuito subtractor	84
5.3.1.4.	Cuicuito Amplificador (não-inversor)	84
5.3.2.	Circuito Desenhado e Montagem	85
5.3.3.	Módulo Iot	86
5.4.	Processamento dos dados	88
5.4.1.	Comunicação Hardware - Servidor	88
5.4.2.	Processamento no ESP8266	91
5.4.3.	Processamento no servidor local	92
5.4.4.	Processamento na interface gráfica	94
5.5.	Bases de dados	96
6.	Análise de Resultados, Limitações e Trabalho Futuro	99
6.1.	Conclusões Gerais	99

6.2. Desempenho da solução	99
6.3. Trabalho futuro.....	103
7. Referências Bibliográficas	107
Anexo A – Estudo das Amostras	1
Anexo B – Interface Gráfica – Node-RED.....	7

Lista de Figuras

Figura 1 Entrada antiga da fábrica da Vista Alegre	5
Figura 2 Conjunto Coleção Amazónia (Vista Alegre, 2021).....	6
Figura 3 Evolução do volume de negócios de 2015 a 2019 (Euronext, 2021).	7
Figura 4 Vendas por família de produtos (Euronext, 2021)	8
Figura 5 Vendas por mercados (Euronext, 2021)	8
Figura 6 Processo produtivo geral da fábrica da Vista Alegre, adaptado (Silva, 2014)	9
Figura 7 Máquina roller usada no processo de contramoldagem (Silva, 2014).....	10
Figura 8 Carimbo com o símbolo da VA.....	11
Figura 9 Fluxograma do processo produtivo relativo às prensas isostáticas, adaptado (Da Costa, 2017)	11
Figura 10 As diferentes revoluções industriais (Rojko, 2017)	14
Figura 11 princípios e tecnologias da Indústria 4.0 (Ghobakhloo, 2018).....	15
Figura 12 CPS (Xu et al., 2018)	17
Figura 13 Principais tecnologias na Indústria 4.0 (Frank et al., 2019)	19
Figura 14 Pirâmide de Automação segundo a norma ISA-95 (Coito et al., 2019)	23
Figura 15 Complexidade da comunicação e das relações em sistemas industriais automatizados (Wollschlaeger et al., 2017).....	26
Figura 16 Tecnologias e dispositivos ligados à IoT (Xu et al., 2018)	29
Figura 17 Regra da mão direita	31
Figura 18 Esquema do Efeito Hall	32
Figura 19 Uso de um íman toroidal para deteção de um corpo metálico (MicroSystems AllegroTM, 2019). ..	32

Figura 20 Aplicação de sensores Hall para deteção de eventos mecânicos (MicroSystems AllegroTM, 2019).	33
Figura 21 Indução de campos magnéticos por influência de correntes elétricas estacionárias (Graça, n.d.)....	34
Figura 22 Ciclo de histerese de um material ferromagnético. A curva OA representa a magnetização inicial de um material desmagnetizado (Pinho, 2009).	34
Figura 23 Tecnologias associadas aos sistemas SCADA (Raptis et al., 2019).....	36
Figura 24 Benefícios da visualização de grandes quantidades de dados (Ali et al., 2016).....	37
Figura 25 Exemplo de vários tipos de visualização de dados num relatório de análise de mercado (Ali et al., 2016).....	39
Figura 26 Análise das características dos materiais (F. Zhou et al., 2019).....	40
Figura 27 Modelo de tomada de decisão proposto por Poletto et al. (Poletto et al., 2017).....	40
Figura 28 Exemplo de diagrama de flows entre nodes no Node-RED (Nițulescu & Korodi, 2020)	42
Figura 29 Exemplo de dashboard criado a partir do Node-RED (Nițulescu & Korodi, 2020).....	43
Figura 30 Hierarquia dos tópicos (Sicari et al., 2019).....	44
Figura 31 Dashboar que mostra a informação relativa aos veículos (Sicari et al., 2019)	45
Figura 32 Software e hardware para implementar o servidor MQTT (Malhao et al., 2019)	46
Figura 33 Arquitetura proposta (Ferencz, 2020)	46
Figura 34 Esquema da solução proposta	51
Figura 35 Modelo de produção, fornecido pela empresa.....	52
Figura 36 Linhas de fluxo magnético num íman em forma de U	53
Figura 37 Linhas de fluxo magnético após curto-circuito magnético.....	53
Figura 38 Diagrama de processamento de dados na solução proposta	55
Figura 39 Lógica de programação do Node-RED (Node-RED, 2020).....	56
Figura 40 Cardinalidade das relações entre entidades	59
Figura 41 Diagrama de entidade relacionamento da solução proposta.....	62
Figura 42 Relações da entidade Peça.....	63
Figura 43 Entidades associadas à criação de um novo código de identificação de cada peça no posto da prensagem.....	64
Figura 44 Tabelas associadas ao registo dos dados aquando da passagem no posto de vidragem	65
Figura 45 relações entre as entidades dos fornos no processo de rastreabilidade.....	66

Figura 46 Relações entre a peça e o cliente final.....	66
Figura 47 Diagrama de Dependências Funcionais	67
Figura 48 Diagrama da Relação A – Não Normalizada	68
Figura 49 Relações A1, A2, A3 e A4 – Normalizadas	69
Figura 50 Diagrama da Relação B – Não Normalizada.....	70
Figura 51 Relações B1, B2 e B3/A4 - Normalizadas	70
Figura 52 Relação R - Não Normalizada.....	71
Figura 53 relações R1, R2, R3 e R4 - Normalizadas.....	71
Figura 54 Esquema da solução proposta	76
Figura 55 Sistemas cristalinos de ferrite de ítrio: (a) $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) de estrutura cúbica e (b) $YFeO_3$ de estrutura ortorrômbica. (íões de oxigénio (vermelho e rosa); íões de ítrio (azul); íões de ferro (castanho). (Soreto Teixeira, 2019).....	77
Figura 56 Cozedura das amostras	78
Figura 57 Amostras finais	78
Figura 58 Esquema de deteção das marcas de ferrite de ítrio.....	79
Figura 59 Módulo Arduino ky-024 Linear Hall sensor	79
Figura 60 Módulo Arduino integrado com a peça em "U", por meio de uma peça desenvolvida e produzida recorrendo à prototipagem rápida.....	80
Figura 61 Geometria em "gaveta" do protótipo.....	80
Figura 62 Sensor de efeito de Hall	81
Figura 63 Sensibilidade do sensor	81
Figura 64 Circuito interno do sensor	82
Figura 65 Pinos do módulo ky-024	82
Figura 66 Visualização do sinal analógico proveniente do módulo ky-024	83
Figura 67 Circuito subtrator [5]	84
Figura 68 Circuito não-inversor [5].....	84
Figura 69 Circuito desenvolvido no software ISIS.....	85
Figura 70 Primeiro protótipo de deteção composto por dois ímanes permanentes geradores de campo magnético e sensor de Hall.....	86
Figura 71 Circuito físico construído	86

Figura 72 Módulo de desenvolvimento com placa integrada ESP8266	87
Figura 73 Entradas e saídas disponíveis nos ESP8266 (Laboratório, n.d.).....	87
Figura 74 Instruções do dashboard do Node-RED para o broker	88
Figura 75 Obtenção do código exemplo para a ligação do ESP a plataformas MQTT	89
Figura 76 Código do ESP8266 para atuar de acordo com informação proveniente do broker	89
Figura 77 Canal de publicação do servidor para o ESP8266, com a instrução “ON”	90
Figura 78 Página de subscrição do broker, com vários canais subscritos.....	90
Figura 79 Configuração do ESP8266 pra poder funcionar como voltímetro.....	91
Figura 80 Painel de Controlo do XAMPP	92
Figura 81 Nós específicos para ligação a plataformas MQTT	92
Figura 82 Fluxos de processamento de dados relativos à prensagem.....	93
Figura 83 Processamento da busca de informação para a rastreabilidade	93
Figura 84 Programação para validar o acesso a cada um dos separadores	94
Figura 85 Introdução de novos colaboradores e máquinas na página Administrador	95
Figura 86 Fluxos de informação para visualização de dados.	96
Figura 87 Funcionalidades de controlo de equipamentos.....	96
Figura 88 Página inicial da ferramenta phpMyAdmin	97
Figura 89 Inserção de dados nas tabelas.....	97
Figura 90 Resultados obtidos com o primeiro protótipo.	100
Figura 91 Resultados obtidos com o segundo protótipo.....	100
Figura 92 Comparação entre a diferença de tensão no sensor (voltímetro) e o sinal amplificado (Arduino IDE).....	101
Figura 93 Alinhamento do prato.....	104
Figura 94 Esquema de funcionamento do leitor	105
Figura B 1 Página de visualização do estado da produção em tempo real e visualização de KPIs.	7
Figura B 2 Autenticação para acesso a cada uma das páginas.....	7
Figura B 3 Separador relativo à rastreabilidade.....	8
Figura B 4 separador relativo à prensagem.	9

Figura B 5 Separador relativo à vidração	9
Figura B 6 Separador relativo à venda e inserção de clientes.....	9
Figura B 7 Separador relativo à inserção de matéria-prima, novos produtos, controlo de equipamentos e visualização de temperatura dos fornos.....	10
Figura B 8 Separador relativo à administração onde se inserem novos colaboradores e novos equipamentos.	10

Lista de Tabelas

Tabela 1 Relação Universal.....	67
Tabela 2 Relação A - Não Normalizada.....	68
Tabela 3 Relação A1 - Normalizada.....	69
Tabela 4 Relação A2 - Normalizada.....	69
Tabela 5 Relação A3 - Normalizada.....	69
Tabela 6 Relação A4 - Normalizada.....	69
Tabela 7 Relação B - Não Normalizada.....	70
Tabela 8 Relação B1 - Normalizada.....	70
Tabela 9 Relação B2 - Normalizada.....	70
Tabela 10 Relação R - Não Normalizada.....	71
Tabela 11 Relação R1 - Normalizada.....	72
Tabela 12 relação R2 - Normalizada.....	72
Tabela 13 Relação R3 - Normalizada.....	72
Tabela 14 Relação R4 - Normalizada.....	72
Tabela 15 Tabela utilizada na base de dados relativa à Peça.....	72
Tabela 16 Tabela utilizada na base de dados relativa ao produto.....	72
Tabela 17 Tabela utilizada na base de dados relativa ao colaborador.....	72
Tabela 18 Tabela utilizada na base de dados relativa às máquinas isostáticas.....	72
Tabela 19 Tabela utilizada na base de dados relativa às linhas de vidração.....	72
Tabela 20 Tabela utilizada na base de dados relativa aos lotes utilizados nas máquinas isostáticas.....	72
Tabela 21 Tabela utilizada na base de dados relativa aos lotes utilizados nas linhas de vidração.....	73

Tabela 22 Tabela utilizada na base de dados relativa aos clientes.....	73
Tabela 23 Tabela utilizada na base de dados relativa ao forno de chacotagem.....	73
Tabela 24 Tabela utilizada na base de dados relativa ao forno de cozedura.....	73

Lista de Acrónimos

ADC	Analogic to Digital Converter
AI	Artificial Intelligence
AM	Additive Manufacturing
ampop	Amplificador Operacional
API	Application Programming Interfaces
AR	Augmented Reality
BD	Base de Dados
CAD	Computer-Aided Design
CSS	Cascading Style Sheets
DB	Data Base
DCS	Process Distributed Control System,
ERP	Enterprise Resorce Planning
FK	Foreign Key
GPIO	General Purpose Input/Output
GPS	Global Positioning System
H2H	Human to Humam Communication
H2M	Human-to-Machine Communication
HMI	Human Machine Interface
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICT	Information and Communication Technologies
IIoT	Industrial Internet of Things
IoS	Internet of Services
IoT	Internet of Things
ISO	Organização Internacional de Normalização
IT	Information Technology
JS	JavaScript
KPI	Key Success Indicators
LIMS	Laboratory Information Management System
M2M	Machine-to-Machine Communication
MES	Manufacturing Execution System
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport

NFC	Near Field Communication
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OPC UA	Open Platform Communications United Architecture
PHP	Hypertext Preprocessor
PK	Primary Key
PLC	Programmable Logic Controller
PLM	Product Lifecycle Management
PME	Pequenas E Médias Empresas
QR	Quick Response
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio Frequency Identification
RS232	Recommended Standard 232
RTU	Remote Terminal Units
S2S	Service To Service
SCADA	Supervisory And Data Acquisition
SQL	Structured Query Language
SSID	Service Set Identifier
uC	Microcontroler
UP	Unidade de Processamento
USB	Universal Serial Bus
VA	Vista Alegre
VR	Virtual Reality
WMS	Warehouse Management System
WSN	Wireless Sensor Networks
YIG	granadas de ferrite de ítrio Y3Fe5O12

1. Introdução

Na secção da Introdução é exposto o panorama industrial global atual, a motivação para a realização deste relatório, o desafio e os objetivos do trabalho realizado. É também descrita a organização do documento.

1.1. Motivação

A Indústria 4.0 é o novo paradigma onde a Internet das Coisas (Internet of Things, IoT) sistemas ciber-físicos (Cyber Physical Systems, CPS), sensores, comunicação e gestão de dados têm um papel central e fundamental na produção fabril, onde os desafios são cada vez maiores devido às necessidades do mercado, onde as exigências dos clientes são cada vez mais individualizadas, forçando as indústrias/organizações a ser cada vez mais flexíveis e moldáveis a esta nova realidade. As máquinas devem trabalhar de forma autónoma, comunicar entre elas e com os operadores, e para isso os produtos devem ser monitorizados em cada fase da sua produção, tornando todo o processo menos propenso a falhas e assim aumentando drasticamente o controlo de qualidade, tornando-o mais preciso e rápido, pois a informação de cada uma das peças está guardada e pode ser acedida remotamente a qualquer momento, mesmo que a peça ainda esteja em fase de produção. É neste contexto que entra a rastreabilidade industrial.

1.2. Problema

Para este projeto, o objetivo final centra-se na obtenção de um historial de todo o percurso de um produto, desde a matéria-prima até ao produto final. Perante os problemas apresentados anteriormente, pretende-se propor um equipamento para a rastreabilidade, que possa:

- melhorar o funcionamento das linhas de produção/montagem.
- responder com maior celeridade a reclamações.
- identificar peças e lotes com eventuais defeitos.

- melhorar a gestão de stocks (base de dados) permitindo que não haja excessos nem faltas.
- melhorar a gestão de encomendas de forma a diminuir os custos de armazenamento.
- reduzir as interrupções na produção.
- recolher as mais variadas informações de toda a linha de produção on-line.

É imperioso que este projeto apresente uma solução de rastreabilidade em que os códigos não podem ser visíveis a olho nu pelo cliente.

1.3. Objetivos

O objetivo deste relatório passa por criar uma solução única de marcação de peças cerâmicas na sua conformação e que possa ser lida em qualquer momento da sua produção e no cliente final, não afetando as propriedades e a decoração das peças.

Para isso, será desenvolvido um novo sistema de marcação de peças cerâmicas com base em materiais ferromagnéticos e será desenvolvido um protótipo capaz de ler este novo sistema de marcação, processar os dados relativos à produção em tempo real e guardar toda esta informação numa base de dados.

Também será criado um sistema de rastreabilidade em que os elementos centrais são a marcação e o protótipo desenvolvidos. O sistema de rastreabilidade vai processar toda a informação, armazenar os dados de relevância numa base de dados, monitorizar o estado da produção em tempo real e mostrar o histórico de produção de cada uma das peças recorrendo a ferramentas de baixo custo, adaptáveis a diferentes cenários e *open-source*.

1.4. Organização do documento

No ponto 2 do documento, será apresentada a empresa, a sua história, serão explorados dados económicos e a explicação breve dos processos de fabrico, dando assim a perceção da importância da implementação de um sistema de rastreabilidade para controlo de qualidade na empresa.

No ponto 3 será feita a revisão da bibliografia, onde será explicado o contexto teórico em que se enquadra este projeto e a apresentação de soluções existentes de relevância.

No ponto 4 serão apresentados as tecnologias e os seus conceitos que serão utilizados no decorrer do projeto, a sua descrição e aplicabilidade.

O ponto 5 debruça-se sobre a implementação da solução e sobre as várias etapas e decisões no decorrer do mesmo.

Por fim, o ponto 6 terá como objetivo uma reflexão de todo o trabalho produzido, a sua contribuição para o avançar da tecnologia e da indústria e sobre os seus pontos altos e baixos

2. A Empresa

A Vista Alegre, SA é uma empresa centenária fundada por José Ferreira Pinto Basto. Localizada em Ílhavo, Portugal, a fábrica da Vista Alegre foi a primeira unidade industrial dedicada à produção de porcelana no país. Fundada em 1824, a fábrica situa-se perto da ria de Aveiro, zona rica em matérias-primas fundamentais para a porcelana. Com uma história rica, quer no plano social, sendo o primeiro bairro operário fundado a propósito de albergar os colaboradores, que incluía uma igreja, teatro, creche, refeitório, barbearia e campos de futebol; quer no plano político, sendo o seu fundador um grande impulsionador do liberalismo, tendo importantes cargos governativos; quer no plano cultural com as suas escolas de artistas. A importância da fábrica foi reconhecida logo passados cinco anos da sua fundação, aquando da atribuição do título de Real Fábrica pelo rei D. João VI, pela sua importância industrial e artística.



Figura 1 Entrada antiga da fábrica da Vista Alegre

A história da Vista Alegre pode ser dividida em oito períodos distintos, dependendo dos aspectos artísticos, expansão, etc (Guo, 2015):

- 1824-1834- Experiência e primeiros ensaios: início da fábrica e dificuldades iniciais.
- 1835-1853- O esplendor dourado: após a descoberta de caulino na zona de Aveiro e instalação de máquinas a vapor, atingiu-se um alto grau de desenvolvimento.
- 1853-1869- A pintura na arte cerâmica: desenvolvimento da arte da pintura cerâmica. Peças da Vista Alegre estiveram 6 anos expostas na Exposição Universal de Paris.
- 1870-1880- A importância do desenho: falta de capital, gestão, modelos e visão conduziram ao início de uma fase decadente, mas de onde surgiu a influência da fotografia nas peças de porcelana.
- 1881-1921- A época difícil: a fase decrescente agudizou-se sobretudo devido à primeira guerra mundial.
- 1922-1947- O ressurgimento: época marcada pela modernização e remodelação das instalações da fábrica e novas colaborações com artistas de arte Nova, atingindo o pico do desenvolvimento artístico.
- 1947-1968- Expansão: Fundação do museu da fábrica e começo de uma nova renovação na seleção e catalogação das peças.
- 1968-...- A dura prova: criados gabinetes que visam estimular a criatividade, a melhoria de produção e os elementos decorativos e explosão da estratégia de internacionalização da marca.



Figura 2 Conjunto Coleção Amazônia (Vista Alegre, 2021)

Parte desta história é contada no museu da fábrica, inaugurado em 1964, junto ao edifício da fábrica, onde estão em exposição as peças, ferramentas, equipamento industrial, fotos e documentos que marcam a história e o percurso da fábrica.

Reinventando-se ao longo dos anos e após as fusões com os grupos Cerexport e o grupo Atlantis, a Vista Alegre é hoje um dos maiores produtores mundiais de cerâmica de mesa, estando cotada na bolsa de Lisboa.

Em 2017 o Grupo Vista Alegre Atlantis contava com 1409 funcionários nos seus quadros, com uma proporção aproximadamente de 2 mulheres para 1 homem e com uma taxa de formação superior à volta dos 7%. (Da Costa, 2017; Milheiro, 2011).

2.1. Impacto Económico

Segundo os dados publicados na bolsa de Lisboa relativos a 2019, o volume de negócio da Vista Alegre nesse ano foi de 120 milhões de euros e tem um volume de exportação de 72.5%, sendo os principais mercados a França, Itália e Países Baixos (Figura 5).

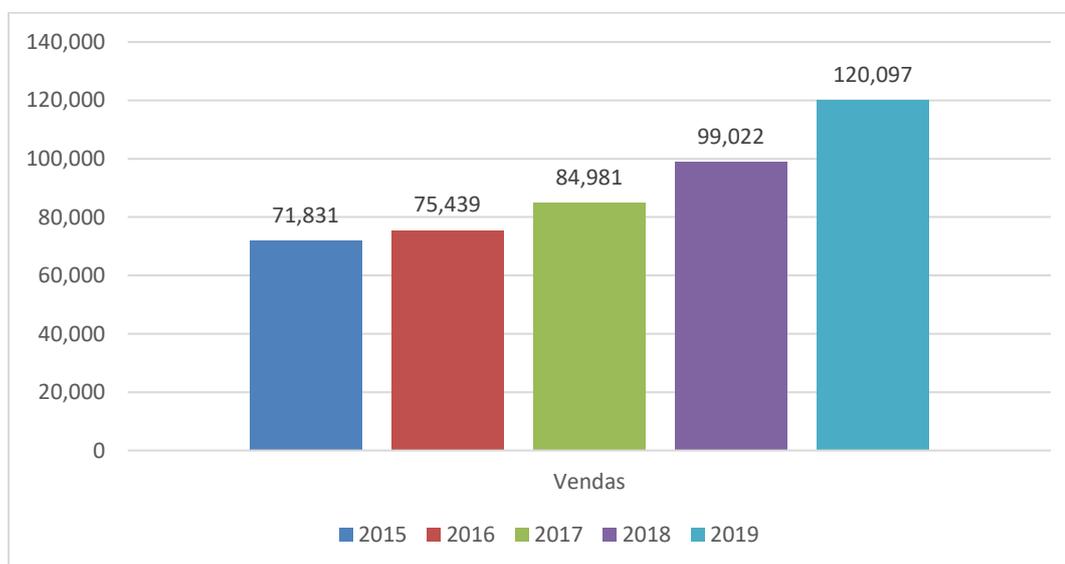


Figura 3 Evolução do volume de negócios de 2015 a 2019 (Euronext, 2021).

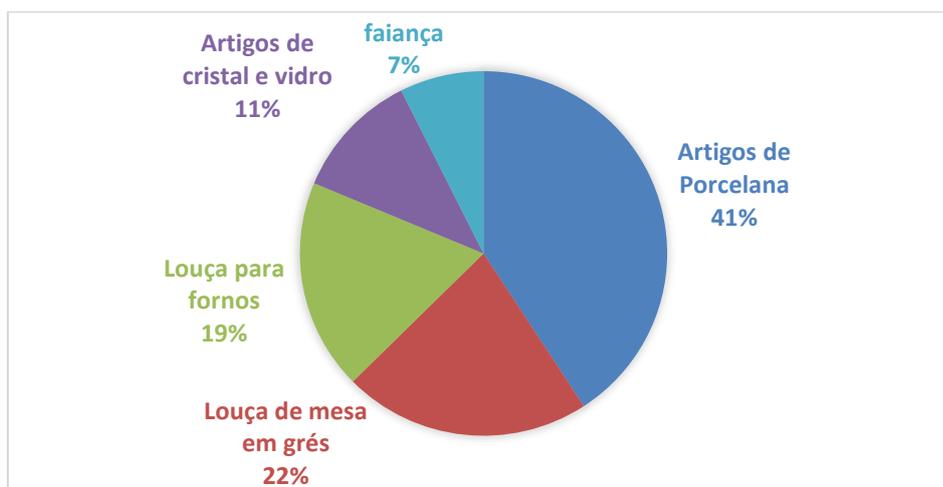


Figura 4 Vendas por família de produtos (Euronext, 2021)

O volume de negócios da empresa-se representa-se da seguinte forma: artigos de porcelana (40.8%), louça de mesa em grés (21.8%), louça para fornos (18,7%), artigos de cristal e de vidro fabricados a mão (11,3%), produtos de faiança (7.4%). O objeto deste trabalho serão os artigos de louça de mesa, que representam um quinto das vendas (Euronext, 2021).

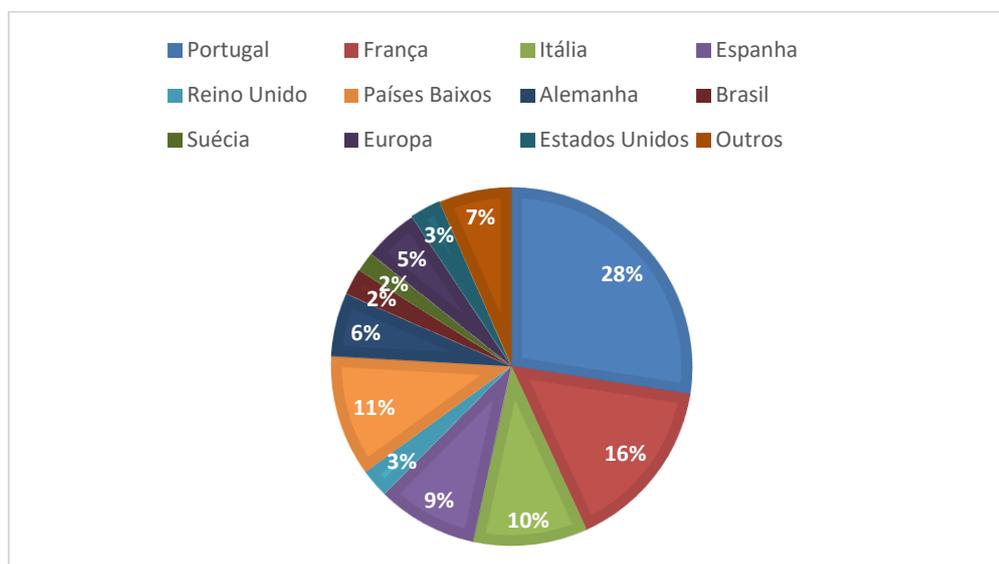


Figura 5 Vendas por mercados (Euronext, 2021)

2.2. Processo Produtivo

A Vista Alegre utiliza pasta de porcelana na produção dos seus vários produtos. Esta matéria-prima é composta por caulino, quartzo e feldspato em proporções variáveis, componentes responsáveis por conferir à pasta translucidez, brancura e resistência na medida certa para produzir peças finas e bonitas.

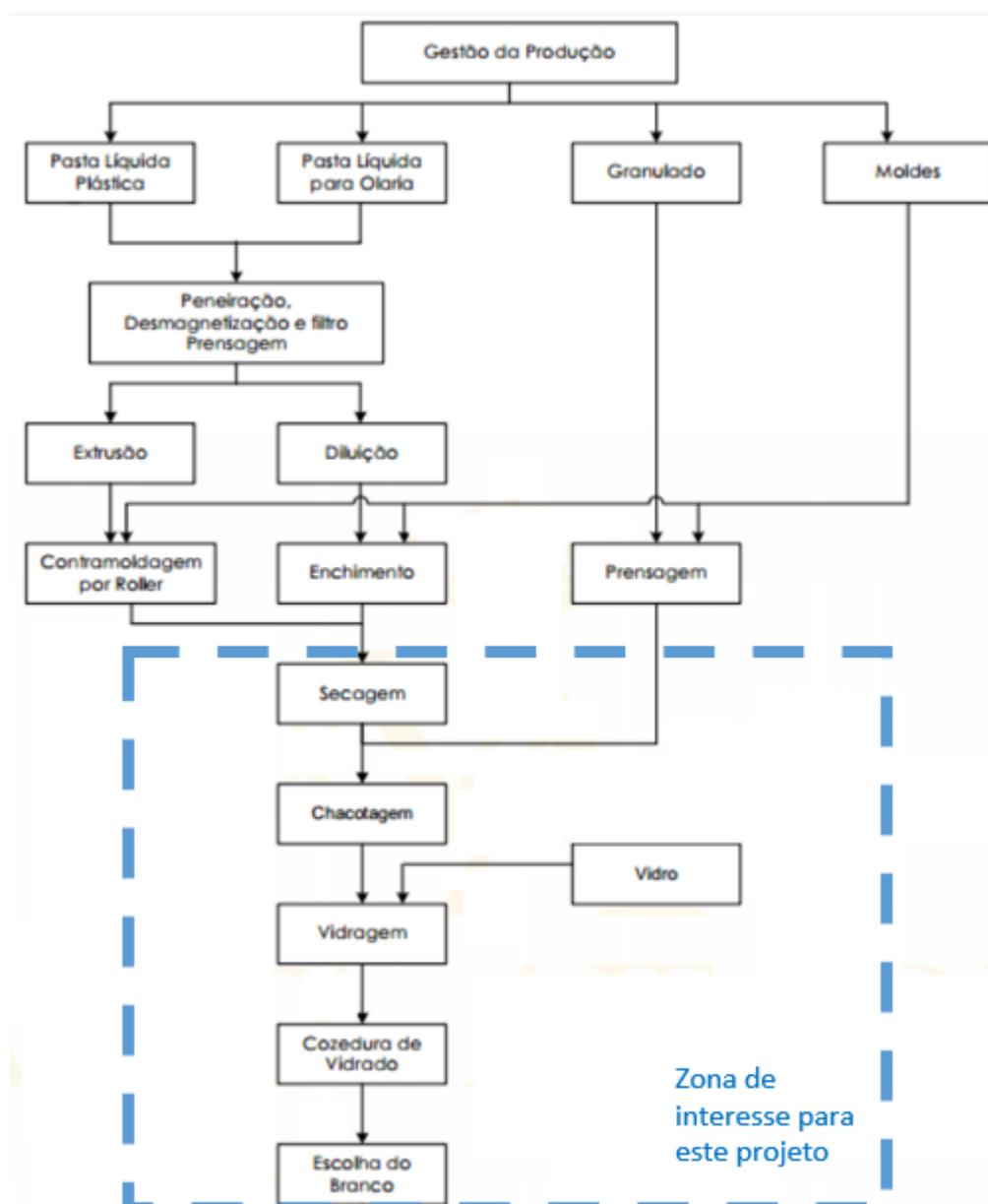


Figura 6 Processo produtivo geral da fábrica da Vista Alegre, adaptado (Silva, 2014)

O leque variado de produtos é feito essencialmente recorrendo a três tipos de produção diferente, que dependem do tipo de pasta com que o respetivo produto é feito, mudando as suas características: conformação por enchimento, em que a pasta líquida é vertida em moldes de gesso; conformação por contramoldagem, em que a pasta plástica toma forma devido à sua compressão sobre uma forma de gesso; e por conformação isostática, onde a pasta em forma de pó é comprimida a altas pressões num molde, saindo desse molde já seca. Este último tipo de conformação tem uma cadência muito maior do que os métodos tradicionais e é usada principalmente no fabrico de pratos e de peças planas (Vista Alegre, 2021).



Figura 7 Máquina roller usada no processo de contramoldagem (Silva, 2014)

2.2.1. Prensas Isostáticas

As prensas isostáticas requerem o uso de pasta em pó, também chamado de granulado, que é comprimido num molde a uma pressão de 300 bar (Milheiro, 2011). Após esta conformação, são retirados os rebordos das peças e empilhadas em colunas e transportadas para o forno, onde são cozidas entre em ciclos que variam de 14 a 18 horas, consoante a temperatura e condições definidas. Após a saída do forno, as peças são submetidas a um controlo de qualidade para detetar eventuais fraturas ou outros defeitos, antes de entrarem na linha de vidragem.

Nesta parte do processo, totalmente automatizada, as peças são submersas num líquido (vidrado), escorridas e entram num outro forno onde cozem em atmosfera oxidante durante 6 horas a uma

temperatura entre os 950 °C e 1050 °C (Cartaxo, 2012). Após esta cozedura do vidrado, as mesmas são empilhadas e transportadas para a área do “decorado”, onde se vai colocar o símbolo (Figura 8) e eventuais decorações dos produtos (Da Costa, 2017).



Figura 8 Carimbo com o símbolo da VA

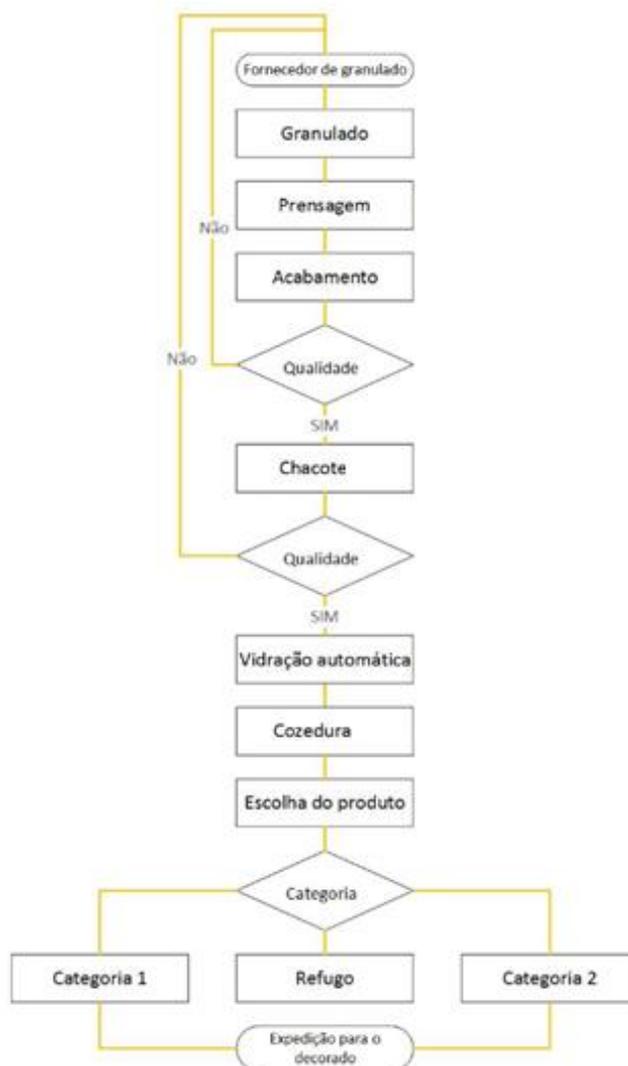


Figura 9 Fluxograma do processo produtivo relativo às prensas isostáticas, adaptado (Da Costa, 2017)

3. Revisão da Bibliografia

Este capítulo dá um enquadramento geral sobre o tema do relatório, navegando pelos conceitos chave que servem como base à proposta de uma solução para o problema que este projeto pretende resolver. É apresentado um enquadramento da solução num novo paradigma, a Indústria 4.0, caracterizando-o e explorando a sua evolução, características, componentes e perspectivas e é também descrita a base teórica da implementação de soluções de automação no contexto da Indústria 4.0.

Depois do enquadramento, é descrita a rastreabilidade e é feita uma exposição pormenorizada do estado das tecnologias IoT e suas aplicações.

Num ponto de vista mais específico deste relatório, é feita a descrição das tecnologias e materiais que servem como base à solução proposta e foca-se na descrição do efeito de Hall, da ferrite de ítrio.

Após a exposição do paradigma e descrição das tecnologias, a seguinte secção concentra-se na descrição dos sistemas SCADA, nas tecnologias de visualização de dados, assim como nas várias abordagens e dificuldades adjacentes ao tratamento de grandes quantidades de dados, e de uma ferramenta em específico, o Node-RED.

Por último, são apresentadas soluções propostas já existentes de relevância que servem de base à elaboração deste relatório.

3.1. Indústria 4.0

A Indústria 4.0, ou mais concretamente o seu conceito, foi apresentada ao mundo num artigo publicado pelo governo alemão em 2011 (Shafiq et al., 2019; K. Zhou et al., 2016) e em 2013 foi

oficialmente definida como estratégia pioneira para revolucionar a indústria na Alemanha (Xu et al., 2018), como parte do plano nacional para consolidar e promover a indústria alemã após a grave crise da dívida, em 2008 (K. Zhou et al., 2016). A Indústria 4.0 promove o conceito de que uma nova revolução industrial emerge na necessidade de convergir um conjunto de tecnologias muito avançadas que possibilitam a conexão em tempo real entre os espaços físicos e digitais (Olsen & Tomlin, 2020; Raptis et al., 2019).

Esta nova revolução vem na sequência de outras três revoluções industriais que começaram há quase 200 anos. A primeira revolução industrial marcou a transição da produção artesanal e manual para o processo industrial (Rojko, 2017) e foi fomentada pelo aparecimento das primeiras máquinas a vapor, a água e pela mecanização (Ghobakhloo, 2018). A segunda revolução industrial simboliza o aparecimento do conceito da produção em massa e do uso da energia elétrica na indústria (Xu et al., 2018), tendo como pioneiro Henry Ford nas suas linhas de produção, que proferiu a icónica frase “You can have any colour as long as it is black”. A terceira revolução industrial foi marcada pela eletrónica, uso dos computadores e pela automação no processo industrial (Ghobakhloo, 2018).

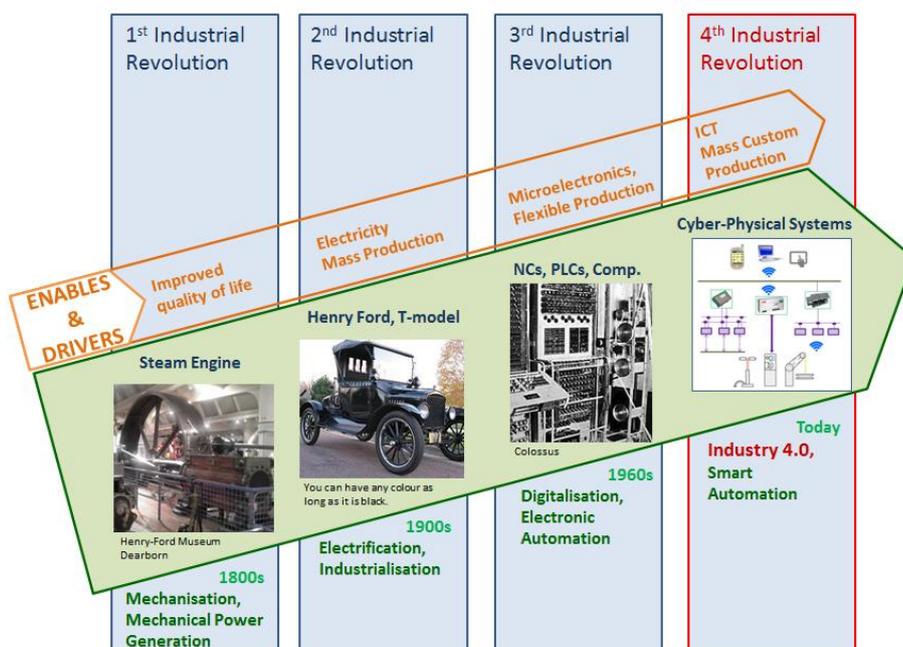


Figura 10 As diferentes revoluções industriais (Rojko, 2017)

Esta digitalização do processo de fabrico permitiu a flexibilização do mesmo, possibilitando que um leque mais alargado de produtos fosse possível de produzir nas linhas de produção sem afetar dramaticamente a sua cadência (Rojko, 2017).

A Indústria 4.0 foi impulsionada pelo desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação (Information and Communication Technologies, ICT) (Rojko, 2017) e é focada em criar fábricas inteligentes onde as tecnologias de produção são melhoradas e transformadas pelos espaços ciberfísicos (cyber.physical systems, CPS), pela Internet das coisas (Internet of Things, IoT) e pela computação em nuvem (cloud computing) (Kiangala & Wang, 2019; Shafiq et al., 2019; Xu et al., 2018; Zhong et al., 2017). Esta revolução foi alavancada por tecnologias como o fabrico aditivo (Additive Manufacturing, AM), IoT, inteligência artificial (artificial intelligence, AI), blockchain, robótica avançada e outras tecnologias relacionadas (Olsen & Tomlin, 2020).

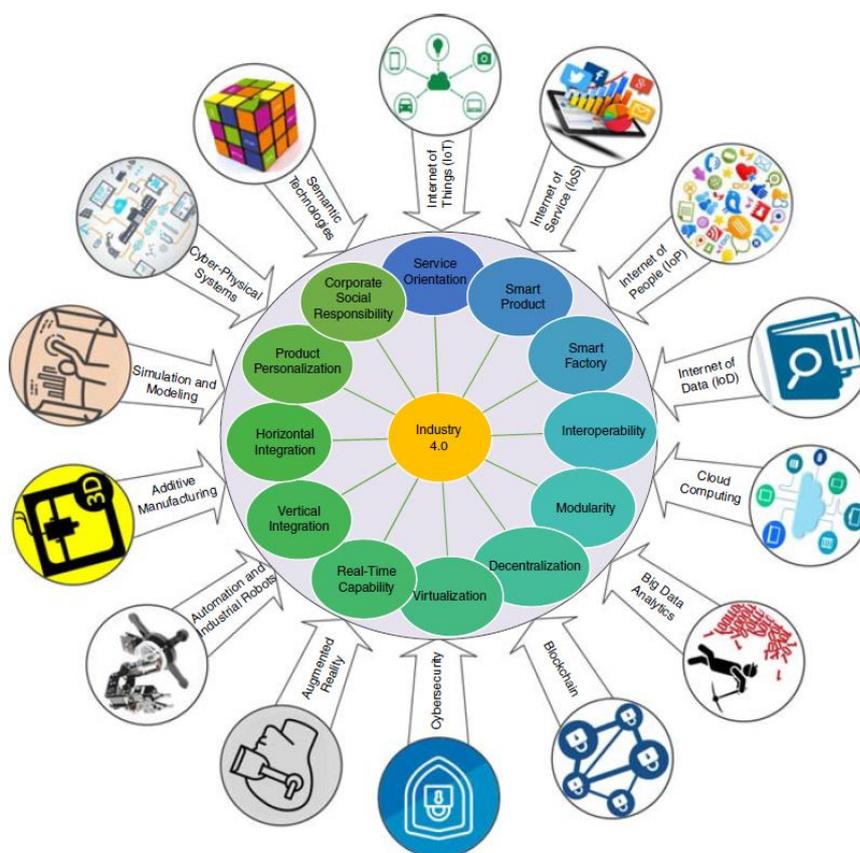


Figura 11 princípios e tecnologias da Indústria 4.0 (Ghobakhloo, 2018)

As fábricas inteligentes e a vantagem do uso de tecnologias de informação e de fabrico avançadas permitem atingir processos de fabrico flexíveis, reconfiguráveis e inteligentes que permitem dar resposta a um mercado globalizado e muito dinâmico (K. Zhou et al., 2016).

O aparecimento da Indústria 4.0 foi estimulado pelos recentes desenvolvimentos das ICT que permitiram integrar e estender os processos de fabrico a nível inter e intra organizacionais (Calderón Godoy & Pérez, 2018; Xu et al., 2018). Isto permite que todos os processos físicos e que todo o fluxo de informação esteja disponível onde e quando for necessário por toda a cadeia de abastecimento e de fabrico, sejam pequenas, médias ou empresas grandes (Zhong et al., 2017). As tecnologias embutidas no produto final também fazem parte do conceito de Indústria 4.0 e podem ser classificados como produtos inteligentes. Os produtos inteligentes podem dar informações acerca do histórico de produção dos mesmos, assim como podem providenciar novos serviços e soluções para o cliente (Frank et al., 2019). Individualmente e coletivamente, as tecnologias associadas à Indústria 4.0 permitem reduzir custos, aumentar a flexibilidade, aumentar a velocidade e aumentar a qualidade dos processos de fabrico e dos serviços, assim como permite que a interação entre estes processos seja mais harmoniosa e em tempo real (Olsen & Tomlin, 2020; K. Zhou et al., 2016). De acordo com alguns estudos, a Indústria 4.0 tem o potencial de reduzir os custos de produção entre 10 e 30%, os custos logísticos entre 10 e 30% e os custos de controlo de qualidade entre 10 e 20% (Rojko, 2017). Em suma, a transição de paradigma industrial para a Indústria 4.0 tem o potencial de aumentar drasticamente a eficiência e a competitividade das empresas. O conceito de Indústria 4.0 não afeta só a produção direta de cada empresa, mas toda a cadeia de valor dos produtos desde os fornecedores até aos clientes (Rojko, 2017).

3.1.1. Tecnologias preponderantes na transição para a Indústria 4.0

O plano para a transição de paradigma para a Indústria 4.0 pode ser resumido em: estabelecimento de uma rede, desenvolvimento das tecnologias principais e a conquista de objetivos base (K. Zhou et al., 2016).

Estabelecer uma rede CPS é o núcleo principal da Indústria 4.0. O CPS liga todos os elementos físicos e digitais à internet por meio de algoritmos, apresentando assim um alto nível de integração e coordenação entre todos os elementos, em tempo real. Os avanços no CPS permitem uma maior capacidade, adaptabilidade, resiliência, segurança, expansibilidade e facilidade de utilização do que os sistemas atuais, permitindo assim impulsionar inovações na indústria, transportes, agricultura, energia, automação e saúde (Xu et al., 2018). O CPS incorpora cinco funções: computação, comunicações, autonomia, coordenação e controlo de precisão (K. Zhou et al., 2016). A interação entre estas funções converge na criação do conceito de fábricas inteligentes e no avanço para uma nova idade industrial. Uma barreira ao progresso é a falta de tecnologia para criar interdependências mais profundas entre o CPS e o mundo real (Xu et al., 2018).

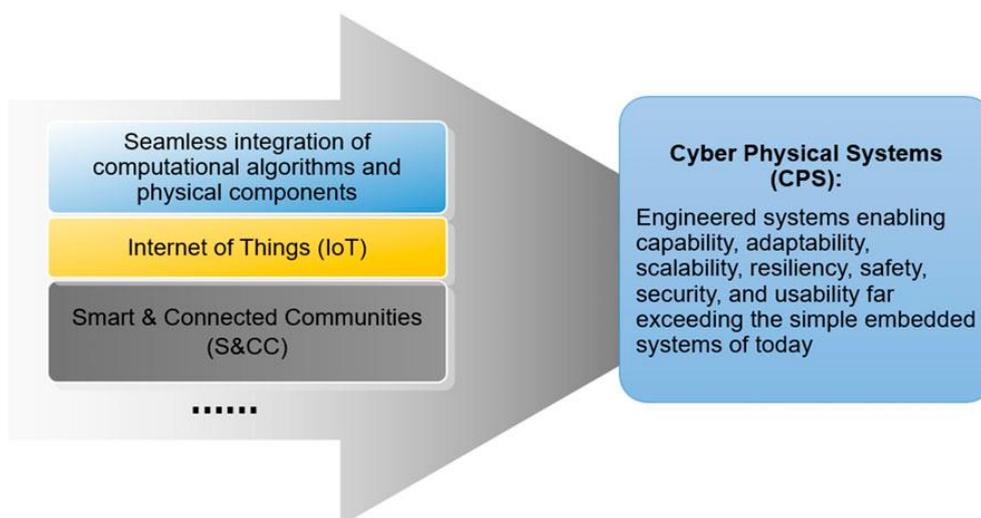


Figura 12 CPS (Xu et al., 2018)

A Indústria 4.0 é desenvolvida em torno de quatro conceitos principais que entre si estabelecem o conceito de fábrica inteligente, sendo eles a **cadeia de abastecimento inteligente, o trabalho inteligente, o produto inteligente e o fabrico inteligente**, sendo estas as tecnologias alvo da transição.

A **cadeia de abastecimento inteligente** promove a troca e integração de informação entre os clientes e os fornecedores ao longo de toda a cadeia de abastecimento, sincronizando as linhas de produção com os fornecedores de forma a diminuir os tempos de abastecimento e falhas na comunicação e informação entre empresas. Esta integração permite às empresas combinar os recursos humanos e físicos relativos ao fornecimento, libertando-os para tarefas relativas à produção ou desenvolvimento do seu respetivo *core business* (Frank et al., 2019).

O conceito de **trabalho inteligente** promove melhores condições que permitem aos trabalhadores aumentarem a sua produtividade e acesso remoto às informações do chão de fábrica. Ferramentas virtuais como a realidade aumentada (Augmented Reality, AR) e a realidade virtual (Virtual Reality, VR), podem contribuir para mais eficiente e segura formação dos trabalhadores, tal como trabalho de manutenção industrial, já que a necessidade de acesso aos espaços físicos é suprimida (reduzindo deste modo os riscos inerentes). Para além disso, a AR é tida em conta pela literatura como uma ferramenta de apoio à decisão e deteção de falhas. O trabalho inteligente, por sua vez, também engloba a interação entre humanos e máquinas, quer no apoio à tomada de decisão quer no apoio à produção com o uso de robôs colaborativos que, em certas funções, permitem diminuir os riscos inerentes à função sem a perda da flexibilidade de um humano (Frank et al., 2019).

Os **produtos inteligentes**, como mencionado acima, podem dar informações acerca do histórico de produção dos mesmos, assim como podem providenciar novos serviços e soluções para o cliente, criando novos produtos de valor acrescentado (Frank et al., 2019). Dotados de sensores capazes de recolher dados em tempo real, como os dados de localização, condições atmosféricas ou distância, os produtos inteligentes podem usar a informação armazenada sobre a própria produção para a

otimizar ou até mesmo controlar as linhas de produção ou para informar o fabricante sobre as aplicações que o produto teve ao longo do seu ciclo de vida (Rojko, 2017).

Por fim, o **fabrico inteligente**, que é a meta da Indústria 4.0, tem como propósito a otimização da produção e do histórico dos produtos, usando em pleno a informação e a tecnologia de fabrico (Zhong et al., 2017). Assente na logística, gestão, interação entre humanos e máquinas (human-to-machine communication, H2M) e nas tecnologias avançadas das ICT, o fabrico inteligente é muito flexível e reconfigurável. Estas características só são possíveis devido à sinergia entre os CPS e as ICT, onde os algoritmos tornam as máquinas e os robôs capazes de se auto otimizarem e auto organizar, quer individualmente quer no CPS, por meio de um contínuo fluxo de informação entre máquinas (machine-to-machine communication, M2M) (Rojko, 2017). O fabrico inteligente comporta em si mesmo várias tecnologias com muita preponderância que, integradas no CPS, tomam um papel indispensável no fabrico inteligente como a automação, blockchain, AR, VR, simulação, modelação, IoT, internet dos serviços (internet of services, IoS), AM, computação em nuvem e robótica avançada.

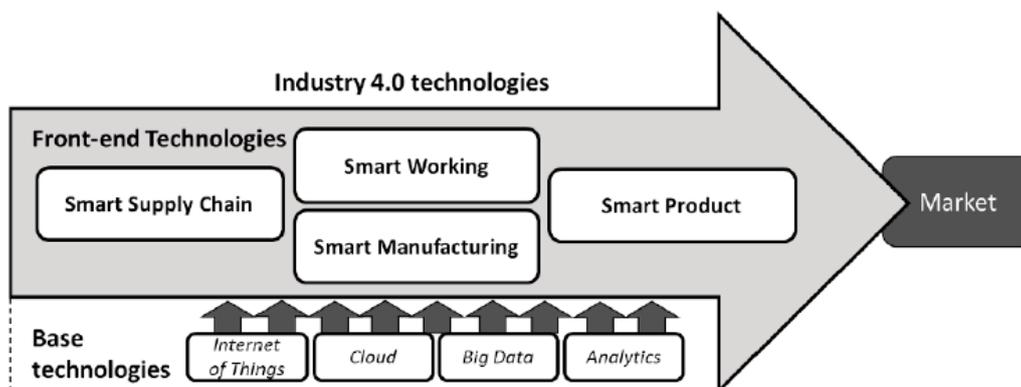


Figura 13 Principais tecnologias na Indústria 4.0 (Frank et al., 2019)

Segundo os autores (K. Zhou et al., 2016), os principais objetivos base da Indústria 4.0 são:

- Normalização dos sistemas e o desenvolvimento de uma arquitetura de referência;

- Gestão eficiente;
- Implantação de uma infraestrutura de comunicação industrial compreensível e fiável;
- Segurança e proteção dos bens e pessoas;
- Organização e conceção eficiente do trabalho;
- Formação contínua dos colaboradores e continuidade dos quadros;
- Definição de um quadro normativo;
- Melhoria da eficiência no uso de recursos.

A transição para a Indústria 4.0 é uma realidade e está a acontecer agora. Esta mudança de paradigma é uma consequência da estreita cooperação entre as principais tecnologias e avanços tecnológicos como o CPS, a computação em nuvem, a VR, a ciber segurança, a IoT, a capacidade de análise de grandes quantidades de dados (Big data), softwares de simulação, a comunicação M2M e a integração de robôs colaborativos (Moeuf et al., 2018).

3.1.2. Dificuldades de implementação das tecnologias da Indústria 4.0 e o seu futuro

Embora os benefícios da Indústria 4.0 sejam extensos e benéficos para o contínuo desenvolvimento da sociedade, uma transição de sucesso leva muitos anos a concretizar e os custos associados com a sua transição são muito altos. Muitas das tecnologias associadas à Indústria 4.0 ainda estão longe de atingir a sua maturidade, o que vai levar anos, quer de desenvolvimento, quer de investigação dos melhores sistemas de comunicação e cooperação entre as tecnologias.

Muitos dos obstáculos que as empresas enfrentam na transição para a Indústria 4.0 prendem-se, por exemplo, com os desafios técnicos ligados à IoT, onde uma rede heterogénea de sensores e dispositivos comunicam entre si em diversos sistemas de comunicação que muitas vezes não são

compatíveis entre si e não há uma plataforma que seja aceite consensualmente para acomodar essas comunicações, provocando problemas como o atraso na admissão de dados e na própria dificuldade em processar dados provenientes de protocolos de comunicações diferentes (Shafiq et al., 2019; Xu et al., 2018). Esta dificuldade em criar uma plataforma agregadora também se insere na dificuldade em criar e integrar um CPS nos processos de produção vigentes. A implementação do CPS tem de garantir que os fluxos de informação são rigorosos e transmitidos em tempo real, de forma a ajudar no processo de tomada de decisão e de controlo (K. Zhou et al., 2016). As infraestruturas digitais não estão preparadas para estas transição na maioria das empresas, sendo de imensa dificuldade convergir o espaço físico e o espaço digital num só, que seja dinâmico o suficiente para responder às especificidades que cada espaço carece. O processamento da Big Data é em si um enorme desafio, quer pela sua complexidade, quer pela sua importância, porque processamento de grandes quantidades de dados é parte fundamental no apoio à tomada de decisão, à otimização de recursos e ao controlo de operação. Processar grandes quantidades de dados provenientes de diferentes origens e com protocolos de comunicação diferentes é um desafio. Mesmo com uma implementação de um CPS funcional, dinâmico e completo, a proteção do CPS é essencial quer pela sua natureza dependente de estar ligada à rede quer pela quantidade de dados contida em si, mas pode tomar proporções maiores dependendo do sector em questão. Num futuro digital, a invasão do CPS de uma cadeia de transporte ou até mesmo de um bloco operativo pode custar vidas. Investimentos constantes em ciber-segurança têm de ser feitos dada a natureza deste ponto, que só pode ser sólida com um investimento em quadros altamente qualificados e em constante formação e no investimento de infraestrutura permanentemente atualizada em relação às ameaças atuais.

No entanto, as vantagens da implementação da Indústria 4.0 superam em muito os seus custos e barreiras. As grandes indústrias e grandes empresas, com experiência, recursos humanos e recursos financeiros muito mais disponíveis do que as pequenas e médias empresas (PME) estão na linha da frente na transposição destas barreiras, investindo fortemente nestas tecnologias e marcando passo na transição de paradigma, servindo de exemplo e de objeto de estudo. Segundos os autores Frank et

al., 2019, num estudo feito a uma parte do tecido empresarial, dividiram as empresas em três grupos distintos: empresas com alto, médio e baixo nível de adoção de tecnologias relativas à Indústria 4.0. Nesse estudo verificou-se que 63.3% das empresas do grupo com alto nível de adoção eram empresas grandes. Isto poderá verificar-se, dizem os autores, porque tornar uma linha de produção mais flexível pode requerer a implementação de muita tecnologia, a disposição da linha e os métodos de trabalho, o que se poderá ser financeiramente restritivo. Não obstante, a implementação de tecnologias associadas à Indústria 4.0 podem ganhar vantagem competitiva face às outras, concluem os autores. Outras limitações são apontadas por outros autores, nomeadamente a dificuldade em gerir uma rede diversa, complexa e extensa de novas tecnologias associadas à Indústria 4.0 (Moeuf et al., 2018; Shafiq et al., 2019). As PME's, normalmente caracterizadas por níveis altos de flexibilidade e de especialização, recursos financeiros muito limitados e foco em mercados de nicho, podem beneficiar de ajudas governamentais para a transição digital, como o programa Portugal Digital, para uma adoção de tecnologias relativas à Indústria 4.0 de uma forma suave. Para isto, é necessária uma mudança de mentalidade em relação à implementação da Indústria 4.0, onde é preciso ter abertura em mudar os processos atuais, integrar toda a rede de distribuição das várias empresas, transparência em relação à informação e uma cultura encorajadora da transformação digital de forma a atingirem uma vantagem organizacional, operacional e técnica relevante para serem mais competitivos (Ghobakhloo, 2018).

3.1.3. ANSI/ISA 95 - Pirâmide de automação

Com vista a normalizar a implementação da Indústria 4.0 e assim facilitar a sua execução e disseminação, foi criada uma norma pela Society of Automation com o nome de ANSI/ISA 95, ou conhecida por pirâmide de automação (Figura 14).

A pirâmide de automação caracteriza-se por ter uma arquitetura fixa que define 5 níveis na organização da produção (Raptis et al., 2019; Saturno et al., 2018). Estes 5 níveis de organização são

hierárquicos e fixos em que cada nível representa um conjunto de elementos organizacionais relativos à estrutura básica do funcionamento do processo produtivo.

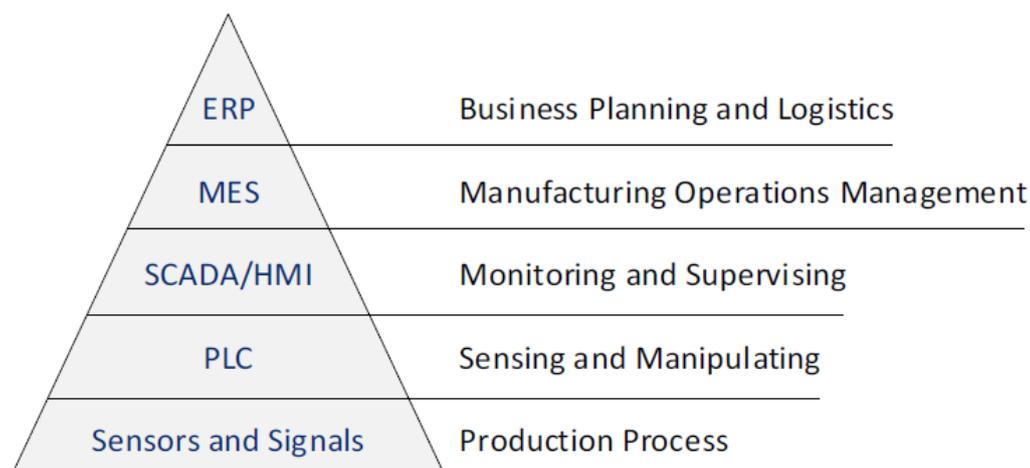


Figura 14 Pirâmide de Automação segundo a norma ISA-95 (Coito et al., 2019)

Na base da pirâmide encontra-se o nível da produção. Nesta camada estão incluídas as máquinas e todos os sistemas de sensoriamento relativos ao processo de fabrico, sejam eles para rastreabilidade ou manutenção preditiva. Tanto as máquinas como os sensores são os geradores primários dos dados necessários para a otimização do processo e para detetar eventuais problemas (Hoffmann et al., 2016), representando os processos físicos da produção.

No segundo nível da pirâmide encontram-se o nível de controlo, vulgarmente chamado de nível dos PLC's, embora incorpore outros tipos de controladores como os controladores de robôs. Os controladores são os computadores responsáveis por processar os sinais das máquinas, dos sensores e de outros equipamentos que forneçam informação digital no ambiente fabril (Hoffmann et al., 2016). Este é o nível correspondente ao tratamento dos dados obtidos na primeira camada para posterior controlo das máquinas e da produção.

Na terceira camada encontramos os sistemas responsáveis pela supervisão e monitorização da produção e é composta pelos sistemas de aquisição de dados e de controlo de supervisão (Supervisory

and data Acquisition, SCADA), pelos sistemas de controlo da distribuição de processos (Process Distributed Control System, DCS) e pelos interfaces entre as máquinas e os humanos (Human Machine Interface, HMI). Esta camada é responsável pela monitorização das condições de controlo e dos estados dos sistemas durante a produção (Hoffmann et al., 2016) pela troca de informação entre o sistema de controlo e o supervisor, sendo a arquitetura standard para a aquisição de dados na indústria (Coito et al., 2019).

Os fluxos de informação entre os três níveis mais baixos da pirâmide de automação estão estritamente ligados por um fluxo de dados pouco flexível entre diferentes interfaces que não podem ser interpretados de forma dinâmica, o que na maior parte das vezes significa que este fluxo de dados serve somente para controlar diretamente a produção (Hoffmann et al., 2016). Estes níveis são seguidos do nível dos processos de produção e de operação responsáveis pela gestão da produção a partir de indicadores de produtividade, qualidade e de manutenção em tempo real (Saturno et al., 2018). Estes indicadores são fornecidos por sistemas como o sistema de execução de produção (Manufacturing Execution System, MES), sistema de gestão de armazém (Warehouse Management System, WMS) ou o sistema de gestão de informações de laboratório (Laboratory Information Management System, LIMS). De entre as várias funções destes sistemas pode-se assinalar as funções de notificação, agendamento, expedição, localização do produto, análise de desempenho, alocação de recursos, gestão de operações de manutenção entre outros (Rojko, 2017). Os sistemas como o MES estabelecem a ligação entre o chão de fábrica e os sistemas empresariais, proporcionando Inteligência Comercial (Business Intelligence, BI) e são assim usados para calcular os indicadores de sucesso (Key Success Indicators, KPIs) e a eficiência geral dos equipamentos (Overall Equipment Effectiveness, OEE) ao darem informações estatísticas da produção e colaborando com os sistemas de tomada de decisão (Coito et al., 2019). As ferramentas MES requerem uma avançada estrutura de IT ao nível do chão de fábrica e as soluções disponíveis no mercado são centralizadas e não oferecem a flexibilidade necessária para ajustar ou mudar a produção ou a configuração do chão de fábrica (Rojko, 2017), condição essencial para uma plena implementação da indústria 4.0.

No topo da pirâmide de automação estão os sistemas de processamento de informação de toda a rede da empresa, incluído o planejamento comercial, a logística, recursos humanos, contabilidade e toda a rede fornecimento, de distribuição assim de como todos os sectores essenciais de cada empresa. Estes sistemas de planejamento (Enterprise Resource Planning, ERP) trabalham em tempo real e centralizam a tomada de decisão no último nível da pirâmide.

As ferramentas MES e ERP são usualmente modulares e variam consoante os requisitos específicos de cada empresa.

3.1.3.1. A implementação de três tipos de integração

Os três tipos de integração são a integração vertical, a integração horizontal e a integração *end-to-end*.

A integração horizontal refere-se à integração entre os recursos e a rede de informação dentro da cadeia de valor, com o objetivo de atingir uma cooperação perfeita entre empresas para fornecer produtos e serviços em tempo real.

A integração vertical refere-se a uma cadeia de sistemas de produção ligados entre si dentro das fábricas inteligentes, em alternativa às atuais linhas de produção que têm pouca flexibilidade. Esta integração inclui todos os níveis hierárquicos da empresa o que ajuda a que os processos de tomada de decisão sejam menos dependentes da intervenção humana (Frank et al., 2019).

A integração *end-to-end* refere-se à integração em toda a cadeia de valor de sistemas digitais e numéricos que por meio de IoT processam todos terminais em todas as fábricas inteligentes, maximizando a personalização do produto. A inter conexão pode ser humano para humano (human to human, H2H), H2M, M2M e serviço para serviço (service to service, S2S) são essenciais para atingir uma completa integração horizontal, vertical e *end-to-end* (K. Zhou et al., 2016).

A Figura 15 exemplifica a complexidade da comunicação e das relações em sistemas industriais automatizados.

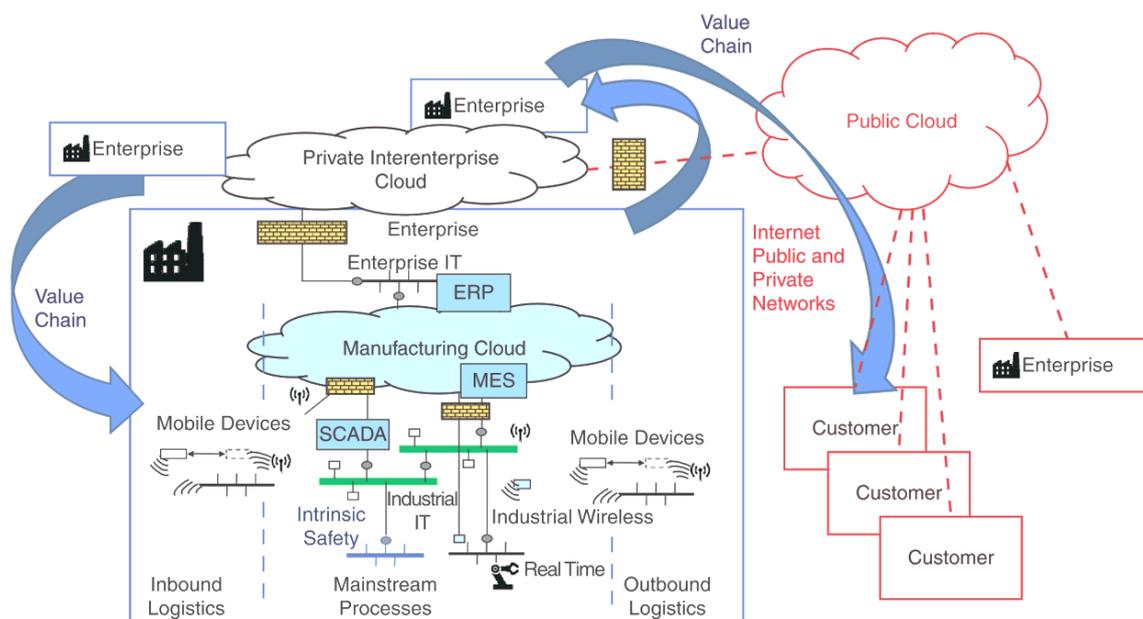


Figura 15 Complexidade da comunicação e das relações em sistemas industriais automatizados

(Wollschlaeger et al., 2017)

3.2. Rastreabilidade

A Rastreabilidade pode ser caracterizada como a habilidade de localizar e monitorizar os recursos em todo o seu ciclo de vida em tempo real (Coito et al., 2019).

Segundo a ISO 8402 (Barata et al., 2018) a rastreabilidade de produtos define-se como a capacidade de retrazar o histórico de um artigo ou atividade, o seu uso ou localização, através de registos de identificação. Este conceito foi promovido, essencialmente, pelos referenciais normativos ISO 9001, visto que o recurso à informação do percurso realizado pelo produto pode reduzir a taxa de não conformidades, aumentando, assim, a satisfação do cliente e outras partes interessadas. Atualmente, dado que a utilização de novas tecnologias preconizadas pela Indústria 4.0 permite otimizar tempos e custos através da identificação automática de itens, a comunidade científica tem vindo a debruçar-

se à cerca de formas inovadoras de identificação inteligente de artigos, nas suas diferentes fases de ciclo de vida.

Devido à grande variedade de dispositivos relacionados com a IoT, existem diversas fontes de informação e uma enorme quantidade de dados recolhidos, o que, conseqüentemente, implica que os sistemas de rastreabilidade de produtos atuais apresentam falhas operacionais, nomeadamente problemas relacionados com a integração de dados.

Para existência de rastreabilidade, o sistema deve ser capaz de identificar item por item e de registar datas de produção por item (Wakayama et al., 2007). Segundo Wakayama (2007), o sistema de código de barras 1D é incapaz de suportar grandes quantidades de dados, mas por outro lado, a capacidade de armazenamento de informação através de RFID pode tornar-se dispendiosa. A escolha da tecnologia a utilizar deve ser feita, então, tendo em conta as características do produto (ou tecnologia de produção) mas também os requisitos estratégicos da organização.

3.2.1. Internet das Coisas (IoT)

Com o aparecimento e desenvolvimento da Internet, a comunicação entre computadores, pessoas e dispositivos tornou-se uma realidade, e mais do que isso, tornou-se algo fundamental ao funcionamento da sociedade tal como a conhecemos. Estima-se que a Internet ligue 2 mil milhões de pessoas em todo o mundo (Paul & Jeyaraj, 2019) assim como é estimado que ligue 25 mil milhões de dispositivos em 2020 (Ray, 2018), assim como é estimado que ligue 50 mil milhões de dispositivos em 2022 (Lekić & Gardašević, 2018), provando a exponencialidade do uso da IoT. Esta realidade foi exponenciada com o aparecimento das comunicações móveis e da internet móvel, permitindo a comunicação instantânea, em tempo real e em qualquer lugar e mudou de forma irreversível a forma de como as pessoas e as máquinas comunicam.

Também na Indústria o aparecimento da internet revolucionou os processos e é figura central na revolução da Indústria 4.0. O plano alemão para a Indústria 4.0 constata que para se alcançar uma produção inteligente plena se vai fazer um maior uso da Internet e da IoT para as interações entre pessoas, entre máquinas e entre pessoas e máquinas (K. Zhou et al., 2016), misturando a realidade virtual com a realidade física, integrando o CPS como uma peça fundamental ao seu conceito (Xu et al., 2018).

O termo IoT apareceu pela primeira vez para identificar objetos com códigos imutáveis usando a tecnologia da identificação por radiofrequência (radio-frequency identification, RFID), que permitia aos usuários identificar e localizar automaticamente os seus produtos em tempo real, pela internet. Atualmente, o termo IoT ainda não é consensual entre os académicos devido aos interesses específicos das várias partes (Ghobakhloo, 2018), no entanto, será correto descrever como um conjunto de tecnologias (Figura 16) como o GPS, sensores, atuadores, RFID e dispositivos móveis, desde que ligados a um componente capaz de comunicar por WiFi, Bluetooth ou por NFC (Xu et al., 2018; Zhong et al., 2017; K. Zhou et al., 2016). Esses dispositivos não são considerados computadores mas que possibilitam a troca de informações entre os vários dispositivos físicos por meio de protocolos de comunicação como o IPv6, Zigbee ou Bluetooth (Xu et al., 2018). Cada objeto nesta rede virtual representa um nó com a função de estar continuamente a transmitir informação acerca de si e do meio em redor (Boyes et al., 2018).

No contexto deste relatório, os dispositivos IoT, ou também chamados IIoT (Industrial Internet of Things (Boyes et al., 2018; Ghobakhloo, 2018; Xu et al., 2018)), oferecem uma melhor perceção das operações e dos estado da produção e das máquinas, sendo um dos pilares da produção inteligente através da integração de sensores, microprocessadores e software na produção, contribuindo na transformação da produção em produção inteligente, integrada no CPS.

A evolução e disseminação das tecnologias IoT foram fomentadas pelo exponencial aumento da velocidade dos microprocessadores e em sentido contrário, pela drástica descida do preço dos

sensores e dos processadores (Olsen & Tomlin, 2020). Estes fatores, aliados aos restantes avanços tecnológicos nas ICT, permitiram que os CPS se tornassem uma realidade, contribuindo para que a informação passasse a ser fidedigna e em tempo real, apoiando os elementos decisores nas empresas, algo nem sempre possível nas PME's (Moeuf et al., 2018).

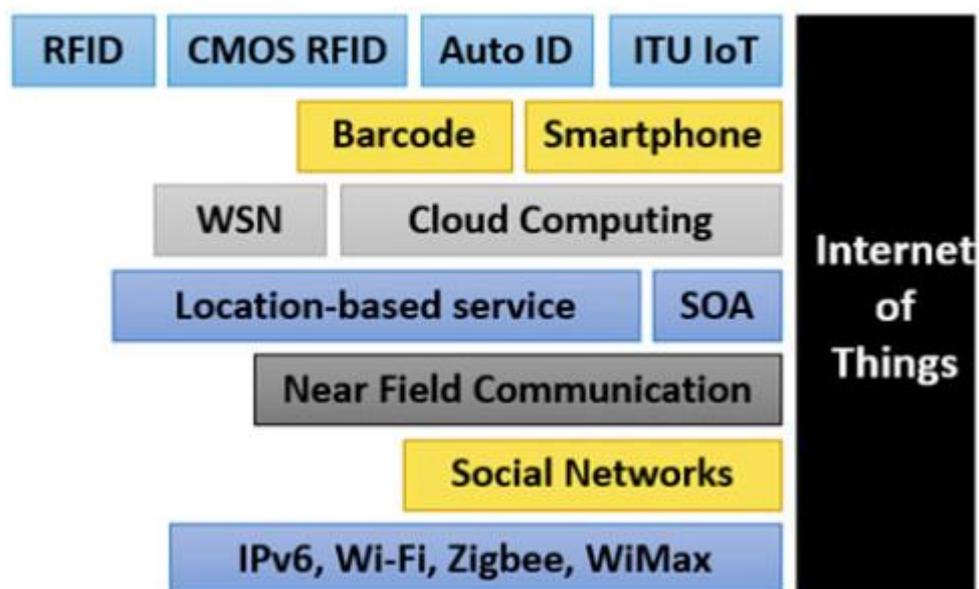


Figura 16 Tecnologias e dispositivos ligados à IoT (Xu et al., 2018)

A tecnologia WSN inclui a família dos sensores e de todos os dispositivos de sensoriamento e monitorização, permitindo diferentes tipologias de redes e permitindo uma comunicação em malha. Com aplicações no setor dos transportes, saúde, rastreamento, transitários, defesa, retalho e outros (Xu et al., 2018). Úteis não só a dar informações em tempo real sobre o estado dos produtos ou das máquinas, os sensores também são usados com frequência para monitorizar as condições em redor, como por exemplo temperatura, humidade, luminosidade, são capazes de captar enormes quantidades de dados numa malha heterogénea e trabalhar com algoritmos para aumentar a eficiência e a segurança.

Os sensores IoT contribuem para o CPS com características preciosas como o vasto leque de aplicações, flexibilidade e conectividade em tempo real, ajudando no processo de tomada de decisão, otimização de processos, manutenção preditiva, manutenção preventiva, entre outros (Ghobakhloo, 2018; Olsen & Tomlin, 2020).

A aplicação das tecnologias IoT nos produtos permite recolher e gerir os dados obtidos dos mesmos, otimizando a gestão do ciclo de vida dos produtos (Product Lifecycle Management, PLM) (Xu et al., 2018).

A IoT também permite, fora do contexto industrial, aplicações como a vigilância de ruas (China), examinar potenciais impactos da sociedade (Estados Unidos da América), criação de um sistema IoT urbano no contexto das cidades inteligentes (Itália) entre outras, sendo considerada hoje uma tecnologia de vanguarda, pela sua enorme variedade de aplicações e pelo potencial de melhorar a vida humana (Paul & Jeyaraj, 2019; Zhong et al., 2017).

A interação entre humanos e máquinas e entre máquinas, propiciada pelas várias tecnologias IoT, permitiu que a automação e os processos automáticos melhorassem muito, assim como a flexibilidade dos processos, avançando para novos sistemas de produção que processam dados em tempo real entre os espaços físicos e digitais do CPS (Moeuf et al., 2018; Sánchez et al., 2016; Xu et al., 2018).

A IIoT representa uma filosofia onde as máquinas inteligentes superam os humanos em matéria de precisão na troca e captura de dados (Ghobakhloo, 2018) e é estimado que em 2025, o impacto da IoT no mundo exceda os milhares de milhões de euros, com a maioria deste impacto a ser atribuído à manutenção, produtividade, inventário e otimização de processos, prevendo-se uma imensa mudança nos processos atuais (Olsen & Tomlin, 2020).

3.2.2. Efeito de Hall

O efeito Hall foi descoberto em 1879 pelo físico Edwin Herbert Hall. É descrito como a interação entre cargas elétricas em movimento e um campo magnético externo (Fraden & Rubin, 1994). Quando um elétron se move num campo magnético, uma força lateral atua sobre ele (Lei de Faraday):

$$\vec{F} = q\vec{v}\vec{B}$$

onde q é a carga elétrica do elétron, v é a velocidade do elétron e B é a intensidade do campo magnético. O vetor que indica a direção da força é encontrado pelo cálculo do produto externo entre as grandezas vetoriais do campo magnético e da velocidade do elétron. De forma simplificada, esta direção pode ser encontrada pela regra da mão direita (Figura 17).

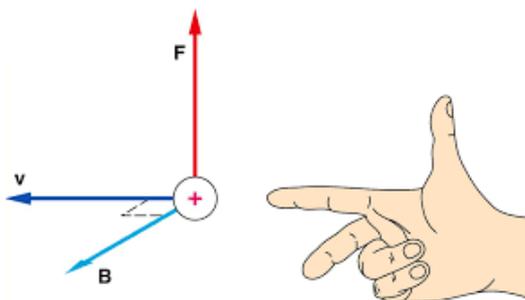


Figura 17 Regra da mão direita

Na prática, quando uma corrente atravessa um condutor e é sujeito a um campo magnético, uma força gerada por esta interação é originada no condutor, movendo as cargas negativas e positivas do condutor para lados opostos, funcionando como um condensador de placas paralelas. A diferença de potencial gerada pode ser medida em paralelo com um voltímetro (Figura 18), que mede a tensão de Hall, V_H . O sinal e a amplitude estão dependentes da intensidade do campo magnético e da direção da corrente elétrica.

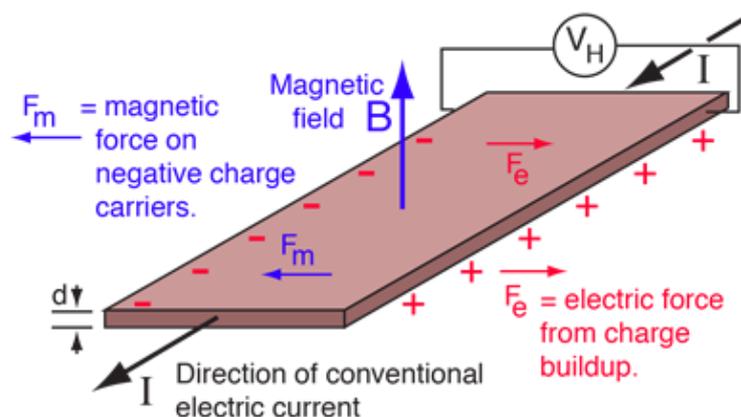


Figura 18 Esquema do Efeito Hall

Simplificando, no âmbito do trabalho podemos usar um voltímetro para medir se há oscilações na diferença de potencial, o que nos indica se há ou não alterações no campo magnético ou na intensidade da corrente. Neste caso específico, ao verificar-se alguma alteração, esta deve-se a fatores externos que influenciarão o campo magnético, tais como a presença de corpos condutores ou semicondutores.

Os sensores de Hall têm diversas aplicações na indústria, quer para detecção de elementos metálicos (Figura 19) que para monitorizar o número de rotações de um sistema ou outros eventos mecânicos (Figura 20).

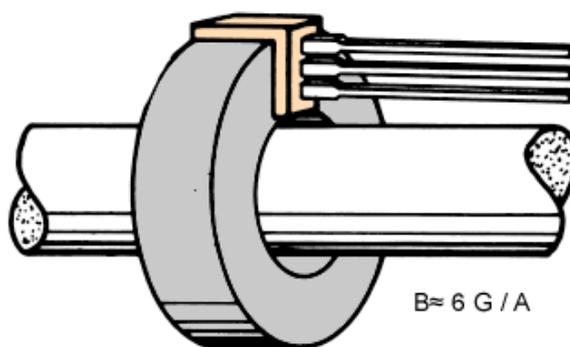


Figura 19 Uso de um ímã toroidal para detecção de um corpo metálico (MicroSystems AllegroTM, 2019).

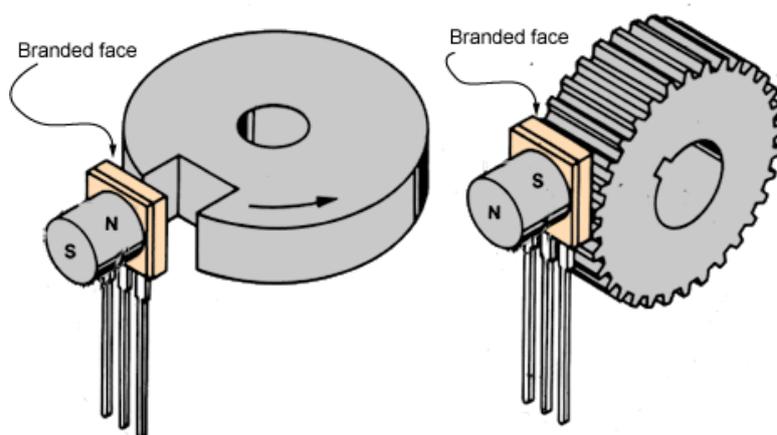


Figura 20 Aplicação de sensores Hall para detecção de eventos mecânicos (MicroSystems Allegro™, 2019).

3.2.3. Materiais Ferromagnéticos

Caracterizando-se por ser um fenômeno físico associado à atração de certos materiais, o magnetismo, embora fortemente ligado aos materiais ferrosos, é uma característica fundamental de qualquer substância, pois todas as substâncias em qualquer temperatura e em qualquer estado são influenciadas de algum modo pelo campo magnético, tendo essas propriedades origem na própria estrutura atômica das substâncias (Attux, 2016; Graça, n.d.). O magnetismo tem sempre dois polos ou centros magnéticos, traduzindo-se numa natureza dipolar.

A criação de campos magnéticos (H) e conseqüentemente do fluxo magnético (B) pode ser induzida pela ação de correntes elétricas estacionárias (Figura 21) ou por correntes de magnetização provenientes de imanes permanentes. A grandeza utilizada para definir a intensidade do campo magnético é o Ampére por metro ($A \cdot m^{-1}$).

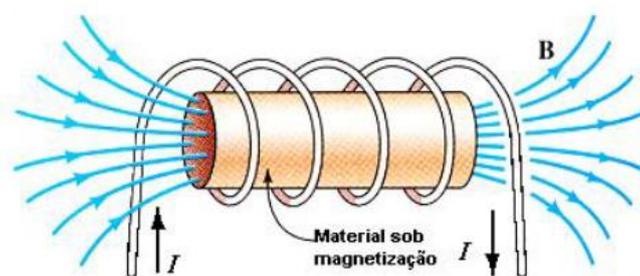


Figura 21 Indução de campos magnéticos por influência de correntes elétricas estacionárias (Graça, n.d.)

Os materiais ferromagnéticos são de todos os materiais os que possuem mais forte interação entre os dipolos magnéticos e conseqüentemente são os que apresentam maiores níveis de magnetização.

O ciclo de magnetização e desmagnetização, denominado ciclo de histerese, em que a área interna mede o trabalho realizado pela magnetização e desmagnetização (Figura 22).

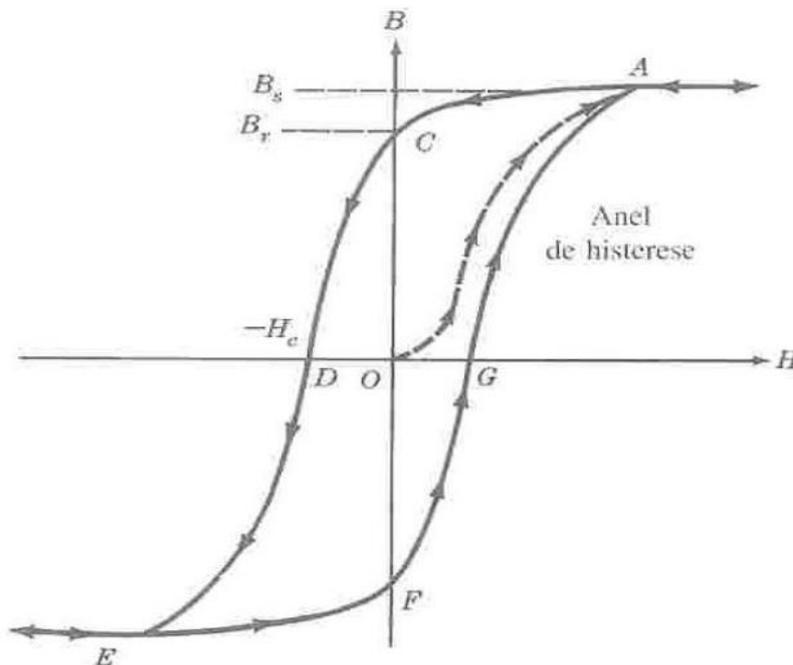


Figura 22 Ciclo de histerese de um material ferromagnético. A curva OA representa a magnetização inicial de um material desmagnetizado (Pinho, 2009).

3.3. Sistemas SCADA

Ainda nos anos 60 surgiu a necessidade de monitorizar e controlar os vários processos, o que levou ao aparecimento dos sistemas SCADA, pois antes do aparecimento dos computadores o controlo dos sistemas era feito por operadores que iam pessoalmente a todos os pontos de interesse ver o estado dos sistemas ou por um operador que estava permanentemente em cada ponto e que comunicava o estado do sistema por via de telefone ou outro sistema de comunicação existente à data (Ujvarosi, 2016).

Com o desenvolvimento dos computadores e dos sistemas digitais, a complexidade dos sistemas industriais aumentou assim como a quantidade de informação que é necessária monitorizar constantemente nestes sistemas, permitindo assim a criação de sistemas de monitorização e controlo da dados, sistemas SCADA, que consistem na supervisão e controlo, ajudando na monitorização do equipamento ou da produção com informação precisa proveniente dos sensores, dos atuadores e dos vários terminais instalados (Remote terminal units, RTU), sempre trocando informação com as unidades de controlo (Calderón Godoy & Pérez, 2018; Li et al., 2002) e com o MES, possibilitando informações em tempo real para os operadores e guardando e tratando dados que é essencial no processo de tomada de decisão.

Com a evolução da complexidade e quantidade de dados alusiva aos sistemas industriais e com o surgimento e desenvolvimento das ICT, a informação consolida a mistura entre o mundo físico e o digital, essenciais na fábrica inteligente e na I4.0, representando as características dos meios físicos de forma digital, possibilitando a extração dessa informação (Raptis et al., 2019).

A informação também permite o controlo rápido dos ciclos de produção com uma fiabilidade muito grande, fluindo em toda a cadeia de valor, o que se reflete numa grande quantidade de dados que não é tratada na sua totalidade porque representa o estado de máquinas ou de produtos e é usada apenas para monitorização (Raptis et al., 2019).

Sistemas especializados como os SCADA estão associados a custos elevados o que representa uma barreira para a sua adoção e respetiva transição para a Indústria 4.0, no entanto tem-se verificado um crescente desenvolvimento de soluções open-source para sistemas de automação e SCADA como o Proview, Labview (Merchan et al., 2018) entre outras impulsionadas pelas soluções relacionadas com a IoT e com novas linguagens de programação mais acessíveis e por nós, como o Node-RED.

Os sistemas SCADA podem considerar-se confiáveis no ponto de vista das avarias e das falhas devido às funções de segurança que possuem (Ujvarosi, 2016), e têm infindáveis aplicações nas áreas da manutenção, rastreabilidade, observação e controlo em tempo real, apoio à tomada de decisão, operação remota, localização de avarias entre outros, no entanto as soluções clássicas de SCADA são caras e têm um desenvolvimento lento (Nițulescu & Korodi, 2020).

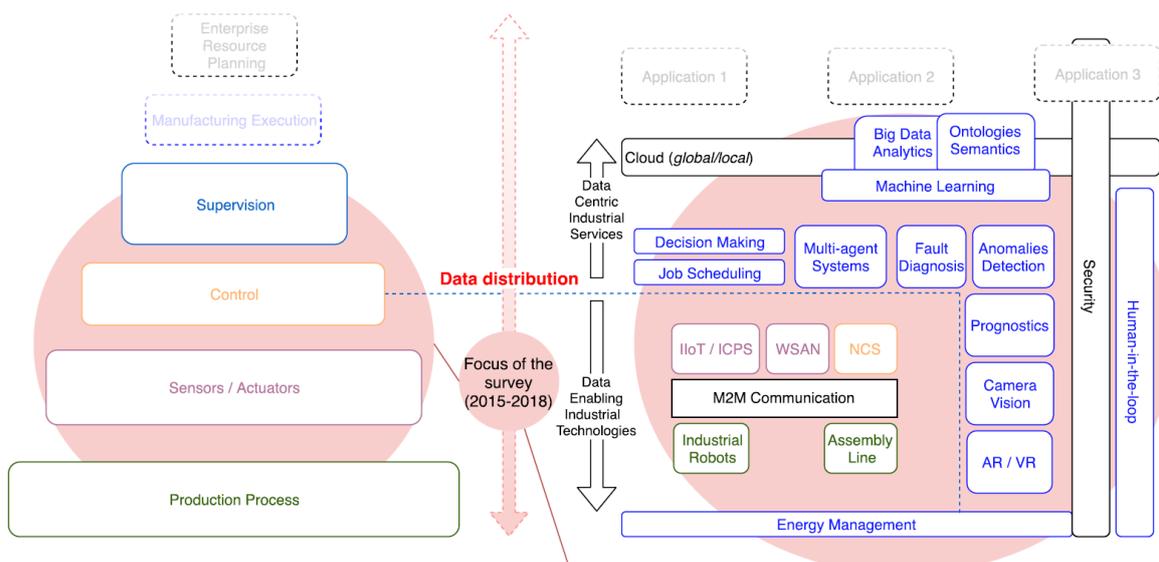


Figura 23 Tecnologias associadas aos sistemas SCADA (Raptis et al., 2019)

3.3.1. Visualização de dados na Indústria 4.0

A visualização de dados é uma ajuda importantíssima em ambiente laboral ou académico como ferramenta de apoio à tomada de decisão, à validação de testes ou na comunicação de informação a terceiros. A visualização da dados pode, só por si, contar uma narrativa própria sem recorrer a outros

meios, servindo-se de representações visuais como gráficos das mais variadas formas que exploram características como o tamanho, a forma ou a cor e que comparam a informação ao longo do tempo ou com outra informação comparável.

Com o advento da Indústria 4.0, novos desafios relativos à visualização de dados se impuseram, muito por causa das grandes quantidades de dados captadas pelos sensores e também pela digitalização de documentos em papel (Ali et al., 2016), que criaram obstáculos no campo do armazenamento, análise, partilha, processamento e visualização de grandes quantidades de dados que sem ser tratada, é de muito difícil interpretação, sendo imperativo para as empresas e instituições arranjar sistemas que melhorem o processo de tomada de decisão, melhores políticas e melhor planeamento (Ali et al., 2016; Ghobakhloo, 2018; Miragliotta et al., 2018; Poletto et al., 2017). Na maioria das indústrias é consensual que a análise de dados na gestão do apoio ao cliente é benéfica para o aumento da satisfação dos clientes (Zhong et al., 2017)

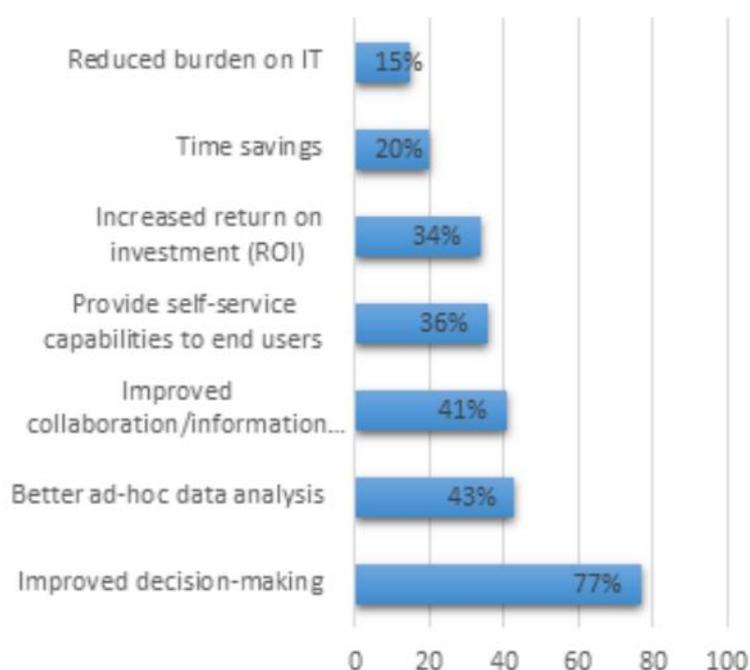


Figura 24 Benefícios da visualização de grandes quantidades de dados (Ali et al., 2016)

Os grandes fluxos de dados da indústria 4.0 distinguem-se dos antigos paradigmas pela regra dos 5Vs: maior Volume, maior Velocidade, maior Variedade, maior Valor e menor Veracidade. Os desafios atuais não se resumem só no processamento da dados em grandes quantidades, mas também dados com maior variedade e sem estrutura (Ali et al., 2016).

A maneira de como se visualiza os dados é complexa, dispõe de variadas técnicas, ferramentas e estratégias.

A visualização dos dados pode ser estruturada com diferentes objetivos de narrativa: em transições estáticas que normalmente recorrem a gráficos com eixos temporais para descrever eventos num espaço de tempo definido; em transições animadas que apresentam imagens variáveis de permitem ao utilizador desenvolver uma imagem mental mais adequada da informação recorrendo a gráficos de barras, circulares, dispersão, etc e de outras ferramentas (Tong et al., 2018). A narrativa também pode ter o objetivo de ser criada para facilitar a memorização por parte do utilizador como pode ser desenvolvida de forma a incentivar à interpretação por parte de cada utilizador (Ma et al., 2012; Tong et al., 2018).

Os dados podem ser apresentados em tempo-real, por meio de dashboards; de forma dinâmica por meio de gráficos de linhas, barras, circulares e outros; de forma interativa, onde o utilizador pode manipular os dados e construir uma visualização dinâmica (Ma et al., 2012); in-memory, em que os dados são apresentados a diferentes utilizadores de forma a cada um deles formar uma opinião distinta com o objectivo de melhorar as estratégias de negócio; e a forma segura, onde diferentes tipos de utilizadores têm acesso a diferentes tipos de dados de forma a aumentar a segurança e diminuir o espaço que os dados ocupam (Raghav et al., n.d.).

Quanto às formas a que a visualização de dados pode recorrer para analisar os dados, podem ser unidimensionais, quando têm apenas um dado; bidimensionais, quando representam a relação entre duas variáveis; tridimensionais, por exemplo na visualização de dados em gráficos de barras 3D ou análise de isosuperfícies; multidimensionais, recorrendo a matrizes de gráficos de dispersão, coordenadas paralelas, etc; temporais, que recorrem a um eixo temporal para mostrar dados; e hierárquicas, recorrendo a diagramas em árvore lineares ou circulares para mostrar as relações hierárquicas entre os dados (Raghav et al., n.d.).



Figura 25 Exemplo de vários tipos de visualização de dados num relatório de análise de mercado (Ali et al., 2016)

De entre as várias ferramentas disponíveis no mercado para a visualização de dados encontramos o Tableau, Microsoft Power BI, Plotly, Gephi, Microsoft Excel, NVD3, Highcharts, Leaflet, Dygraphs entre muitos outros (Ali et al., 2016; Raghav et al., n.d.), sendo que as principais características para avaliar qualquer uma destas ferramentas passa por analisar várias das suas características como a integração dessas ferramentas com outras populares de análise de dados, avaliar os tutoriais e suporte, se a ferramenta é open source ou não, se permite uma visualização interactiva ou não e se permite a criação de APIs (Ali et al., 2016).

A visualização de dados também pode ser classificada alternativamente como proposto por Zhou et al., tendo em consideração o paradigma da Indústria 4.0, como visualização para a substituição e visualização para a criação. A visualização para a substituição consiste em libertar as pessoas de trabalhos que são fázeis por robôs e por criar computacionalmente ambientes perigosos ou de difícil acesso para poder formar os colaboradores de forma segura recorrendo à realidade virtual, realidade aumentada e realidade mista. A visualização para criação consiste em usar softwares de CAD, de análise estrutural ou de projeto de ambientes de produção para visualizar e ajudar no processo de tomada de decisão e de conceção.

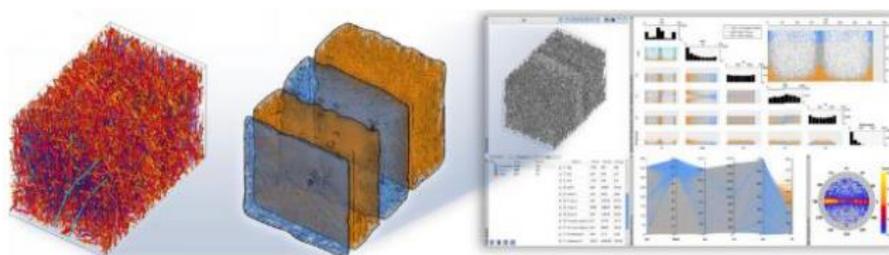


Figura 26 Análise das características dos materiais (F. Zhou et al., 2019)

Segundo Raghav et al., os erros mais comuns no que toca à visualização de grandes quantidades de dados prendem-se com a falta de planeamento na exibição dos dados, apresentando-se dados irrelevantes, redundantes e às vezes todos os dados disponíveis, resultando numa deficiente tomada de decisão que pode não ser benéfica para o crescimento da empresa, na confusão dos utilizadores e num conjunto de situações problemáticas para os utilizadores.

A visualização de dados permite aos utilizadores adquirir informação a partir de dados que inicialmente não dizem nada por si só, por meio de correlações, padrões, escalas ou até mesmo cores. Uma boa análise e visualização de dados permite melhorar a tomada de decisão, melhoria na partilha de informação e diminuição do tempo gasto na identificação de problemas ou oportunidades (Raghav et al., n.d.).

O modelo proposto por Poleto et al. sugere um modelo de suporte à tomada de decisão que consiste na aquisição de dados proveniente de fontes públicas e/ou internas, a capacidade de agregar o valor dos dados adquiridos para obter informação relevante aplicável aos problemas específicos e a sua visualização deve ser capaz de contextualizar esses mesmos problemas assim como deve ser capaz de criar alternativas e apontar oportunidades. O processo de tomada de decisão deve ser acompanhado de uma previsão do mesmo.

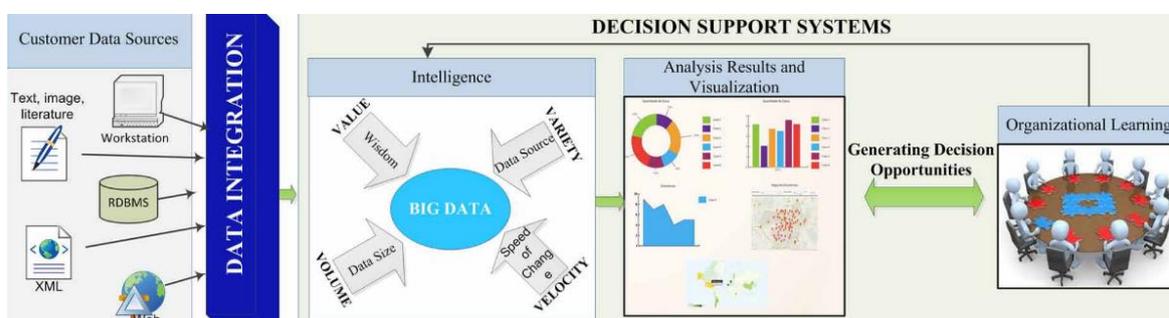


Figura 27 Modelo de tomada de decisão proposto por Poleto et al. (Poleto et al., 2017)

Devido à visualização de dados ser um problema atual e com relativamente pouca bibliografia associada (Moeuf et al., 2018; Tong et al., 2018; F. Zhou et al., 2019; K. Zhou et al., 2016), há inúmeros problemas e desafios associados.

Os problemas associados à visualização de grandes quantidades de dados estão associados à ideia de que o volume é o mais importante, quando na realidade o mais importante é a variedade e a veracidade dos dados; a ideia de que se podem criar ferramentas pré-definidas para a análise dos dados, quando não há consenso quanto efetividade de usar ferramentas universais em problemas tão diversos; a ideia de que se pode reutilizar os dados antigos para fazer novas análises (Poletto et al., 2017); a dificuldade na compreensão de imagens muito grandes com muitos dados; a perda de informação na tentativa de tornar os tempos de resposta mais rápidos; a velocidade e requisitos nas situações em que a visualização é em tempo real e em alta cadência; o barulho visual, quando há a dificuldade em isolar dados com relações muito próximas que não podem ser ignorados (Ali et al., 2016); e a medição do interesse que o utilizador transmite na perceção da informação (Tong et al., 2018).

Os desafios principais relativamente prendem-se sobretudo com a integração dos dados transportados por diferentes protocolos de diferentes origens no CPS; a capacidade estrutural de armazenar quantidades de dados que crescem exponencialmente; a capacidade de analisar quantidades massivas de dados de forma a extrair conteúdo significativo e de o relacionar com outras fontes e de forma célere; a segurança dos dados; e a formação de trabalhadores cada vez mais especializados no tratamento e exibição de dados e informação (Poletto et al., 2017; F. Zhou et al., 2019)

3.3.2. Node-RED e Dashboards para visualização de dados

O Node-RED é uma ferramenta grátis open source em JavaScript (JS) baseada na plataforma Node.js desenvolvida pela IBM Emerging Technology e que é frequentemente usada para desenvolver sistemas de integração IoT, interfaces de programação de aplicações (Application Programming Interfaces, APIs) e serviços online. A programação do Node-RED é baseada num ambiente de programação visual de edição de fluxos (flows) de dados entre nós (nodes), que representam diferentes funções, eventos ou hardware, em que essas ligações são feitas por meio de arrastar e ligar esses nodes ou importação de código JS (Ferencz, 2020; Lekić & Gardašević, 2018; Sicari et al., 2019).

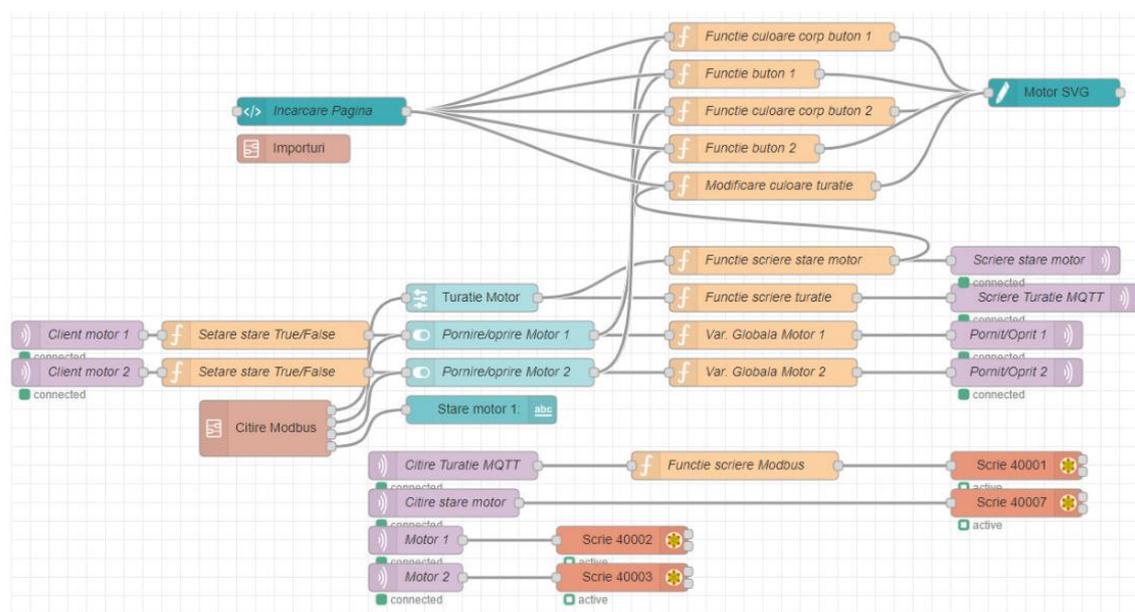


Figura 28 Exemplo de diagrama de flows entre nodes no Node-RED (Nițulescu & Korodi, 2020)

As funções, em forma de nodes, podem ser facilmente importadas, instaladas e usadas pelo editor e os vários diagramas que podem ser configurados usando JSON ficam guardados no browser (Rajalakshmi & Shahnasser, 2017).

O Node-RED também permite a integração de muitas tecnologias base graças à sua gênese *open source*, que permite que qualquer utilizador crie bibliotecas que podem mais tarde ser acedidas por outros. Os exemplos mais usados são as bases de dados, as ferramentas MQTT, sistemas de gestão, serviços de cloud, IoT entre outros, perfazendo um infindável leque de aplicações possíveis (Ferencz, 2020; Rajalakshmi & Shahnasser, 2017; Sicari et al., 2019).

O Node-RED dispõe de um dashboard que permite criar interfaces visuais de forma muito simples sem a necessidade do utilizador dominar linguagens gráficas como HTML e CSS (fig. 14).

Outros sistemas semelhantes ao Node-RED são o WoTKit, que é escrito em python e que a grande desvantagem face ao Node-RED é que nunca acede aos sensores locais ou aos serviços; o Yahoo Pipes que permite o processamento de dados em tempo real; e o LabView, que se foca mais na integração de hardware (Sicari et al., 2019).



Figura 29 Exemplo de dashboard criado a partir do Node-RED (Nițulescu & Korodi, 2020)

3.4. Casos práticos existentes

3.4.1. Proposta de um sistema de rastreabilidade na indústria cerâmica

Barata et. al propôs um sistema de rastreabilidade para uma indústria cerâmica. Após a modelação do processo produtivo, a equipa do projeto definiu tecnologias adequadas ao contexto sectorial, aos utilizadores e respetivas atividades. O modelo desenvolvido pelos autores mostra que os códigos QR são apropriados para utilização interna e externa, por parte do cliente (por exemplo o uso do código pelo cliente em páginas web para aceder). No entanto, no que respeita parceiros externos em pontos de venda, outros mecanismos podem ser mais lucrativos. Soluções com codificação RFID podem justificar-se para produtos ou operações de elevado custo. Para além disso, o código de barras permanece a solução adequada para a rastreabilidade de produtos nos equipamentos/máquinas internos.

Assim, Barata et. al desenvolveram um sistema baseado MES baseado na Cloud, com recurso a três diferentes tecnologias (código de barras, código QR e RFID), e que permite às equipas e gestores da organização, bem como a parceiros externos, partilhar e visualizar informação relacionada com a produção. Neste contexto, a rastreabilidade dos dados é crítica devido à automatização dos inputs, da verificação da qualidade dos dados e auto-geração de código por parte de entidades externas. A solução obtida possibilita a comparação entre a dados obtida automaticamente pelos sensores e aquela que é introduzida manualmente.

Os autores concluem que não existe uma única tecnologia capaz de satisfazer todas as necessidades de rastreabilidade de todo o ciclo de vida de produção cerâmica. A utilização de múltiplas ferramentas permite dar a resposta às necessidades dos diversos stakeholders, contudo deve existir

uma integração da cadeia de abastecimento para que o sistema seja eficaz. Para além disso, a indústria cerâmica apresenta desafios peculiares, como a complexidade de produção e condições de fabrico (por exemplo temperatura e pó), que requerem especial atenção aquando do desenvolvimento de ferramentas específicas de rastreabilidade.

3.4.2. Implementação de um sistema de rastreabilidade inteligente baseado em módulos IoT e aplicação da ferramenta Node-RED.

Os autores Sicari et al., desenvolveram um sistema de rastreabilidade inteligente com recurso ao Node-RED que aplicaram a uma cadeia de transporte e logística, com o objectivo de aumentar a fiabilidade da localização dos produtos transportados em tempo real.

O trabalho consistiu em gerir as encomendas, veículos e armazém de uma PME. Os principais componentes deste trabalho foram os veículos inteligentes, as RFID tags, leitores de RFID e o armazém. Os produtos podem ser classificados como “PARA VENDA”, “EM TRÂNSITO” e “ENTREGUE”. As entregas podem ser classificadas como “NORMAL”, “FRIO” e “FRÁGIL”. Finalmente, os veículos podem ser classificados como “DISPONÍVEIS” e “EM TRÂNSITO”.



Figura 30 Hierarquia dos tópicos (Sicari et al., 2019)

Os veículos inteligentes estão equipados com sensores para medir a temperatura, a humidade, a vibração, a localização e sensores ligados ao motor de refrigeração e ao desumificador.

O sistema criado pelos autores permite gerir as encomendas e o respectivo estado das mesmas, encriptar e desencriptar os códigos dos produtos associados aos produtos pelas tags RFID, monitorizar os veículos (estado, localização, produtos, temperatura, humidade e vibração).



Figura 31 Dashboar que mostra a informação relativa aos veículos (Sicari et al., 2019)

3.4.3. IoT Smartbox industrial para o chão de fábrica

Os autores Malhão et al desenvolveram uma IoT smartbox industrial para o chão de fábrica em que testaram dois diferentes tipos de comunicação: MQTT e OPC UA. Foram utilizados Raspberrys Pi para serem utilizados como servidores quer para a plataforma MQTT quer para a plataforma OPC UA.

Neste trabalho conclui-se que a solução em que desenvolveram um servidor OPC UA demonstrou algumas limitações, enquanto que a solução que desenvolveu um servidor que funcionava no protocolo MQTT se revelou uma solução fácil, leve e com poucos requerimentos.



Figura 32 Software e hardware para implementar o servidor MQTT (Malhao et al., 2019)

3.4.4. Uso do Node-RED em ambiente industrial

Os autores Ferencz et al desenvolveram uma aplicação para monitorizar uma qualquer máquina de uma fábrica e o respetivo ambiente, usando o Node-RED.

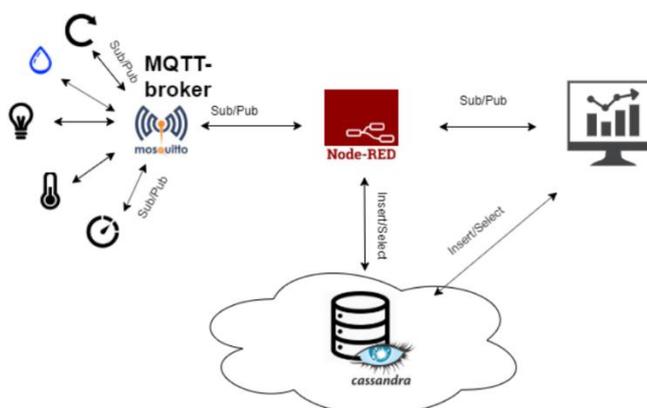


Figura 33 Arquitetura proposta (Ferencz, 2020)

A solução proposta grava os valores obtidos a partir dos vários sensores da máquina como a velocidade, rotação, estado, horas de trabalho; e os valores do ambiente como a humidade e temperatura e os guarda numa base de dados. Os valores são mostrados em tempo real num dashboard criado no Node-RED que também permite controlar condições como a luminosidade, rotação da máquina, velocidade e temperatura.

Os autores concluíram que o uso destas tecnologias é muito importante para a indústria devido à facilidade e simplicidade do seu uso, refletindo-se na rápida criação de protótipos e de testagem dos conceitos.

4. Solução Proposta

A implementação de sistemas de rastreabilidade fiáveis e facilmente compatíveis entre si tem sido um grande desafio para todas as empresas por diversos fatores. Há uma ideia geral de que os sistemas de rastreabilidade são caros e difíceis de implementar em linhas de produção já existentes porque essas mesmas linhas e máquinas não vieram preparadas para integrar sistemas de rastreabilidade, quer por razões físicas quer por não partilharem as mesmas arquiteturas de comunicação.

Com o advento da IoT, com a diminuição exponencial quer do preço quer da relação tamanho/capacidade dos microcontroladores, com o desenvolvimento de cada vez mais software open-source e com ou aumento da informação, suporte e ajuda disponíveis online, a implementação de sistemas flexíveis de rastreabilidade em qualquer ambiente já não tem de ser uma utopia.

Os principais problemas com o sistema de rastreabilidade na Vista Alegre prendem-se com a imposição de ser um sistema que não interfira na decoração das peças, por razões comerciais e históricas devido aos elevados requisitos estéticos que a marca tem de respeitar; e com a imposição de ter de ser um sistema que suporte as temperaturas de cozedura na ordem dos 1500 °C a que as peças estão sujeitas. Estas razões excluíram as soluções clássicas de rastreabilidade como o RFID por não aguentar as condições de cozedura, e os códigos de barras ou matrizes por terem de ser visíveis ao cliente final. O facto da produção não ser toda automatizada e haver sempre o fator humano associado ao erro, soluções de visão também tiveram de ser excluídas.

Neste sentido, avançou-se para uma solução em que se usou partículas ferromagnéticas misturadas com tinta para criar marcas nas peças que posteriormente serão lidas por um sensor magnético para se registar os seus valores, em cada posto da produção. A leitura é feita a partir da diferença de tensão que a presença das marcas provoca num sensor de Hall.

A solução de rastreabilidade proposta também engloba o processamento e armazenamento dos dados processados desde a conformação de cada peça até ao cliente final.

4.1. Arquitetura da solução proposta

A arquitetura proposta apresentada pretende ser um sistema moderno, simples, eficaz e intuitivo, recorrendo a ferramentas *open-source* existentes e hardware acessível de simples utilização, de forma a poder ser modelar e aplicável a outras empresas ou até mesmo outras indústrias. Esta solução integra harmoniosamente os 3 primeiros níveis da pirâmide de automação e pode ser acedida remotamente e não põe em causa a segurança da rede da empresa nem dos seus colaboradores.

A leitura dos códigos será feita graças à leitura das diferenças na intensidade do campo magnético causado pela passagem das pontas de prova magnetizadas pelas marcas compostas pelas partículas de material ferromagnético contidas na tinta, recorrendo a sensores de efeito de Hall que envia um sinal linear que será então processado num microprocessador que irá recolher os dados em tempo real. Os valores são processados num número e enviados para um servidor por um servidor publicador/subscritor MQTT através de ligação Wi-Fi. O servidor tem a função de trocar dados com a unidade de processamento, podendo controlá-la, trocar informação com a base de dados e trocar dados com a interface gráfica.

A base de dados proposta contém os elementos fundamentais para a rastreabilidade, podendo ser melhorada e expandida de forma a conter elementos de interesse para a empresa numa perspetiva de integrar toda a estrutura de sistemas de informação da empresa de acordo com as suas necessidades.

A interface gráfica pode ser acedida remotamente ou localmente, tem várias funcionalidades e pode ser utilizada como ferramenta para:

- Visualização de dados: a produção em tempo real pode ser vista na interface gráfica.
- Visualização dos KPI's: os valores de desempenho são apresentados de forma gráfica e de fácil compreensão.
- Controlo das unidades de processamento: possibilidade de ligar/desligar dispositivos, controlar temperatura, velocidade ou outros parâmetros das máquinas, etc.
- Inserção de dados: inserção manual de parâmetros como o lote da matéria-prima são possíveis com a interface gráfica.
- Funções de administração: inserção de dados sensíveis como clientes, máquinas, postos e colaboradores diretamente na base de dados.

A linha escolhida para a implementação será a linha de conformação por máquinas isostáticas. Esta é a linha mais automatizada da fábrica e, por isso, menos sensível ao fator humano, que é o fator mais imprevisível em qualquer solução de automação. Os postos considerados serão a prensagem, chacoagem, a vidração e a cozedura (Figura 9).

A rastreabilidade proposta foca-se no intervalo entre a conformação das peças e o cliente final. É considerado que a rastreabilidade das condições e características da matéria-prima *à priori* da conformação está devidamente feita e pronta a ser consultada.

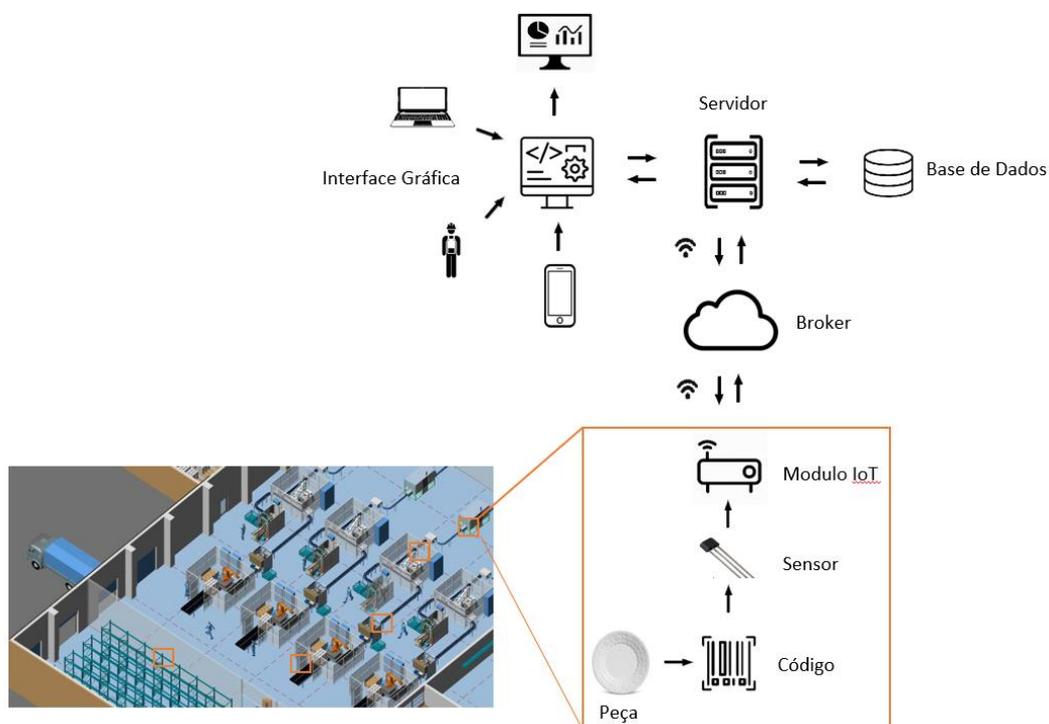


Figura 34 Esquema da solução proposta

Na prensagem serão introduzidos na interface gráfica por parte do operador os dados relativos à matéria-prima do granulado e os dados da máquina da máquina. Após a simulação da prensagem de uma peça, será criado um código de rastreabilidade relativo à mesma peça. Na vidração será feita a leitura do código e a informação quanto ao lote da matéria-prima. Nos fornos será monitorizada a temperatura e será lido o código.

A Figura 35, fornecida pela empresa, assinala os postos de onde é relevante a contagem das peças, que foram agrupadas nos 4 grupos mencionados no parágrafo acima.

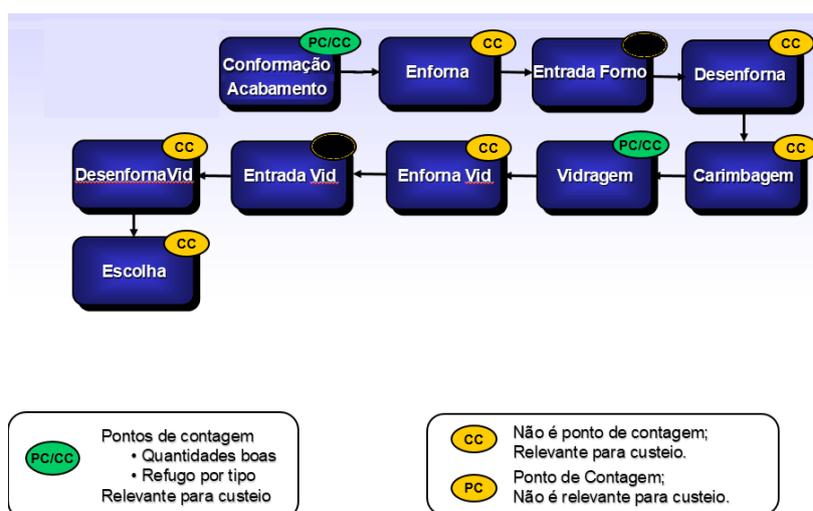


Figura 35 Modelo de produção, fornecido pela empresa

4.2. Princípio de funcionamento da detecção

O método de rastreabilidade que serve como base a esta dissertação assenta num princípio de detecção inovador desenvolvido em conjunto com o Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

Este método permite que um código seja impresso logo após a conformação dos produtos cerâmicos, por meio de uma mistura homogénea geralmente contendo tinta branca e uma determinada quantidade de material ferromagnético.

Esta mistura deve conter uma quantidade de material ferromagnético suficiente para criar uma cadeia de partículas de material ferromagnético ligadas que permita garantir o comprimento necessário à leitura pelo aparelho leitor e que permita garantir a largura necessária à identificação do valor de cada elemento.

A ponta do aparelho de leitura é um material ferroso, em forma de U, possuindo um campo magnético induzido por via de um íman permanente quer por meio de um campo elétrico que atravessa uma bobine. O aparelho de leitura também contém um sensor de efeito de Hall que mede a intensidade do campo magnético.

Este método permite a identificação de cada elemento, tipicamente uma linha, por meio magnético, devido ao efeito de curto-circuito magnético que acontece quando as pontas do aparelho de leitura tocam simultaneamente no elemento, fechando o campo magnético e aumentando a sua intensidade de fluxo magnético. Esse aumento de intensidade do fluxo magnético ao ser detetado pelo sensor de efeito de Hall é processado para lhe ser atribuído um valor.

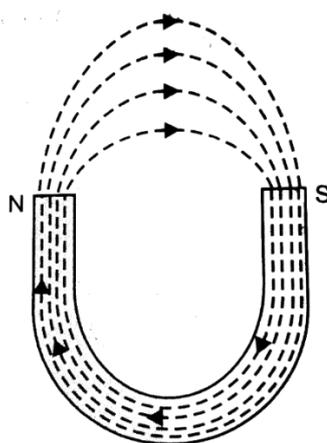


Figura 36 Linhas de fluxo magnético num ímã em forma de U

Este sistema é compatível com a leitura de códigos de barras e de códigos circulares

Com este método, após uma segunda pintura por cima do código, consegue-se identificar de forma não visível a marcação de cada uma das peças em todas as fases da produção das mesmas, tornando assim mais confiáveis os dados extraídos ao longo do processo para posterior tratamento.

Com este método o código em cada uma das peças não desaparece ao longo do tempo por desgaste do uso ou dos elementos, sendo que está sempre protegido por uma camada de tinta.

Este método dá aos decisores, na impossibilidade de usar os métodos clássicos, quer por razões estéticas, quer por razões técnicas, uma opção de marcação das peças de forma a não alterar a decoração e resistente a altas temperaturas.

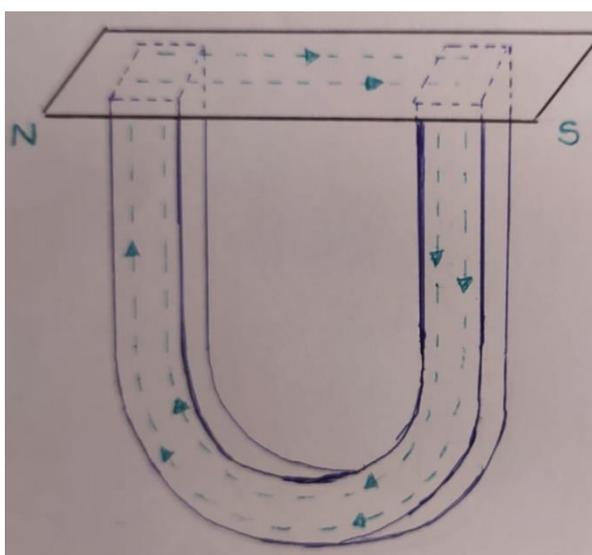


Figura 37 Linhas de fluxo magnético após curto-circuito magnético

4.3. Processamento de dados

O processamento de dados nesta solução é feito em dois momentos, ao nível da unidade de processamento e ao nível do servidor local, com o objetivo de facilitar a comunicação entre toda a estrutura proposta.

4.3.1. Unidade de Processamento

A unidade de processamento (UP) será um módulo IoT que será responsável por processar os dados que vêm diretamente do sensor e transformando-os num código. A UP contém um programa que espera pelo sinal de um sensor de presença de um prato para começar a leitura. Após este sinal, a UP começa a registar os valores obtidos, convertendo para binário os dados provenientes do sensor. Esta conversão vai depender de um valor limite (threshold) que terá em conta os valores de deteção pelo sensor. Após a peça sair, o sensor deixará de estar ativo e os valores registados serão processados entre o primeiro e o último zero. Após este processamento, o valor processado será enviado para o servidor.

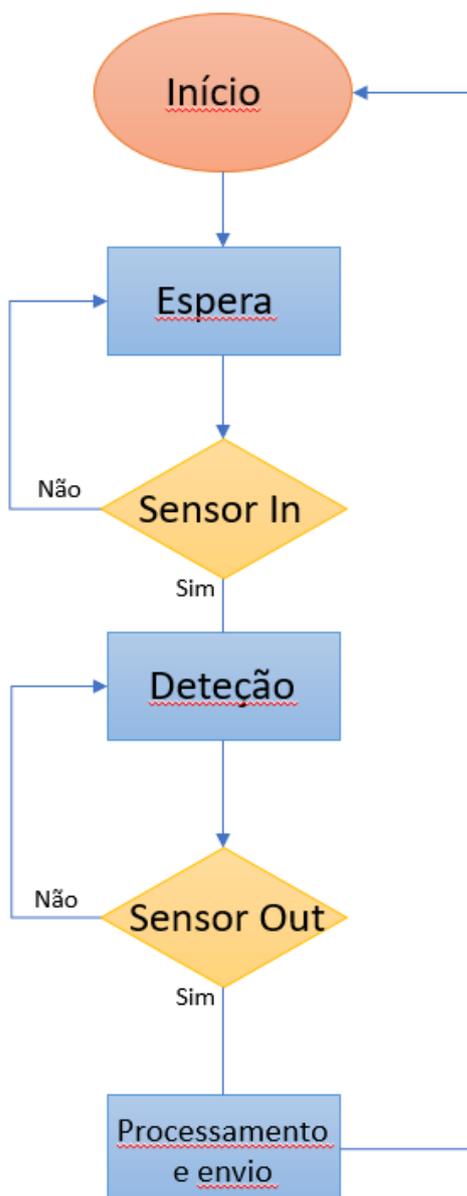


Figura 38 Diagrama de processamento de dados na solução proposta

A comunicação da UP para o servidor será feita recorrendo a uma aplicação publicador/subscritor por protocolo MQTT. Esta ferramenta dá à solução garantias de segurança, confidencialidade e velocidade enquanto usas larguras de banda muito baixas.

4.3.2. Servidor Local

O processamento de informação na camada superior à UP é feito no servidor local. No servidor local estará alojado a base de dados, a ferramenta Node-RED e as páginas PHP. As páginas PHP e o Node-RED comunicarão diretamente com a base de dados para a transferência de dados parte a parte.

No servidor local será feito o tratamento da informação proveniente dos módulos IoT e da interface gráfica com o objetivo de processar os dados e os organizar nas bases de dados. O Node-RED também será responsável por criar uma plataforma gráfica responsável por interagir com os colaboradores de várias camadas da empresa que servirá de ferramenta para executar várias tarefas em diferentes partes do processo produtivo e que servirá também como plataforma informativa para mostrar o estado atual da produção e exibir alguns KPIs.

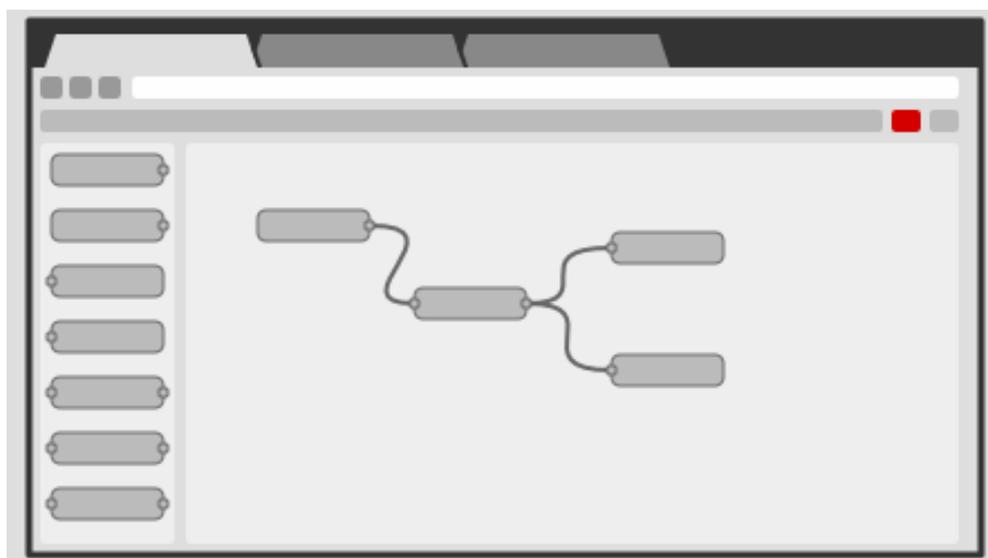


Figura 39 Lógica de programação do Node-RED (Node-RED, 2020)

O servidor local também será responsável por processar as credenciais de acesso a cada um dos separadores da interface gráfica, por níveis de acesso. O protótipo contará com 5 níveis de acesso:

- Administração, que terá acesso geral a todos os separadores.
- Responsável de produção, acesso geral aos reparadores relativos à produção.
- Conformação, para colaboradores anexos ao posto da prensagem.
- Vidração, para colaboradores anexos ao posto da vidração.
- Vendas, para acesso a dados relativos a clientes.

4.3.3. Interface Gráfica

A interface gráfica tem como objetivo ser a plataforma que informa e interage com os colaboradores e decisores. Um dashboard completo construído a partir da ferramenta Node-RED baseado em linguagens web como HTML, CSS e JavaScript.

A interface gráfica é dividida em vários separadores com funções diferentes e com níveis de acesso diferentes. Os vários separadores têm a função de mostrar dados, introduzir dados ou pesquisar dados.

O primeiro separador, sem nível de acesso, serve para mostrar o estado de produção da linha isostática desde as máquinas de prensagem até ao forno de cozedura. Mostra valores em tempo real das peças que estão a ser produzidas, da temperatura dos fornos e indicadores de desempenho por posto, indicando as peças produzidas por dia, ao longo da semana e as peças produzidas por máquina, ao longo do dia.

Um separador será responsável por fazer a pesquisa de uma peça específica e mostrar os dados completos de rastreabilidade relativos a essa peça em específico, assim como os dados relativamente ao produto a que essa peça pertence. O acesso a esta página será restrito ao nível de acesso responsável pela produção.

Dois separadores distintos serão relativos ao posto de prensagem e ao posto de vidração e os colaboradores anexos a cada um destes postos terá acesso para introdução de dados relativamente ao lote em utilização ou dos dados relativamente ao produto a ser produzido, no caso da prensagem.

Um separador estará reservado aos responsáveis de produção, onde será possível adicionar novos lotes de matéria-prima, novos produtos, será possível monitorizar as temperaturas dos fornos e estará preparado para controlar remotamente os equipamentos, numa perspetiva de integração total do protótipo numa lógica de Indústria 4.0, onde a integração total dos equipamentos no CPS é mandatária.

Um separador de acesso restrito aos colaboradores das vendas está reservado para inserir novos cliente e seleccionar o cliente em uso. Este é o último passo da rastreabilidade, onde uma peça fica associada ao comprador final.

Por fim será adicionado um separador só de acesso à administração, responsável por inserir novas máquinas, novos colaboradores e novos postos.

4.4. Base de Dados Proposta

Os sistemas de rastreabilidade estão estreitamente ligados ao desenvolvimento de bases de dados que possam armazenar todos os dados pertinentes relativos ao ciclo de vida dos produtos. Cada produto tem as suas especificidades e no caso da presente solução proposta é importante guardar todos os valores relativos aos pontos de interesse especificados no ponto 4.1.

As bases de dados são ferramentas essenciais para guardar e processar enormes quantidades de dados. Uma linha de alta cadência como a de conformação por prensagem isostática produz milhares de peças e é passível de registar uma quantidade muito grande de dados.

Com a informação guardada e tratada de forma eficiente, é possível para a empresa detetar eventuais defeitos noutros lotes ou produtos, podendo assim corrigir eventuais erros e lidar de forma mais eficiente no apoio ao cliente em questão de dias, o que sem rastreabilidade demora meses.

4.4.1. Diagramas de Entidade-Relação

As várias entidades que compõem as bases de dados e as relações que possuem entre si estão representados em diagrama de entidade-relação. Estes diagramas servem para representar de forma gráfica a maneira de como as entidades se relacionam entre si e serve como ferramenta para a tomada de decisão porque oferece uma visualização simples das entidades e das relações existentes na organização.

Os três principais elementos dos diagramas de entidade-relação são as entidades, as relações e os atributos e chaves. As entidades representam conceitos físicos ou lógicos e podem ser estáticas ou dinâmicas. As entidades correspondem a uma tabela ao qual são adicionados atributos, que são passíveis de rastrear e que caracterizam a entidade correspondente. Os atributos podem ser chaves primárias (Primary Key, PK), que definem de forma única um registo na tabela, não podem ser nulas, redundantes e têm de ter um valor único; podem ser chaves estrangeiras (Foreign Key, FK), que são chaves primárias de outras tabelas; e chaves candidatas, que são o conjunto de atributos que definem

uma entidade. As relações definem a interação entre as diferentes entidades. A cardinalidade de uma relação denota o número de objetos de uma determinada classe que se podem associar a um único objeto de uma classe relacional.

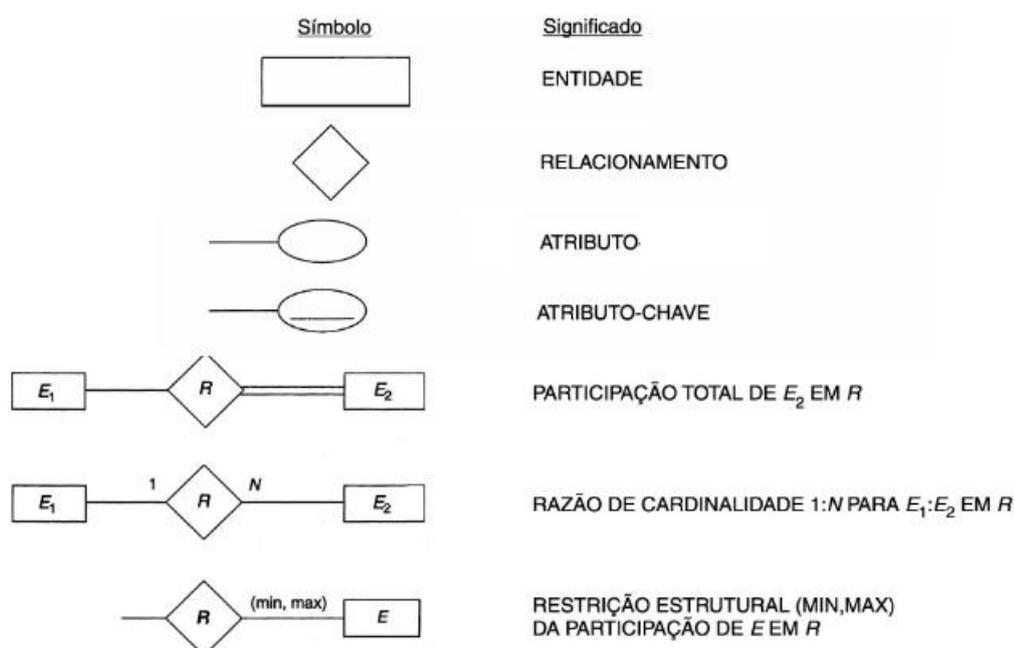


Figura 40 Cardinalidade das relações entre entidades

O modelo de dados é constituído por entidades estáticas e entidades dinâmicas. A rastreabilidade das peças resulta da interação das entidades estáticas, perfazendo entidades dinâmicas.

As entidades estáticas são as seguintes:

- **Produto:** Guarda informação acerca da família de produtos que a empresa produz. Esta entidade tem como chave primária o número de identificação de cada produto (id_produto). Os outros atributos descrevem a coleção e o tipo de produto (se é prato, chávena, travessa, etc).
- **Colaborador:** Guarda informação acerca dos colaboradores da empresa. Esta entidade possui como chave primária o número de identificação de cada colaborador (id_colab). Os outros atributos guardam informação relativa ao nome do colaborador, contacto, nível de acesso e palavra-passe.

- **Cliente:** Guarda informação acerca dos clientes. Esta entidade possui como chave primária o número de identificação de cada cliente (*id_cliente*). O outro atributo guarda informação acerca do nome do cliente. Outros atributos poderiam ser adicionados, como o número de identificação fiscal, mas não são dados relevantes para o protótipo da solução de rastreabilidade proposta.
- **Lotep:** Guarda informação acerca da matéria-prima utilizada nas prensas isostáticas. Esta entidade possui como chave primária o número de identificação de cada lote (*id_lote*). Os outros atributos descrevem o nome, o número da fatura em que o lote em questão foi adquirido e o número de identificação interno do lote pelo fornecedor.
- **Lotev:** Guarda informação acerca da matéria-prima utilizada nas linhas de vidração. Esta entidade possui como chave primária o número de identificação de cada lote (*id_lote*). Os outros atributos descrevem o nome, o número da fatura em que o lote em questão foi adquirido e o número de identificação interno do lote pelo fornecedor.

As entidades dinâmicas são:

- **Fornop:** Guarda informação acerca do histórico de temperaturas do forno de chacotagem. Esta entidade possui como chave primária cada registo de temperatura (*id_fornop*). Os outros atributos descrevem a temperatura, data e hora de cada entrada.
- **Fornov:** Guarda informação acerca do histórico de temperaturas do forno de cozedura. Esta entidade possui como chave primária cada registo de temperatura (*id_fornov*). Os outros atributos descrevem a temperatura, data e hora de cada entrada.
- **Prensagem:** Guarda informação acerca dos parâmetros das máquinas de prensagem a cada passagem de cada peça. Esta entidade possui como chave primária o número de identificação de cada passagem pelo equipamento (*id_prens*). Possui como chaves estrangeiras o número de identificação do lote em uso, o número de identificação do produto em produção e o número de identificação do colaborador responsável pelo

equipamento. Os outros atributos são a data e a hora a que a peça passou em determinado equipamento e o número de identificação do equipamento.

- **Vidração:** Guarda informação acerca dos parâmetros das linhas de vidração a cada passagem de cada peça. Esta entidade possui como chave primária o número de identificação de cada passagem pelo equipamento (id_vidr). Possui como chaves estrangeiras o número de identificação do lote em uso, o número de identificação do produto em produção e o número de identificação do colaborador responsável pelo equipamento. Os outros atributos são a data e a hora a que a peça passou em determinado equipamento e o número de identificação do equipamento.
- **Lotep_prens:** Guarda informação acerca da utilização de cada lote de matéria-prima por parte de cada equipamento de prensagem. Esta entidade possui como chave primária o número de identificação de cada interação entre matéria-prima e equipamento (id). Possui como chaves estrangeiras o número de identificação de cada lote de matéria-prima e o número de identificação de cada equipamento do posto de prensagem. Os outros atributos guardam informação acerca da data e hora de cada interação.
- **Lotev_vid:** Guarda informação acerca da utilização de cada lote de matéria-prima por parte de cada equipamento de vidragem. Esta entidade possui como chave primária o número de identificação de cada interação entre matéria-prima e equipamento (id). Possui como chaves estrangeiras o número de identificação de cada lote de matéria-prima e o número de identificação de cada equipamento do posto de vidragem. Os outros atributos guardam informação acerca da data e hora de cada interação.

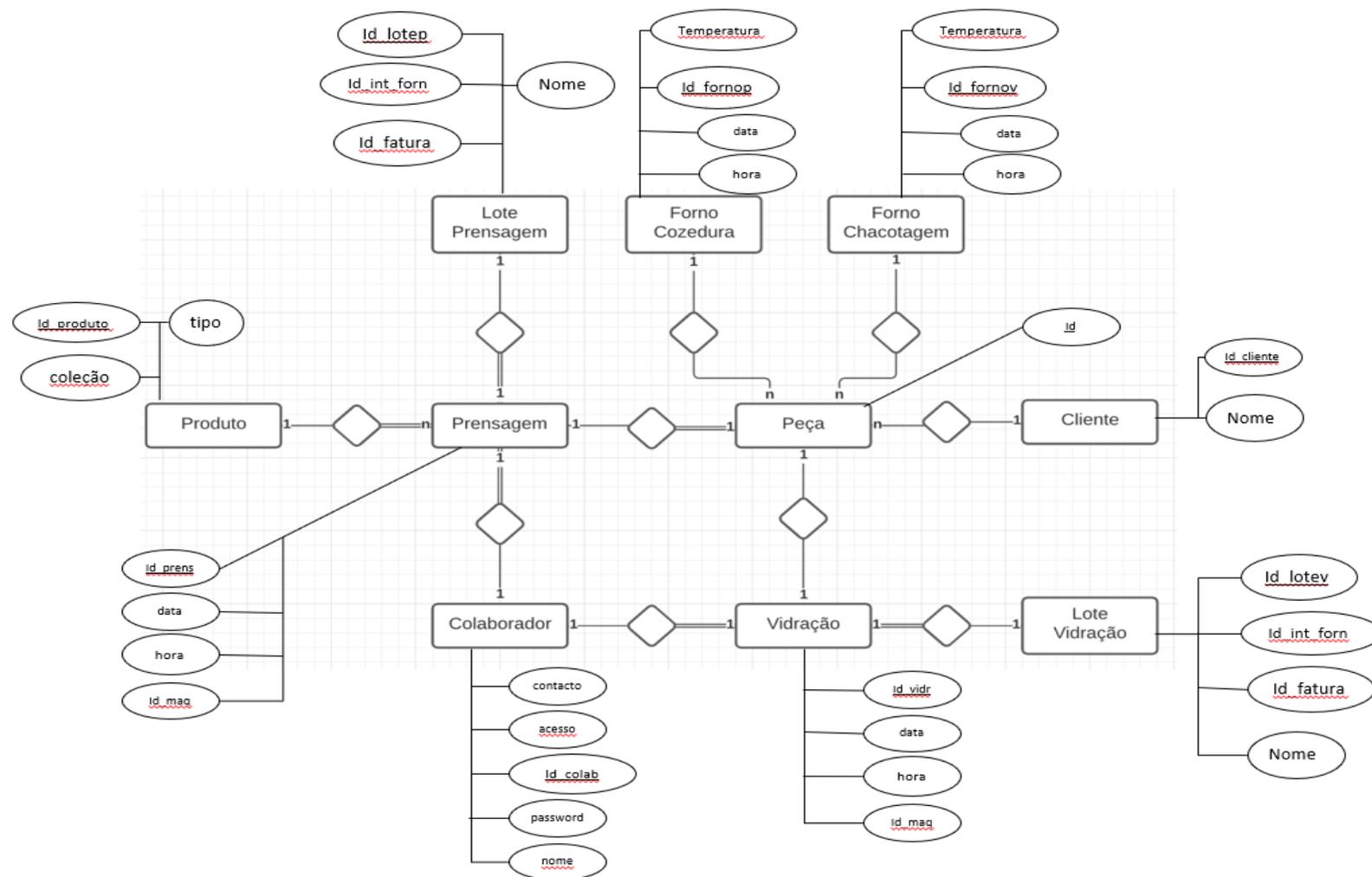


Figura 41 Diagrama de entidade relacionamento da solução proposta

A entidade que representa a rastreabilidade é a tabela Peça. Esta tabela está normalizada e resulta da relação entre as entidades estáticas e dinâmicas de relevância. As relações entre si são de um e só um para um e só um ou de muitos para um, garantindo assim que o fluxo de informação no histórico de cada peça é respeitado. Quando uma relação é de um para um, a chave primária de uma das entidades pode ser a chave estrangeira da outra entidade. Nas relações de um para muitos, a chave primária da entidade do lado do “um” passa a ser uma chave estrangeira da entidade do lado de “muitos”. Estas relações garantem que as chaves primárias das entidades relevantes para a rastreabilidade são chaves estrangeiras na entidade principal, a entidade Peça, assim como o total preenchimento dos dados de relevância para a rastreabilidade. As linhas duplas representam uma participação obrigatória, isto quer dizer na prática que uma peça não pode existir sem ter os valores correspondentes da prensagem, mas pode existir sem ter os valores das temperaturas dos fornos, da vidração ou do cliente.

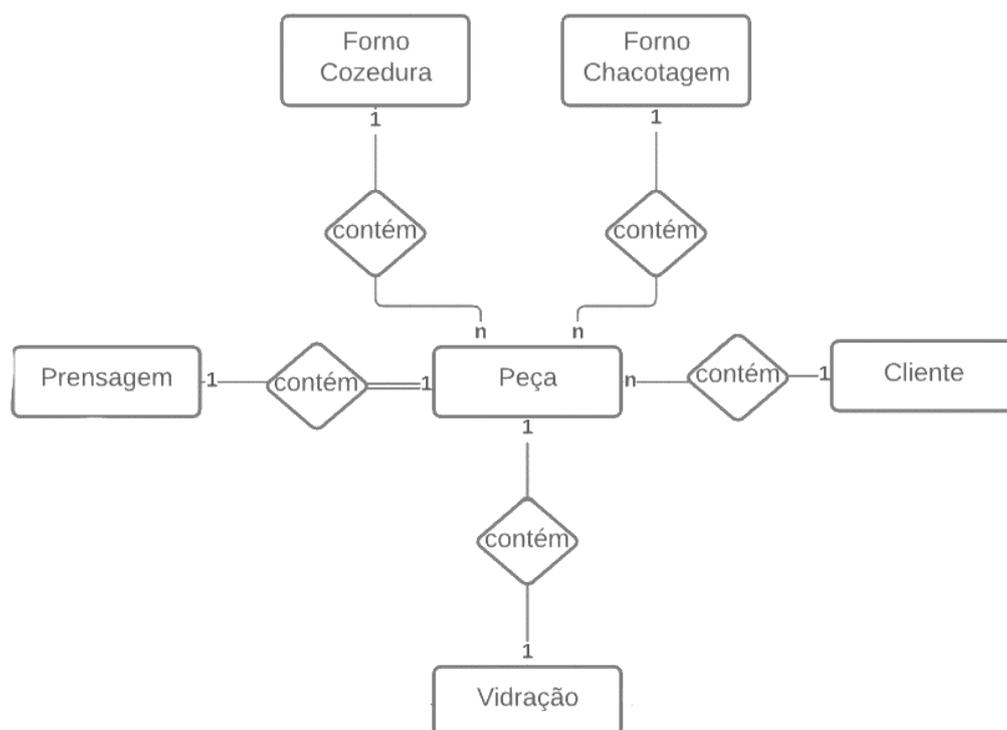


Figura 42 Relações da entidade Peça.

A entidade Prensagem é uma entidade dinâmica que guarda os parâmetros relativos à criação de cada uma das peças. As relações de um para um com o lote da prensagem e a relação de um para muitos com o produto e com o colaborador permite que a entidade Prensagem guarde em si as chaves

primárias dessas entidades. Com a criação de um id para cada uma dessas entradas como chave primária, permite que, acendendo à entidade Peça pela chave estrangeira id_prens, se obtenha a informação da prensagem na entidade Prensagem. A entidade Lote Prensagem, Produto e Colaborador são de participação obrigatória para que haja introdução de informação na entidade Prensagem, porque neste posto as peças são produzidas e têm de ter obrigatoriamente uma matéria-prima, um produto a ser feito e um colaborador. A relação da Prensagem com o Lote é de um para um porque um lote de matéria prima só pode estar numa máquina isostática e uma máquina isostática só pode ter um lote. A relação da Prensagem com o Colaborador é de um para muitos porque um colaborador pode estar a monitorizar várias máquinas isostáticas, mas uma máquina isostática só pode ter um colaborador. A relação da Prensagem com o Produto é de um para muitos porque um Produto pode estar a ser produzido em várias máquinas isostáticas, mas uma máquina isostática só pode estar a produzir um Produto.

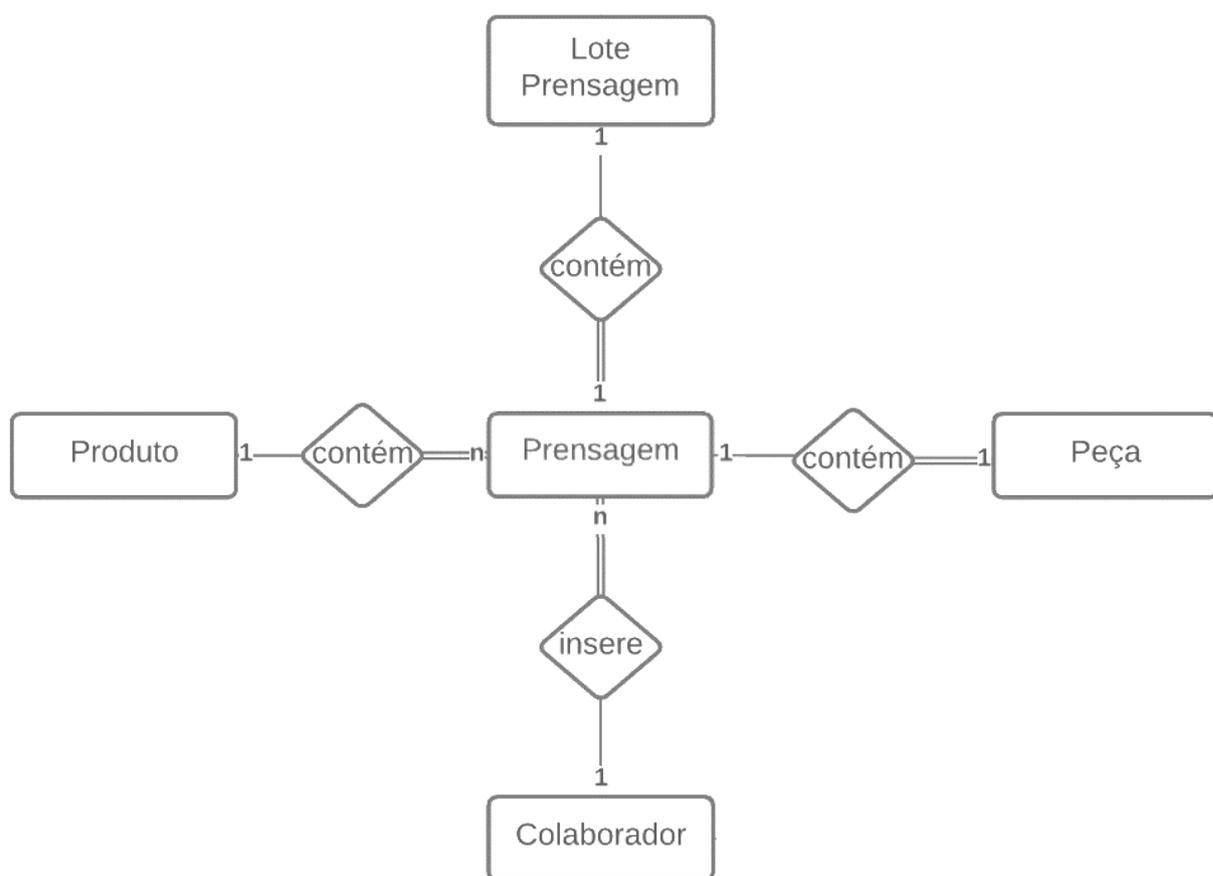


Figura 43 Entidades associadas à criação de um novo código de identificação de cada peça no posto da prensagem.

O registo de informação no posto da vidração assenta nos mesmo pressupostos anteriores visto que este registo também deriva de uma interação entre a matéria-prima, o colaborador e o equipamento. Esta solução poderia ter várias abordagens, mas foi pensada numa perspetiva modular que poderá ser aplicada no caso de expansão da linha ou à realidade de outras empresas.

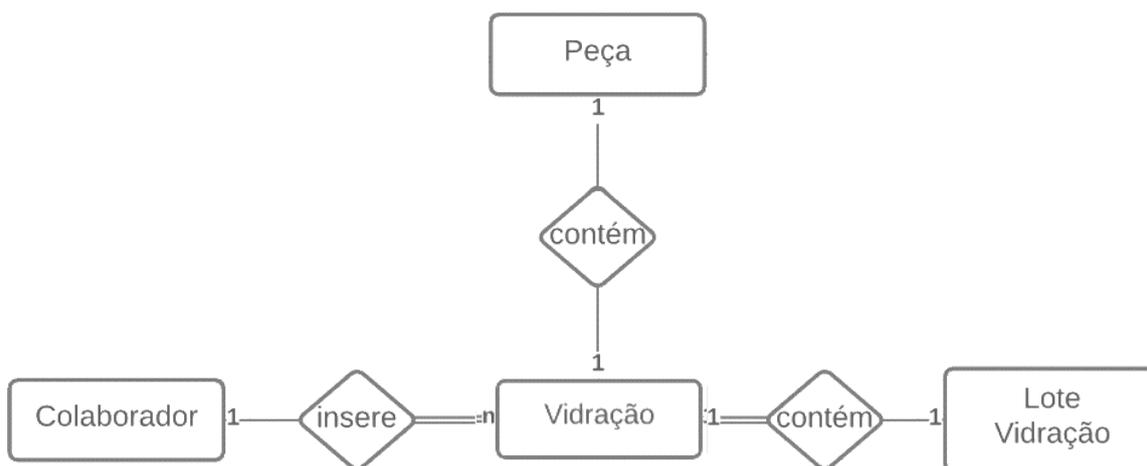


Figura 44 Tabelas associadas ao registo dos dados aquando da passagem no posto de vidragem

Embora o registo da temperatura pudesse ser feito com a temperatura em tempo real, pretende-se que seja guardado o histórico de temperaturas dos fornos. Assim sendo, cada forno tem a sua própria tabela que guarda os valores de temperatura em intervalos regulares de tempo. Como são fornos industriais e por isso não são sujeitos a diferenças bruscas de temperatura, o registo de temperatura em cada uma das peças pode ficar associado ao último registo de temperatura do forno na respetiva tabela, criando assim uma nova relação. Cada registo tem de possuir um e só um valor de temperatura, mas cada registo de temperatura dos fornos pode ter muitas ou nenhuma peça associada. Esta relação permite que a chave principal dos registos dos fornos seja uma chave estrangeira na entidade peça.

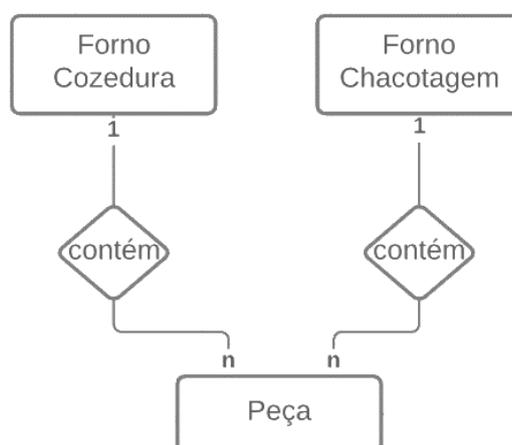


Figura 45 relações entre as entidades dos fornos no processo de rastreabilidade

Após o fluxo produtivo e no final da cadeia de rastreabilidade do produto, cada peça é vendida ao cliente final. Cada peça terá um e só um cliente final, embora um cliente possa ter muitas peças ou nenhuma. Esta relação permite que a chave principal da identificação do cliente seja uma chave estrangeira na entidade Peça.



Figura 46 Relações entre a peça e o cliente final

4.4.2. Diagrama de Dependências Funcionais

Outra ferramenta para projetar as tabelas das bases de dados são os diagramas de dependências funcionais (DDF). Os DDF são representações gráficas que servem para aplicar a Forma Normal de Boyce-Codd (FNBC), uma das seis Formas Normais que garantem que a estrutura da base de dados está normalizada e sem duplicação de informação. Para uma tabela estar devidamente normalizada, o conjunto de chaves candidatas tem de ser igual ao número de determinantes.

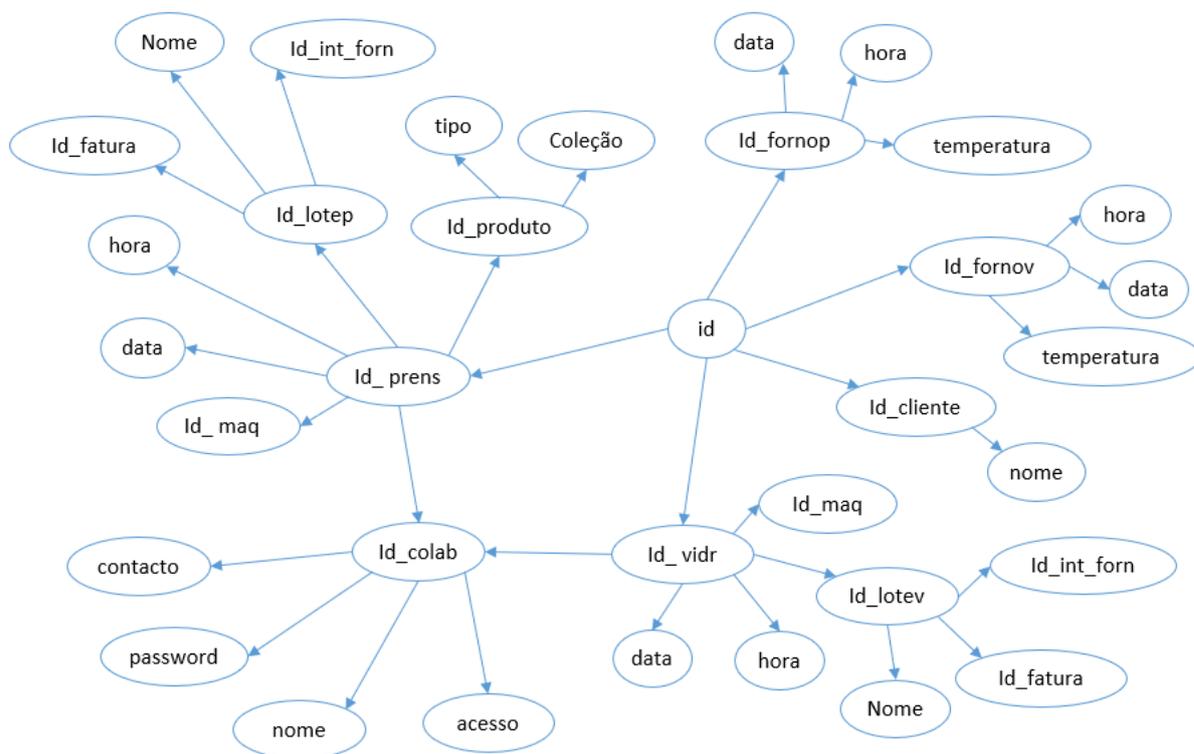


Figura 47 Diagrama de Dependências Funcionais

Tabela 1 Relação Universal

Determinantes	Chaves Candidatas
Id	id
Id_prens	
Id_lotep	
Id_produto	
Id_colab	
Id_vidr	
Id_cliente	
Id_fornop	
Id_fornov	
Id_lotev	

Nesta primeira relação conclui-se que a tabela não está normalizada e para atingir esse objetivo a relação tem de ser dividida em relações menores. A relação A, relativa aos elementos das prensas isostáticas, teve também de ser subdividida em outras quatro relações até encontrarmos uma tabela em que o número de chaves primárias fosse igual ao número de determinantes. A relação A1 é relativa às prensas, a relação A2 é relativa aos lotes de matéria-prima utilizados nas prensas, a relação A3 é relativa aos produtos e a relação A4 é relativa aos colaboradores. A relação B, relativa aos elementos da vidração teve de ser subdividida em outras três relações até encontrarmos uma tabela em que o número de chaves primárias fosse igual ao número de determinantes. A relação B1

é relativa às linhas de vidração, a relação B2 é relativa aos lotes de matéria-prima utilizados nas linhas de vidração e a relação B3 é relativa aos colaboradores, que corresponde à relação A4. Por fim, a relação R, relativa aos elementos da peça, será dividida em outras cinco relações até encontrarmos uma tabela em que o número de chaves primárias fosse igual ao número de determinantes. A relação com as prensas e com as linhas de vidração correspondem às relações A e B, enquanto a relação R1 corresponde ao forno de chacoagem, a relação R2 corresponde ao forno de cozedura e a relação R3 corresponde ao cliente e a relação R4 corresponde à Peça.

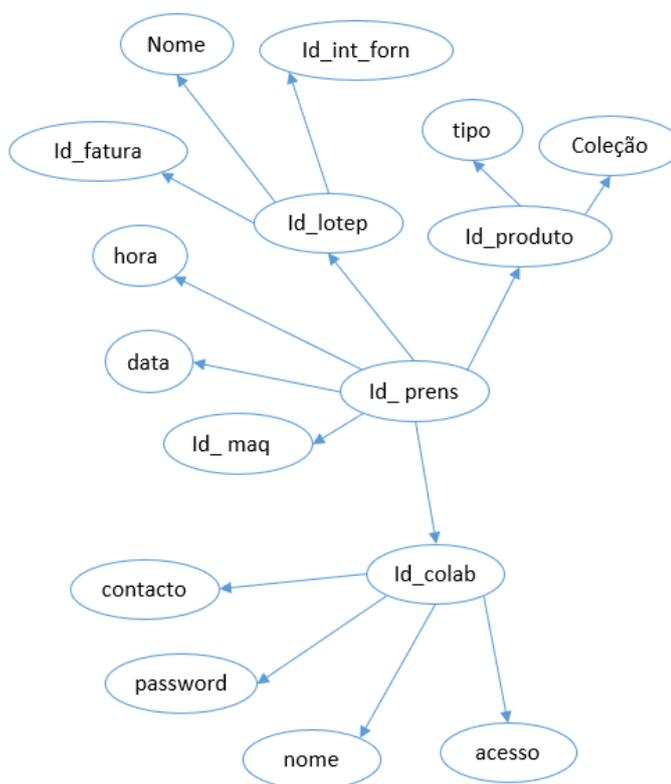


Figura 48 Diagrama da Relação A – Não Normalizada

Tabela 2 Relação A - Não Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_prens	Id_prens
Id_lotep	
Id_producto	
Id_colab	

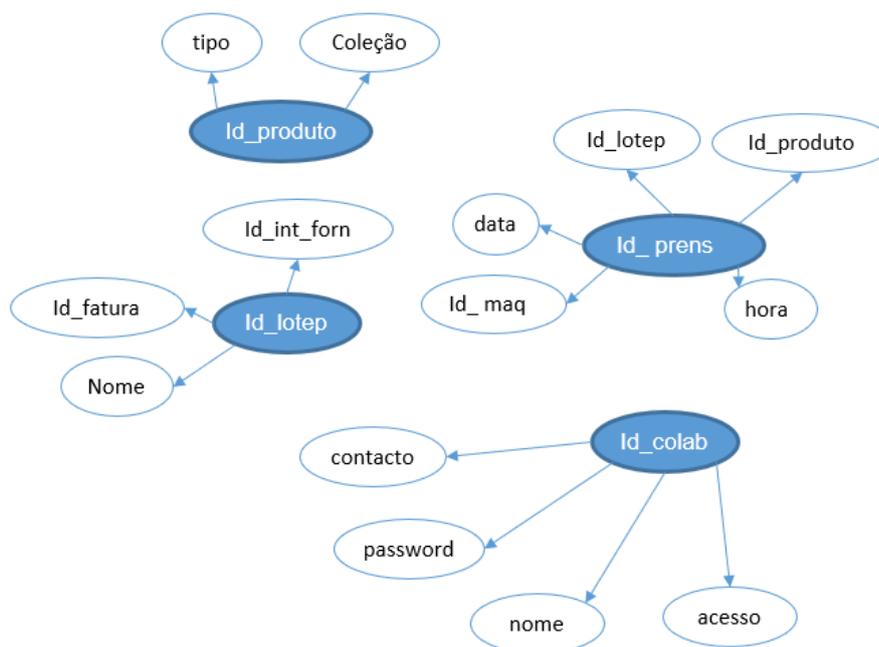


Figura 49 Relações A1, A2, A3 e A4 – Normalizadas

Tabela 3 Relação A1 - Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_prens	Id_prens

Tabela 4 Relação A2 - Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_lotep	Id_lotep

Tabela 5 Relação A3 - Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_producto	Id_producto

Tabela 6 Relação A4 - Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_colab	Id_colab

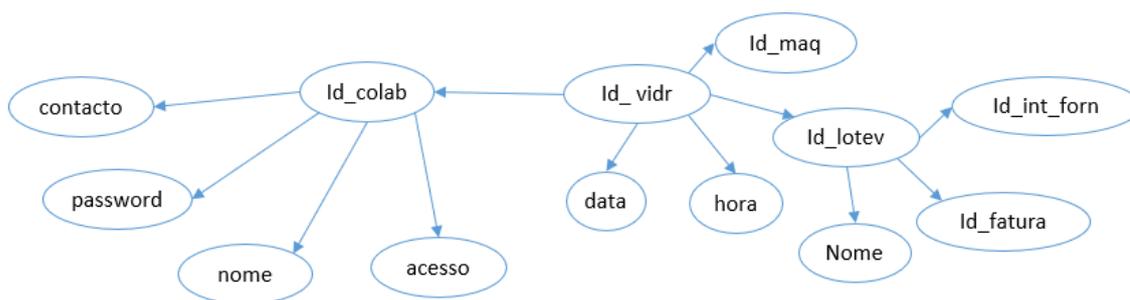


Figura 50 Diagrama da Relação B – Não Normalizada

Tabela 7 Relação B - Não Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_vidr	Id_vidr
Id_lotev	
Id_colab	

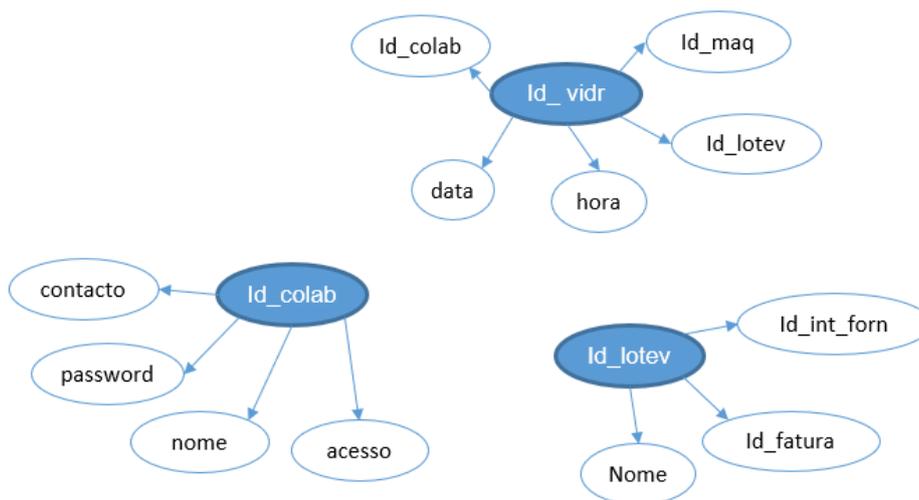


Figura 51 Relações B1, B2 e B3/A4 - Normalizadas

Tabela 8 Relação B1 - Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_vidr	Id_vidr

Tabela 9 Relação B2 - Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_lotev	Id_lotev

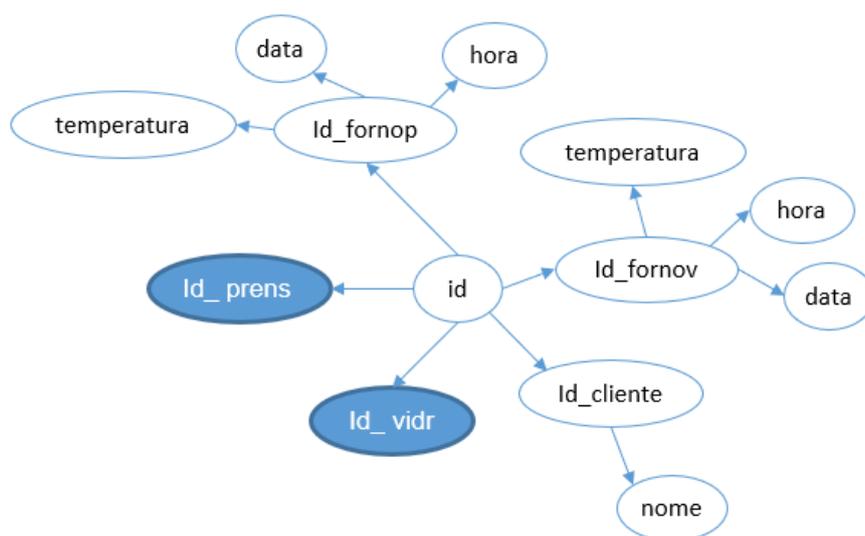


Figura 52 Relação R - Não Normalizada

Tabela 10 Relação R - Não Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id	id
Id_prens	
Id_vidr	
Id_cliente	
Id_fornop	
Id_fornov	

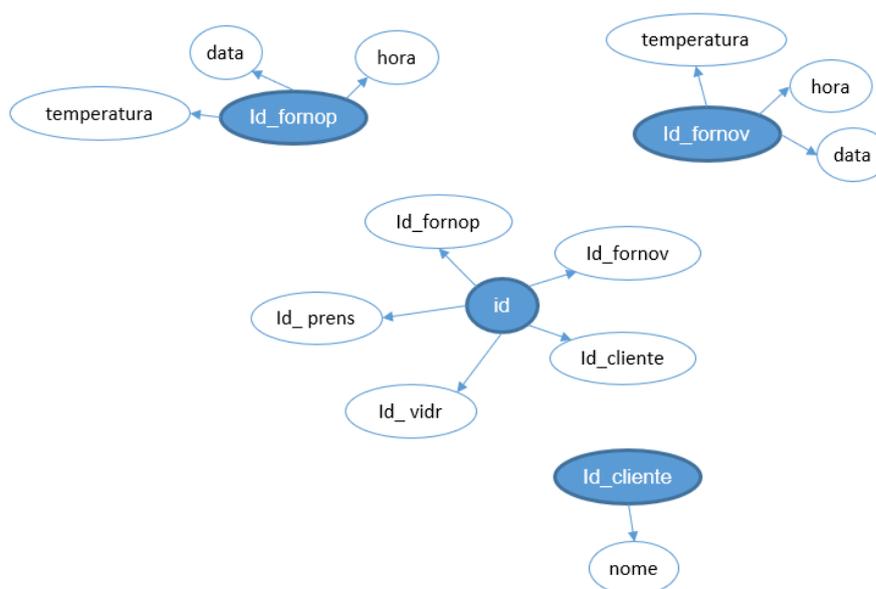


Figura 53 relações R1, R2, R3 e R4 - Normalizadas

Tabela 11 Relação R1 - Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_fornop	Id_fornop

Tabela 12 relação R2 - Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_fornov	Id_fornov

Tabela 13 Relação R3 - Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id_cliente	Id_cliente

Tabela 14 Relação R4 - Normalizada

Determinantes	Chaves Candidatas
Id	id

As ferramentas utilizadas, tanto os diagramas de entidade relação como os diagramas de dependências funcionais convergiram na estrutura da base de dados proposta para esta solução.

Tabela 15 Tabela utilizada na base de dados relativa à Peça

<u>id</u>	id_prens	id_vidr	id_cliente	id_fornop	id_fornov
-----------	----------	---------	------------	-----------	-----------

Tabela 16 Tabela utilizada na base de dados relativa ao produto

<u>id_produto</u>	tipo	coleção
-------------------	------	---------

Tabela 17 Tabela utilizada na base de dados relativa ao colaborador

<u>id_colab</u>	nome	password	acesso	contacto
-----------------	------	----------	--------	----------

Tabela 18 Tabela utilizada na base de dados relativa às máquinas isostáticas

<u>id_prens</u>	id_maq	data	hora	id_colab	id_lotep	id_produto
-----------------	--------	------	------	----------	----------	------------

Tabela 19 Tabela utilizada na base de dados relativa às linhas de vidração

<u>id_vidr</u>	id_maq	data	hora	id_colab	id_lotev
----------------	--------	------	------	----------	----------

Tabela 20 Tabela utilizada na base de dados relativa aos lotes utilizados nas máquinas isostáticas

<u>id_lotep</u>	id_int_forn	id_fatura	nome
-----------------	-------------	-----------	------

Tabela 21 Tabela utilizada na base de dados relativa aos lotes utilizados nas linhas de vidração

<u>id_lotev</u>	id_int_fornid_fatura	id_fatura	nome
-----------------	----------------------	-----------	------

Tabela 22 Tabela utilizada na base de dados relativa aos clientes

<u>id_cliente</u>	nome
-------------------	------

Tabela 23 Tabela utilizada na base de dados relativa ao forno de chacotagem

<u>id_fornop</u>	temperatura	data	hora
------------------	-------------	------	------

Tabela 24 Tabela utilizada na base de dados relativa ao forno de cozedura

<u>id_fornov</u>	temperatura	data	hora
------------------	-------------	------	------

5. Implementação da Solução Proposta

Depois de definida a arquitetura da solução proposta para o problema apresentado da implementação de um sistema de rastreabilidade na Vista Alegre, este capítulo debruça-se sobre a implementação do protótipo da solução proposta.

Numa primeira parte, é apresentada a arquitetura da implementação da solução proposta, mostrando o panorama geral da implementação.

Na segunda parte é descrita a forma de como se desenvolveu uma solução inovadora, que não existe atualmente e que permitiu dar resposta às exigências por parte da Vista Alegre.

Posteriormente são apresentados e descritos os equipamentos e ferramentas utilizados na implementação deste protótipo de um sistema de rastreabilidade, desde o sensor utilizado, o circuito e o módulo que processam inicialmente os dados, e as posteriores ferramentas de comunicação para o servidor, tratamento e armazenamento, visualização e introdução de dados. São explicadas as formas de como as ferramentas e os equipamentos interagem entre si desde a peça até à visualização final da rastreabilidade, de forma gradual e vertical.

5.1. Arquitetura da implementação

De forma a implementar um sistema de rastreabilidade flexível, sólido e compatível ao longo de toda a cadeia de produção, recorreu-se ao uso de ferramentas open-source e de ferramentas web integradas com módulos IoT para possibilitar o controlo dos sistemas a um custo reduzido.

A implementação consiste na prototipagem de um sistema que pode ser facilmente aplicado e integrado com o existente na fábrica sem interferência com a produção atual.

A integração deste protótipo recorreu à utilização de módulos sensores Arduino para obtenção de dados, módulos IoT como o ESP8266 para processar a informação, que é um microprocessador de baixo custo e consumo com ligação WiFi, um servidor local Apache para comunicar com a base de dados local, uma base de dados MySQL, a ferramenta NODE-RED que, alojada no servidor local serve como uma segunda plataforma de processamento responsável por comunicar com a base de dados e pela criação do dashboard e pela ferramenta MQTTfx, que é um software publicador/subscritor em nuvem responsável pela comunicação em segurança entre os módulos IoT e o servidor.

Devido a ser uma solução que ainda não existe no mercado e de que não há bibliografia associada, houve a necessidade de fazer testes laboratoriais para provar o conceito.

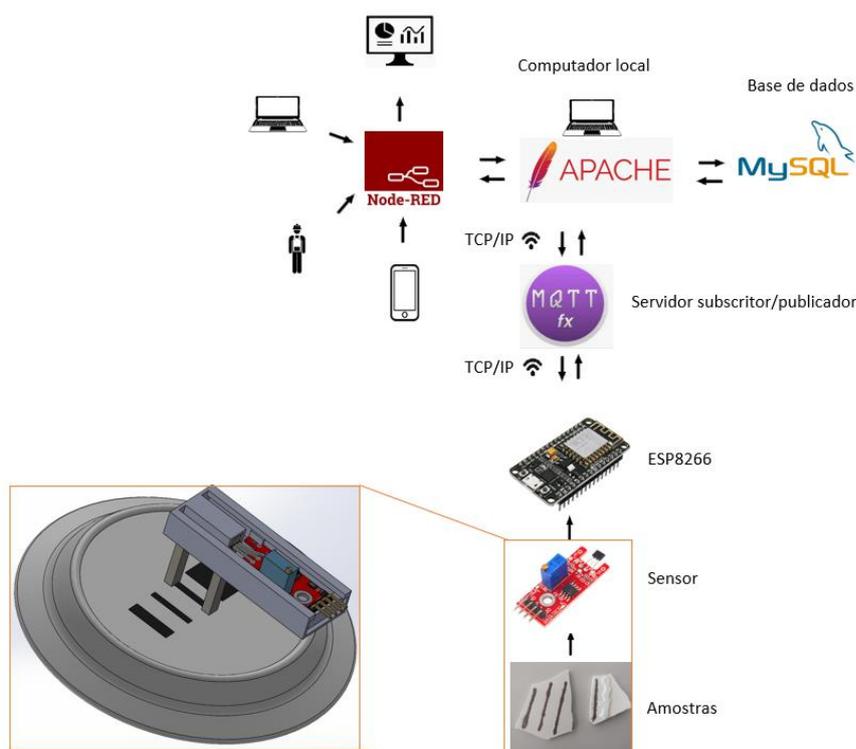


Figura 54 Esquema da solução proposta

5.2. Ferrite de Ítrio

As granadas de ferrite de ítrio $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG), com a fórmula geral $3M_2O_3 \cdot 5Fe_2O_3$, em que M é o ítrio, apresentam propriedades magnéticas muito interessantes, assim como propriedades dielétricas igualmente interessantes. A magnetização de saturação controlável, baixas perdas e o efeito magneto-

elétrico tornam fazem deste material um interessante objeto de estudo científico e tecnológico (Wu et al., 2007). Este material também possui características magneto-ópticas que são de interesse na área das telecomunicações. O ítrio tem especial interesse nesta dissertação devido principalmente porque as suas características magnéticas permitem aplicar a ferrite de ítrio em sensores de campo magnético (Shen et al., 2012).

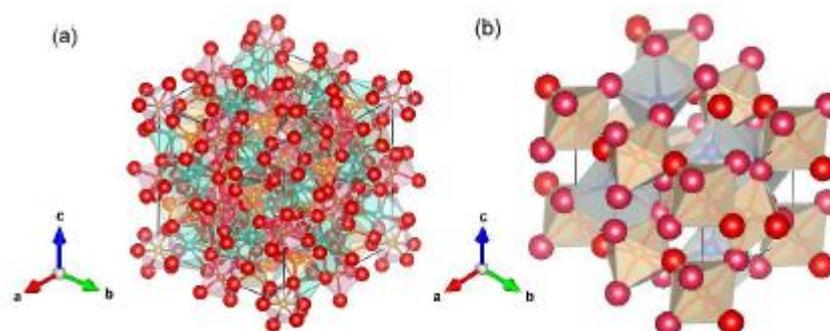


Figura 55 Sistemas cristalinos de ferrite de ítrio: (a) $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) de estrutura cúbica e (b) $YFeO_3$ de estrutura ortorrômbica. (iões de oxigénio (vermelho e rosa); iões de ítrio (azul); iões de ferro (castanho)).

(Soreto Teixeira, 2019)

5.3. Amostras

A primeira fase do projeto foi testar o material ferromagnético de acordo com o princípio de funcionamento descrito na seção 4.1. Durante a alguns meses foram testadas diversas amostras submetidas a várias condições como apresentado no Anexo A.

Foram feitas várias experiências que envolveram diferentes temperaturas, diferentes concentrações de ferrite de ítrio e diferentes coberturas. Inicialmente tentou-se alcançar uma solução de ferrite e álcool que idealmente permitiria a impressão da ferrite nas peças sem a aplicação prematura de tinta, álcool esse que seria diluído logo na fase da cozedura subsequente à conformação da peça, solução esta que se mostrou inviável devido à dissipação do álcool na peça e respetiva distribuição descontrolada da ferrite. Esta solução também se mostrou inconstante devido à relação entre a elevada densidade das partículas de ferrite em relação à densidade do álcool que se traduziu num muito difícil controlo linear da concentração da ferrite em cada preparado, devido à aglomeração da ferrite no fundo do recipiente que continha a solução. Como alternativa, procedeu-se à colocação manual de quantidades de ferrite controladas e distribuídas de forma homogénea, que posteriormente

foram colocadas no forno num intervalo de cozedura de 15 horas (Figura 56) e finalmente foi aplicada uma camada de tinta disponibilizada pela empresa.



Figura 56 Cozedura das amostras

Após várias testagens concluiu-se que a solução era viável para prosseguir com a solução porque, ao ser detetado um sinal na ordem dos 5mV, esse sinal pode ser amplificado para gerar um sinal capaz de ser processado entre os 0V e os 5V, que são as diferenças de potencial com que os dispositivos eletrónicos funcionam.



Figura 57 Amostras finais

5.4. Hardware

5.4.1. Detecção das marcas

De acordo com o princípio de funcionamento descrito na seção 4.1, procedeu-se à deteção das linhas de ferrite de ítrio com recurso a um sensor de efeito de Hall e um íman (Figura 58).

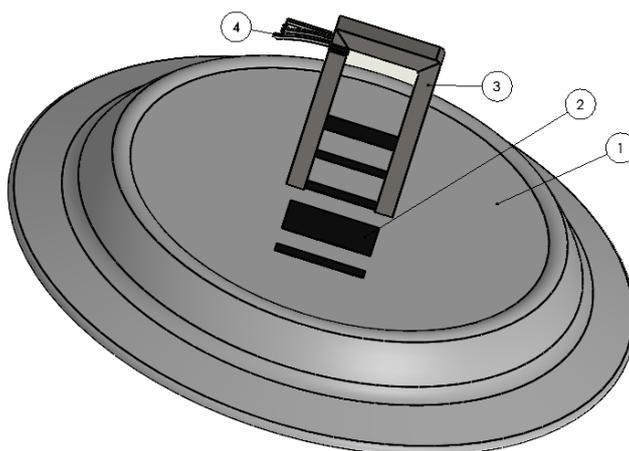


Figura 58 Esquema de deteção das marcas de ferrite de ítrio

A deteção é composta pelas marcas (2) impressas nas peças (1), de comprimento suficiente para atravessarem ambas as pontas do “U” (3) de forma a ser provocado um curto-circuito magnético no sistema, aumentando a intensidade do campo magnético que atravessa o sensor de efeito de Hall (4), aumentando a tensão de saída do módulo Arduino (Figura 59).

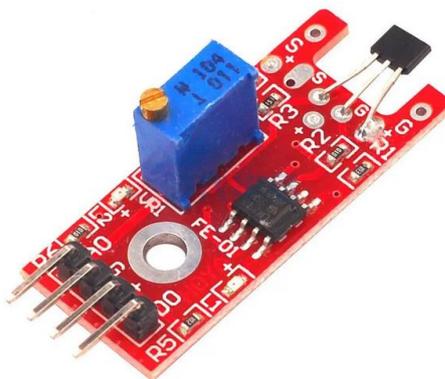


Figura 59 Módulo Arduino ky-024 Linear Hall sensor

Devido à impossibilidade de adquirir um íman em forma de “U” com a geometria específica para o desenvolvimento desta solução, isto é, com uma seção transversal que partilhe as mesmas medidas do sensor de Hall, de forma que todas as linhas do campo magnético passem pelo sensor, de forma a

otimizar a detecção por parte do sensor, recorreu-se a um software CAD para desenvolver uma peça em forma de “U”, composta por material ferromagnético. Não sendo esta peça um íman por natureza, mas tendo características magnéticas, induziu-se magnetismo nesta peça recorrendo a ímanes de neodímio, caracterizados pelo grande magnetismo em relação ao seu tamanho, por um preço reduzido.

Para a integração desta solução foi necessário o desenvolvimento de uma estrutura desenvolvida e produzida recorrendo à prototipagem rápida, de forma a integrar o módulo sensor e a peça em “U” (Figura 60).

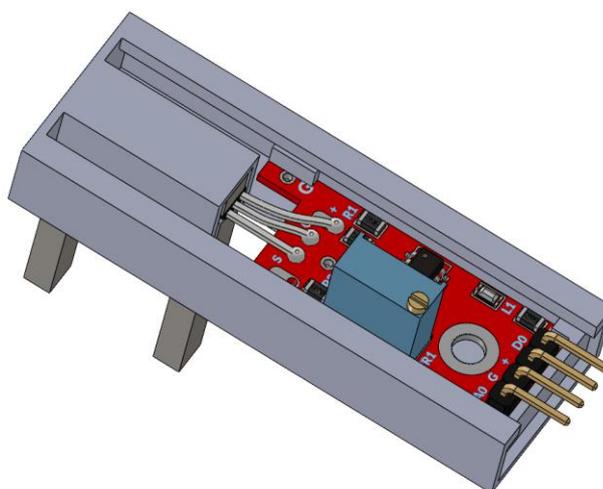


Figura 60 Módulo Arduino integrado com a peça em "U", por meio de uma peça desenvolvida e produzida recorrendo à prototipagem rápida

Esta solução foi também pensada para facilitar a manutenção desta ponta de prova projetada. A sua geometria em “gaveta” permite que o módulo seja retirado e substituído sem ter de se trocar toda a estrutura, reduzindo as afinações à regulação das resistências variáveis do circuito e não interferindo na linha de produção (Figura 61).

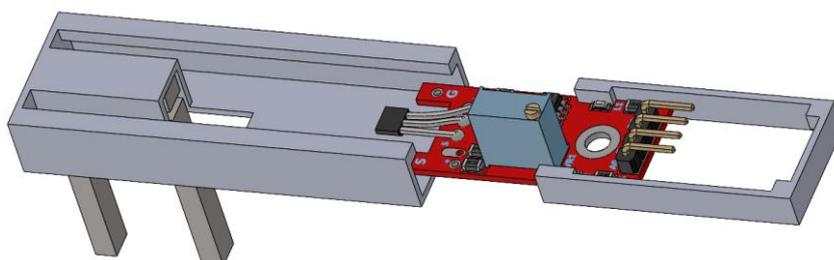


Figura 61 Geometria em "gaveta" do protótipo

5.4.1.1. Hall Sensor

Para a detecção da tinta metálica proposta como solução para este projeto será usado um circuito que deteta a presença da marca a partir das diferenças no campo magnético sentidas por um sensor de efeito Hall. O campo magnético é criado a partir de um ímã permanente que induz uma estrutura ferromagnética em forma de “U” ou de ferradura e o sensor, integrado na estrutura, regista o valor do fluxo magnético contido na estrutura. A tinta, ao fechar o circuito, irá fechar o caminho das linhas de campo provocando um curto-circuito magnético aumentando a intensidade do fluxo magnético, alterando a medição feita pelo sensor na sua saída.



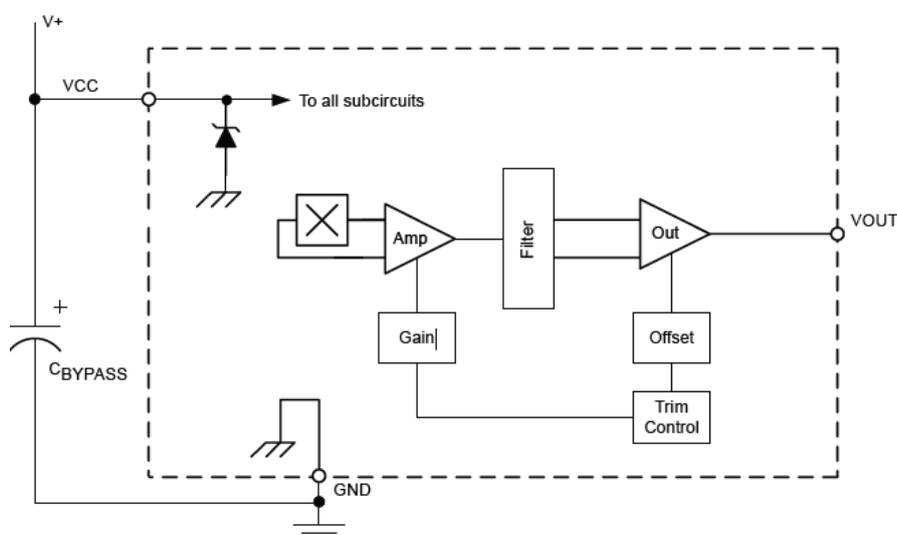
Figura 62 Sensor de efeito de Hall

O sensor utilizado é o modelo A1302. Este modelo é otimizado para ter uma diferença de potencial de saída proporcional ao campo magnético aplicado, que neste caso é de 1.3 mV/G (Figura 63).

Selection Guide				
Part Number	Packing*	Package	Ambient, T _A	Sensitivity (Typical)
A1301EUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP	-40°C to 85°C	2.5 mV/G
A1301KLHLT-T	7-in. reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1301KLHLX-T	13-in. reel, 10000 pieces/reel	Surface Mount		
A1301KUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1302ELHLT-T	7-in. reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 85°C	1.3 mV/G
A1302ELHLX-T	13-in. reel, 10000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1302KLHLT-T	7-in. reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount		
A1302KLHLX-T	13-in. reel, 10000 pieces/reel	Surface Mount		
A1302KUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		

Figura 63 Sensibilidade do sensor

O sensor é composto por um circuito integrado que inclui um amplificador operacional linear, que minimiza problemas como baixas diferenças de potencial de saída nos sinais analógicos. Este sensor é ideal para sistemas industriais lineares e rotativos de detecção de objetos.



Functional Block Diagram

Figura 64 Circuito interno do sensor

5.4.1.2. Módulo Arduino ky-024

Os módulos Arduino ky-024 já vêm preparados para processar o sinal proveniente do sensor de forma clara, sendo só preciso adicionar um segundo circuito responsável por processar o sinal para o enviar posteriormente para a UP.

O módulo tem uma saída analógica, uma saída digital, alimentação até 5V e o pino terra. As leituras são feitas a partir do pino analógico para podermos visualizar as alterações da intensidade do sinal e assim detetarmos a presença de uma marca.

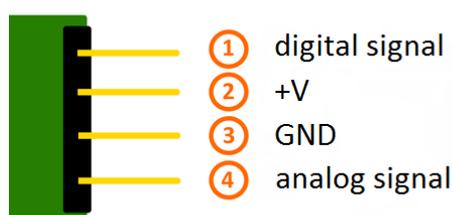


Figura 65 Pinos do módulo ky-024

Embora o sensor seja mais fácil de ser substituído, montado e ofereça várias opções de sensibilidade, a tensão de saída tem uma ordem de grandeza muito maior do que as variações de tensão a que a solução é sujeita, logo é insuficiente para visualizar, só por si, as variações de tensão na presença das marcas. Sendo assim, é também necessária a integração de amplificadores operacionais (ampops) no

circuito, de forma a amplificar o sinal e filtrar o ruído, para a obtenção de diferenças de potencial relevantes na presença ou ausência da tinta para a programação do código.

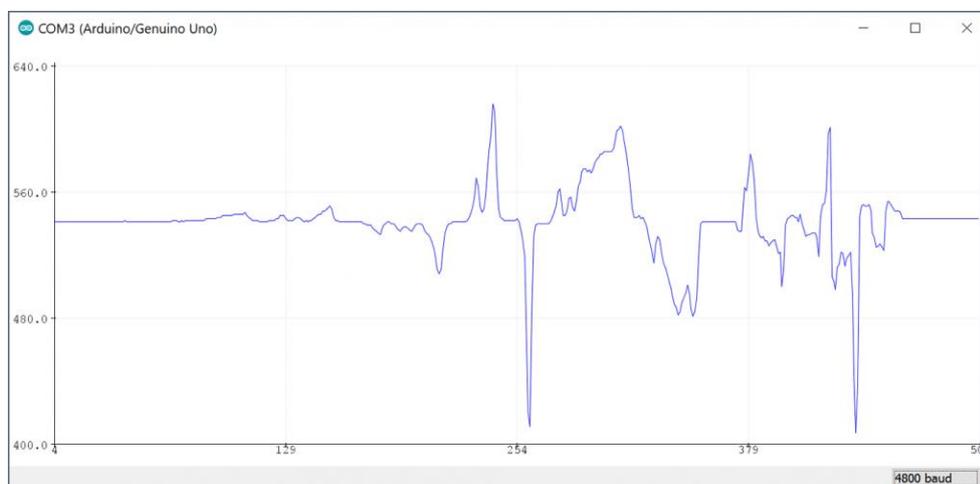


Figura 66 Visualização do sinal analógico proveniente do módulo ky-024

Neste caso, a criação de um circuito subtrator e amplificador de sinal é a melhor opção.

À diferença de potencial de saída do sensor é subtraída uma tensão igual ao valor da tensão de saída do sensor em posição de descanso. Isto é, se o sensor, sem estar sujeito a campos magnéticos induzidos pela tinta e apenas estar sujeito ao campo magnético de ruído (campo magnético terrestre, das máquinas envolventes, etc.), for de, por exemplo, 2.50V, teremos de ajustar a outra entrada com um potenciômetro para 2.50V, que será subtraída no ampop, para esse mesmo sinal entrar num circuito amplificador. Na prática, isto quer dizer que sem campo induzido o sensor dará 2.50V mas a saída será de 0V, e ao ser induzido campo magnético, se o sensor apresentar 2.60V, a diferença será de 0.1V que serão amplificados para, por exemplo 2V. E é esta a diferença mais clara que gerará um código para identificar cada uma das peças.

No caso desta solução, é imperativo que um circuito subtrator seja aplicado, porque as diferenças de tensão na presença das marcas são na ordem dos 5-10 mV.

5.4.1.3. Circuito subtrator

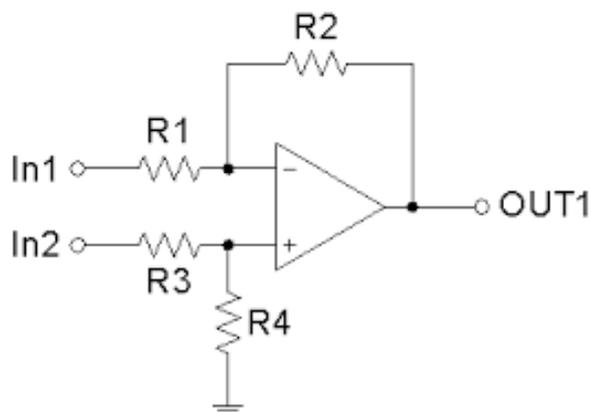


Figura 67 Circuito subtrator [5]

$$OUT1 = -\frac{R2}{R1} * in1 + \frac{R4}{R3 + R4} * \frac{R2 + R1}{R1} * in2$$

Com os valores das resistências iguais, a saída será uma subtração da entrada 2 pela entrada 1.

5.4.1.4. Circuito Amplificador (não-inversor)

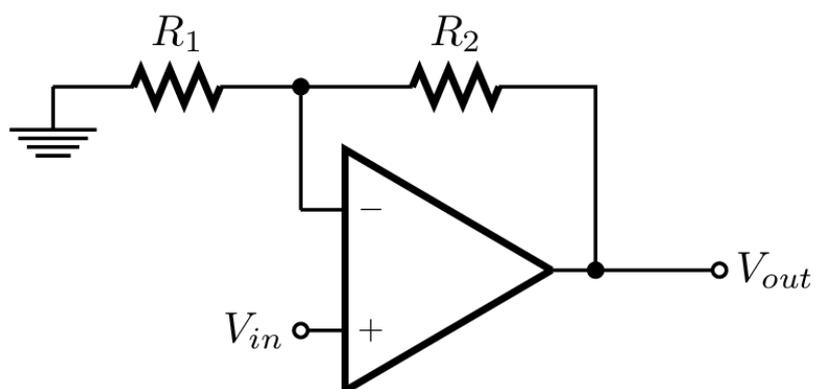


Figura 68 Circuito não-inversor [5]

$$Vout = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) * Vin$$

Neste circuito, a tensão de saída é $\left(1 + \frac{R2}{R1}\right)$ vezes maior do que a tensão de entrada, sendo o ganho manipulado pelos valores das resistências.

5.4.2. Circuito Desenhado e Montagem

O circuito foi desenhado na ferramenta ISIS, abordada nas aulas de tecnologias de acionamento e comando.

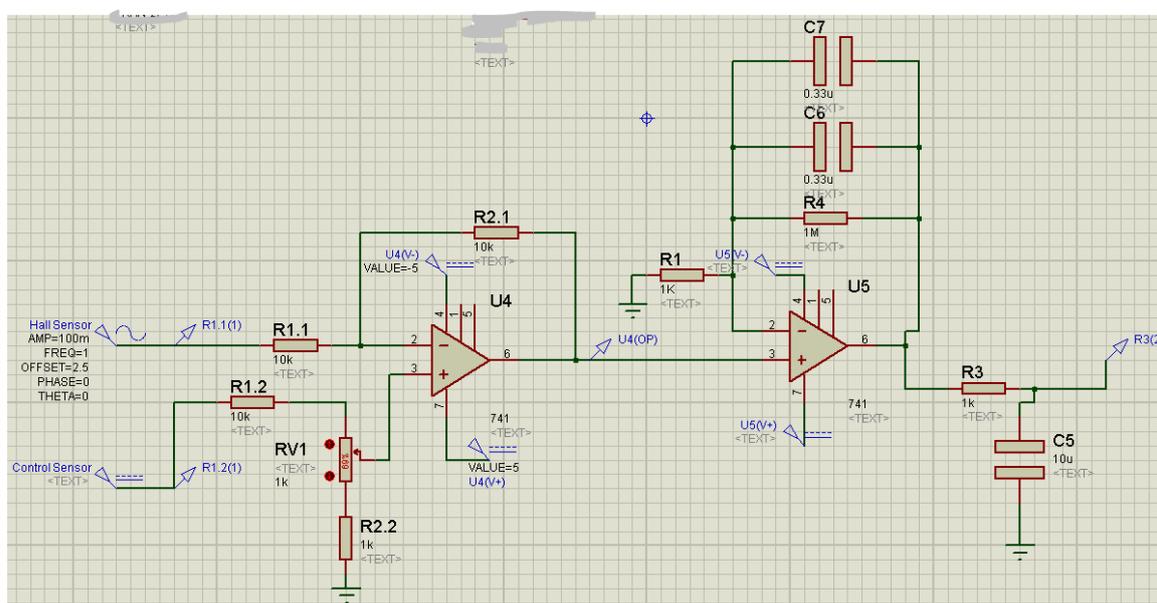


Figura 69 Circuito desenvolvido no software ISIS

Para a criação de um campo magnético a ser medido, fez-se inicialmente uma estrutura composta por ímãs permanentes, uma barra de metal numa extremidade e o sensor de Hall na outra, de forma a registrar as mudanças de campo magnético (Figura 70). Posteriormente, esta solução foi substituída pelo módulo IoT ky-024 por dar mais garantias de funcionamento, por ser mais modular e por oferecer mais garantias de estabilidade e funcionamento.

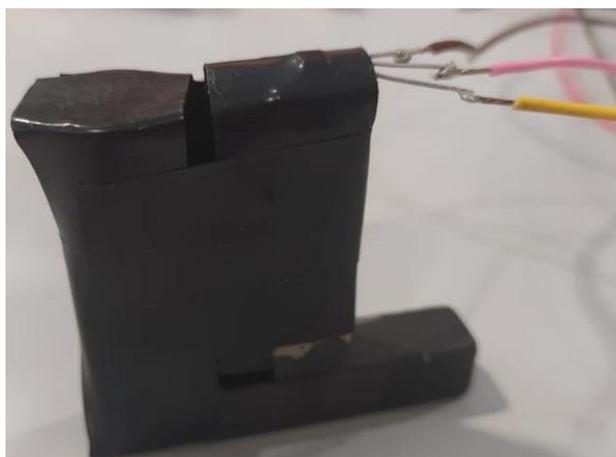


Figura 70 Primeiro protótipo de detecção composto por dois ímanes permanentes geradores de campo magnético e sensor de Hall

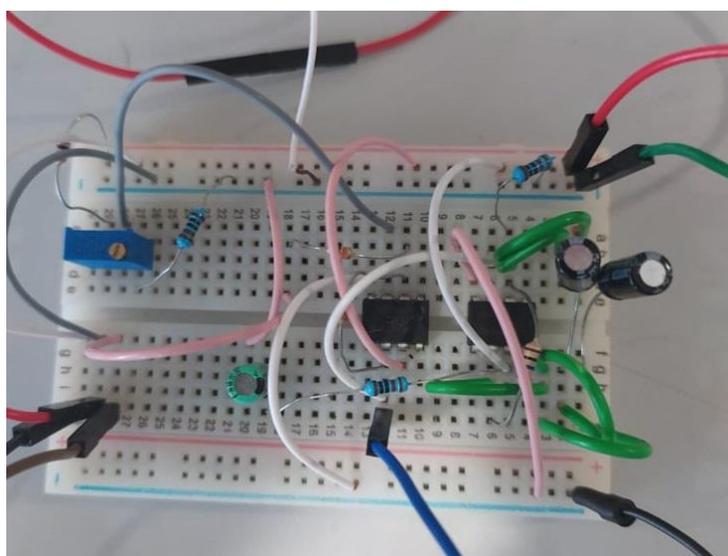


Figura 71 Circuito físico construído

5.4.3. Módulo Iot

O ESP8266 é um microcontrolador (uC) com capacidade de se conectar por Wi-Fi às redes Wireless. Este uC é largamente utilizado em projetos de automação e de domótica devido ao seu preço reduzido, alcance do Wi-Fi, a facilidade em programar, graças aos inúmeros pacotes de código desenvolvidos e partilhados por outros programadores, e à sua versatilidade. Este microprocessador funciona a uma frequência ajustável de 80-160 MHz, possui 128 kB de memória RAM e 4 MB de memória flash.

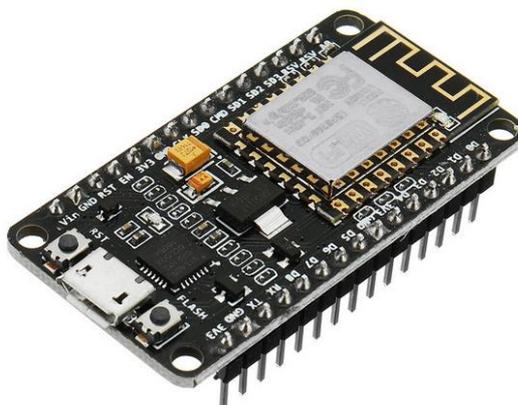


Figura 72 Módulo de desenvolvimento com placa integrada ESP8266

O ESP8266 funciona a uma tensão de funcionamento entre 3V e 3.6V, podendo aguentar até 6V, permite fornecer uma tensão estável de 3.3V aos periféricos e é ligado por um cabo micro USB alimentado a 5V e que comunica com o microprocessador por protocolo RS232. Para programar o ESP, é utilizado o software de programação IDE do Arduino, fazendo o download das bibliotecas esp8266 disponíveis pela comunidade.

Este módulo ESP tem uma entrada analógica que será utilizada para receber o sinal linear proveniente do protótipo desenvolvido para leitura das marcações nas peças de cerâmica e 17 entradas/saídas digitais usadas para controlo digital de outros equipamentos.

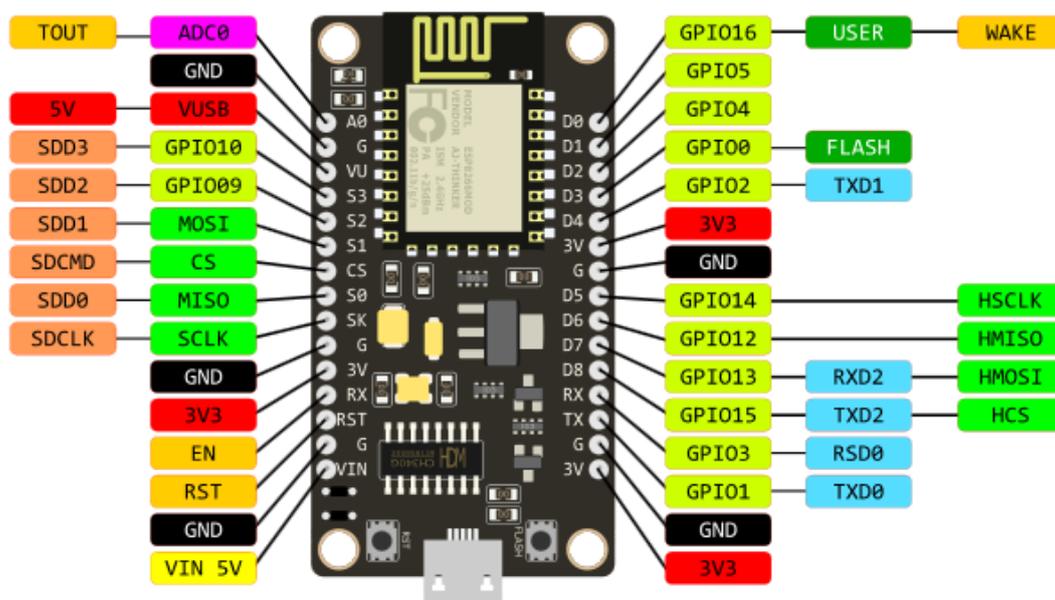


Figura 73 Entradas e saídas disponíveis nos ESP8266 (Laboratório, n.d.)

5.5. Processamento dos dados

5.5.1. Comunicação Hardware - Servidor

Para comunicar entre o dispositivo IoT e o servidor é necessário um protocolo de comunicação capaz de transferir grandes quantidades de dados provenientes dos dispositivos sem ocupar muito espaço na banda de rede da empresa, isto porque numa empresa onde a Indústria 4.0 esteja implantada ou a ser implantada, é vital que a rede nunca esteja sobrecarregada. Uma fábrica inteligente em que a rede falhe, compromete todo o CPS e poderá trazer graves consequências nas linhas de produção.

O protocolo MQTT é a solução ideal para satisfazer estas necessidades, pois trata-se de um protocolo de rede publicador-subscritor em tópicos (canais) universal, otimizado para redes TCP/IP e normalmente usado em pequenos dispositivos e sensores, para comunicação M2M e aplicações IoT. O objetivo deste protocolo é reduzir a largura de banda utilizada, garantir a entrega das mensagens e dar mais um nível de segurança à dados trocada, assim como a velocidade de troca de dados entre plataformas (Nițulescu & Korodi, 2020).

O MQTTfx é uma ferramenta é uma das várias ferramentas MQTT disponíveis e grátis. O MQTTfx foi o escolhido para o projeto por ser mais intuitivo e fácil de navegar, considerando que este projeto é o ponto de partida para uma solução a ser implementada numa empresa, que será, provavelmente, utilizada por operadores com menos conhecimentos desta tecnologia. Há muitas outras ferramentas idênticas ao MQTTfx, como por exemplo o software mosquitto, também muito utilizado em soluções do género.

No MQTTfx foram criados tópicos para comunicação entre o Node-RED e o ESP8266, criando assim pontes de comunicação entre o servidor e todos os dispositivos IoT distribuídos no chão de fábrica, sem a possibilidade assim de acumulação de informação numa só via ou de troca de informação no processamento devido a eventuais entupimentos de dados.

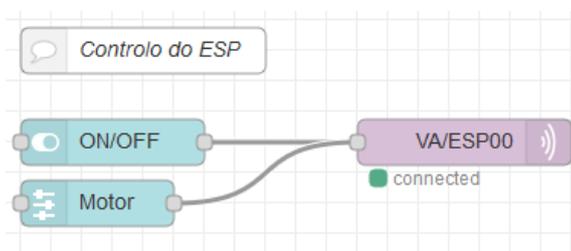


Figura 74 Instruções do dashboard do Node-RED para o broker

O software Arduino IDE dispõe de inúmeros exemplos para um conjunto vasto de aplicações usando a comunicação MQTT. Já com vista à utilização de um broker, utilizou-se um exemplo para ligar o ESP8266 a uma plataforma MQTT.



Figura 75 Obtenção do código exemplo para a ligação do ESP a plataformas MQTT

Por uma questão de simplicidade e clareza, os canais criados para este trabalho são unidirecionais, ou seja, há um canal para mensagens do ESP8266 para o servidor e outro canal para transmitir as mensagens do servidor para o ESP8266.

```
if(String(topic).equals("VA/ESP00")) {
  // Switch on the LED if an 1 was received as first character
  if (payloadStr.equals("ON")) {
    digitalWrite(2, LOW); // Turn the LED on (Note that LOW is the voltage level
    // but actually the LED is on; this is because
    // it is active low on the ESP-01)
  } else if(payloadStr.equals("OFF")){
    digitalWrite(2, HIGH); // Turn the LED off by making the voltage HIGH
  }
}
```

Figura 76 Código do ESP8266 para atuar de acordo com informação proveniente do broker

Todos os canais começam por “VA/”, relativos ao projeto. Os canais em que as mensagens fluem do servidor para o ESP8266 terão sempre a seguinte configuração: “VA/ESP###” sendo o número da esquerda relativo ao posto onde está integrado o ESP8266 e o segundo número relativo ao número da máquina, se aplicável. Estes canais servem para, se necessário, o utilizador enviar mensagem de controlo para o ESP8266.

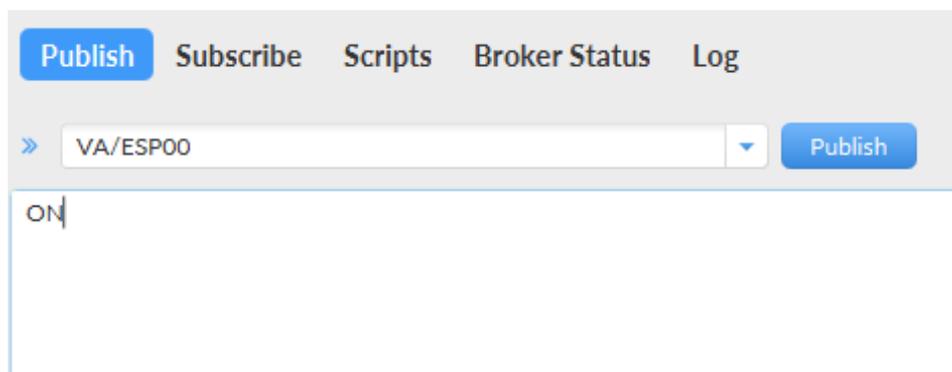


Figura 77 Canal de publicação do servidor para o ESP8266, com a instrução “ON”

Os canais em que as mensagens fluem do ESP8266 para o Broker terão também sempre a seguinte configuração: “VA/###” sendo o número da esquerda relativo ao posto onde está integrado o ESP e o segundo número relativo ao numero da máquina, se aplicável. Como referido no ponto 4.1, a ordem numérica dos postos corresponde à prensagem, chacotagem, vidração e cozedura, respetivamente.

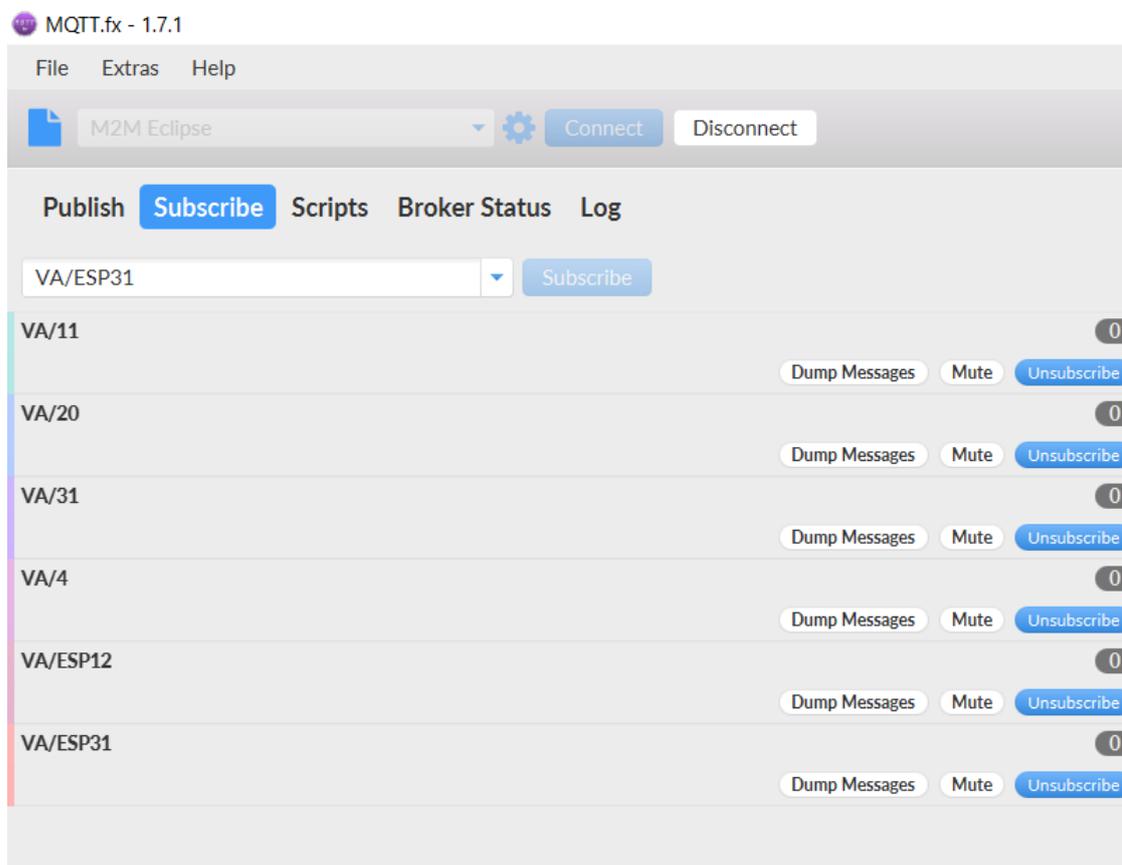


Figura 78 Página de subscrição do broker, com vários canais subscritos

5.5.2. Processamento no ESP8266

O ESP8266 vai ser responsável por conectar o sensor com o servidor local, enviando mensagens por protocolo MQTT, que conseqüentemente vai guardar os dados nas bases de dados ou processar a informação no servidor local. Para isso, São configurados os parâmetros SSID (Service Set Identifier) e respectiva palavra-passe para que o módulo IoT possa ser conectado à rede Wireless da empresa ou a outra qualquer rede Wireless para poder enviar mensagem pelo broker MQTT.

A entrada digital A0 do módulo IoT vai receber os valores lidos e processados pelo sensor e pelo circuito que processa o sinal. Na prática, esta entrada analógica vai funcionar como se fosse um multímetro e vai registrar as variações de tensão da saída amplificada.

Como as variações de tensão são na ordem de 5-10 mV no máximo, o sinal tem de ser amplificado no segundo ampop 1000 vezes e a resistência variável tem de ser ajustada de forma que a diferença entre o sinal proveniente do sensor e a tensão ajustada seja zero (ou ligeiramente menor que zero).

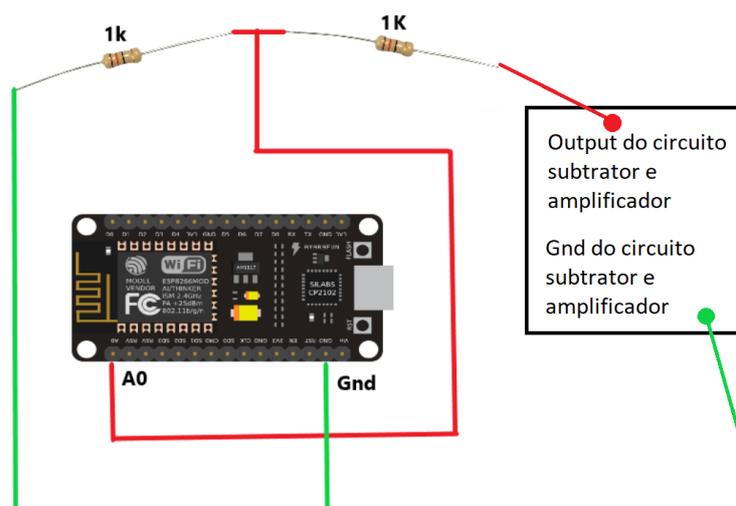


Figura 79 Configuração do ESP8266 pra poder funcionar como voltímetro

Na linha de produção, um sensor de presença irá detectar a presença de uma peça, e o módulo IoT começa a “ouvir”, isto é, começa a registrar os valores provenientes da entrada analógica. A detecção da marca é feita quando o módulo IoT deteta uma tensão acima dos 3V, registrando o valor como 1. Este valor é guardado num array. Quando o sensor de presença deixa de enviar o sinal, o registo guardado no array é enviado por Wi-Fi pelo broker para o servidor local, registrando assim a quantidade de linhas que cada peça tem. A identificação da peça, nesta fase tão embrionária, será a quantidade de linhas que cada peça tem.

5.5.3. Processamento no servidor local

O servidor local escolhido para esta solução é um servidor Apache. O servidor Apache faz parte de um pacote de software open-source largamente utilizado para desenvolvimento de soluções WEB, chamado XAMPP.

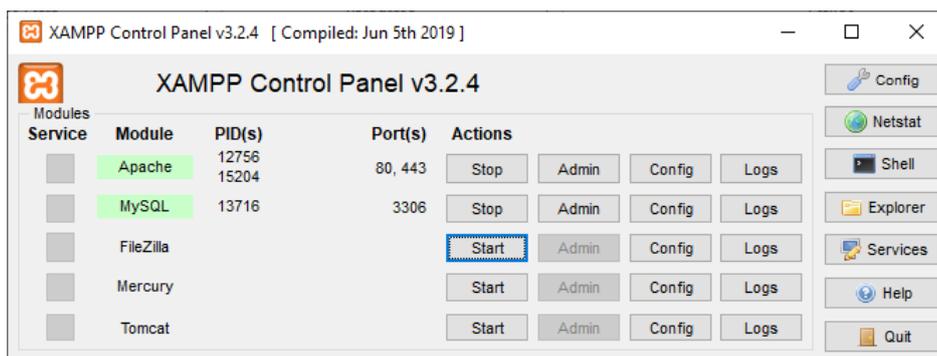


Figura 80 Painel de Controlo do XAMPP

Sendo um servidor HTTP e que permite ligar todos os equipamentos ligados à rede e armazenar páginas WEB que estão disponíveis a toda a rede ligada neste servidor. Foi utilizada esta ferramenta para criar um servidor local capaz de servir de plataforma base para alojar a base de dados e o Node-RED, que é a ferramenta escolhida para o tratamento da informação e respetiva inserção na base de dados e nos dashboards.

A informação chega toda a partir do broker, por nós específicos do ND para trabalhar com MQTT, para serem introduzidos na BD criada, como explicado no ponto anterior.

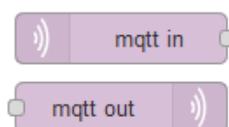


Figura 81 Nós específicos para ligação a plataformas MQTT

Já com os dados enviados para o Node-RED, a informação é processada e organizada de forma a ser inserida nas bases de dados. Cada módulo IoT tem a sua própria cadeia de fluxos que processa a informação de forma individual.

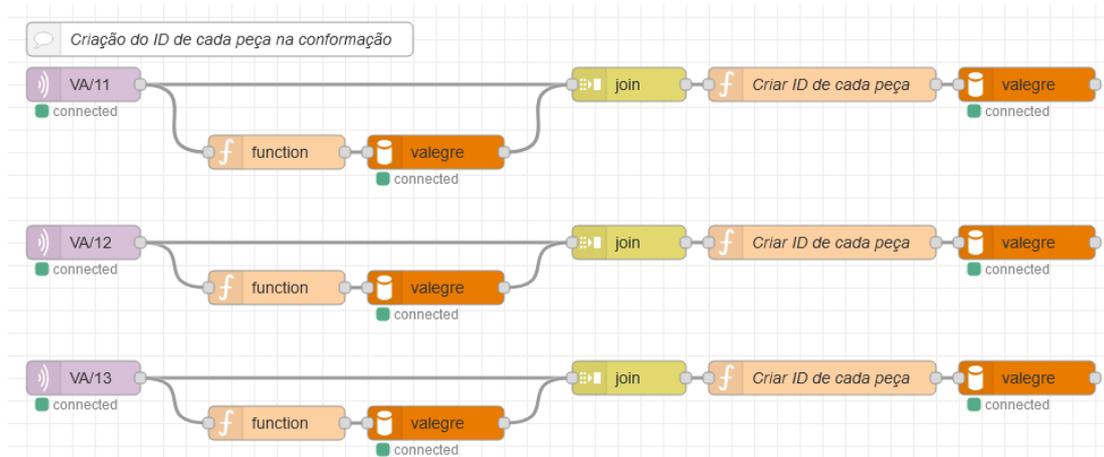


Figura 82 Fluxos de processamento de dados relativos à prensagem

A recepção de um sinal vindo da UP resulta na ativação de um fluxo próprio que contém queries SQL que inserem nas tabelas de relação a informação relativa à identificação do produto, à máquina onde a UP está instalada e aos parâmetros de interesse relativos a cada posto, sejam eles temperatura no caso dos fornos ou matéria-prima e operador no caso da prensagem ou da vidração.

Na página da rastreabilidade, o código inserido pode ser manual ou pode chegar por mensagem MQTT e vais buscar a cada uma das tabelas de relação normalizadas a informação relevante quanto à rastreabilidade de cada peça.

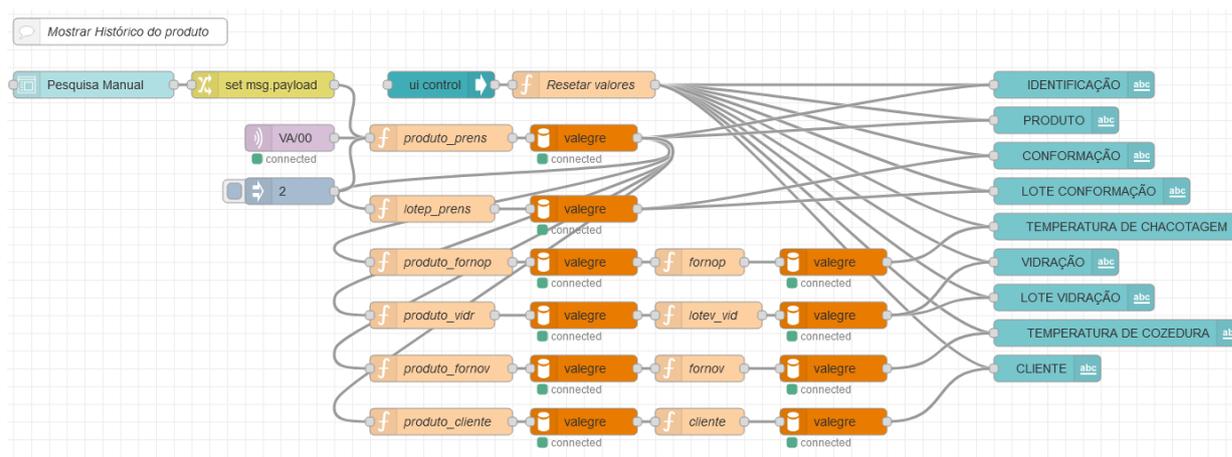


Figura 83 Processamento da busca de informação para a rastreabilidade

O acesso a cada uma das páginas está protegida por um login e palavra-passe. Cada utilizador tem o seu nível de acesso e password que são definidos aquando da inserção dos dados dos colaboradores na respetiva tabela.

5.5.4. Processamento na interface gráfica

A dashboard criada a partir da ferramenta Node-RED tem a função de mostrar o estado da produção, mostrar KPIs relativos às linhas, pesquisar os dados de rastreabilidade de determinada peça e também tem a função de introduzir novos dados nas tabelas das classes, como os produtos, as matérias primas, os clientes, os colaboradores e as máquinas (Figura 85). É constituída por vários separadores responsáveis por diferentes ações e com diferentes níveis de acesso, como é apresentado no Anexo B.

Toda a interface gráfica foi desenvolvida com recurso às vastas ferramentas e nodes disponíveis no Node-RED, não sendo necessário recorrer a programação gráfica como suporte à funcionalidade da solução. O acesso a cada um dos separadores recorre à tabela dos colaboradores para validar as credenciais.

A solução pode ser acedida remotamente e fora da rede interna da empresa, de forma segura e com um custo muito reduzido.

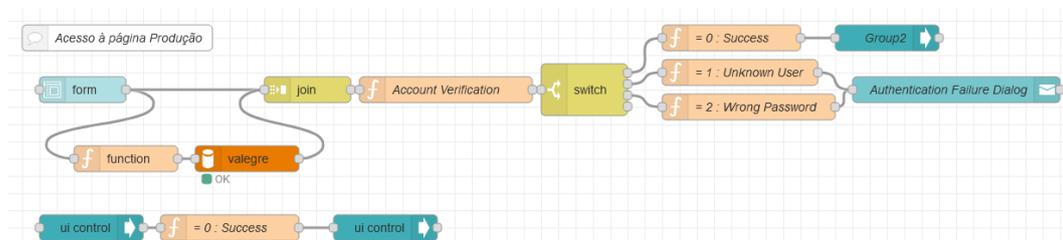


Figura 84 Programação para validar o acesso a cada um dos separadores

The image shows a web interface for an administrator with three main sections:

- Colaborador:**
 - Níveis de Acesso:
 - 0: Administração, Acesso Geral
 - 1: Acesso Geral Produção
 - 2: Acesso Conformação
 - 3: Acesso Vidração
 - 4:
 - 5: Vendas
 - inserir colaborador
 - Id_colaborador *
 - Nome *
 - Telemóvel *
 - Acesso *
 - Password *
 - SUBMIT, CANCEL buttons
- Prensagem:**
 - inserir maquina Prensagem
 - Id_maquina *
 - Nome *
 - nº Série *
 - Fornecedor *
 - SUBMIT, CANCEL buttons
- Vidração:**
 - inserir maquina Vidração
 - Id_maquina *
 - Nome *
 - nº Série *
 - Fornecedor *
 - SUBMIT, CANCEL buttons
 - LOGOUT button

Figura 85 Introdução de novos colaboradores e máquinas na página Administrador

A interface gráfica também é responsável por ser o input de parâmetros relevantes na rastreabilidade das peças como a matéria-prima que está em uso, o colaborador a operar ou o tipo de produto que está em produção. Nas páginas relativas à conformação e à vidração, os valores das matérias-primas e do produto são guardados numa variável global, variável essa que dá a informação dos parâmetros a serem inseridos nas tabelas de relação, como referido no ponto 4.4.3. Na página de vendas a solução é semelhante, apenas com a introdução do cliente.

Um dos separadores é responsável unicamente para visualização do estado da produção em tempo real e indicação de alguns KPIs de cada um dos postos. Este separador não tem nível de acesso e a informação flui diretamente das UP para os elementos de visualização de dados como gauges e gráficos.

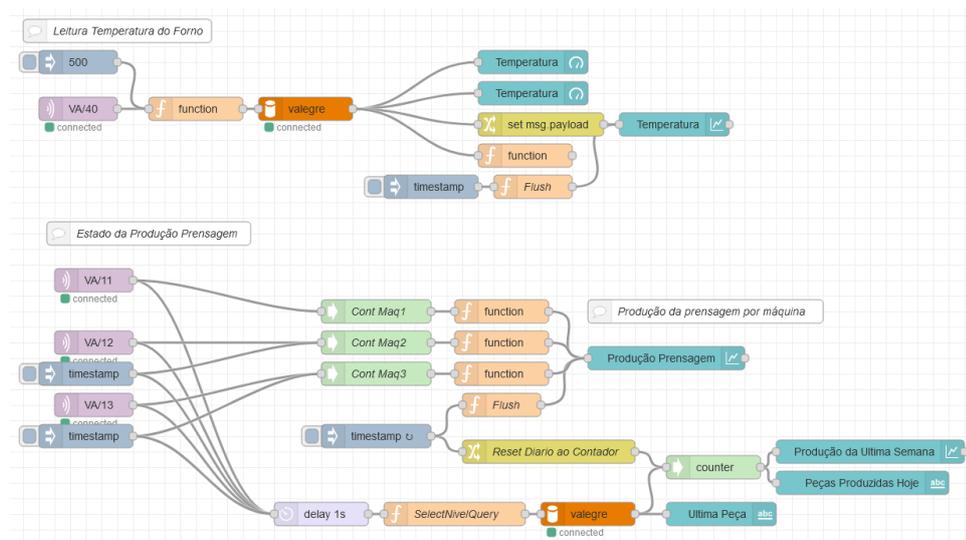


Figura 86 Fluxos de informação para visualização de dados.

A interface gráfica também reserva um separador em que é possível enviar mensagens para as várias UP para simular o controlo dos equipamentos afetos a cada um dos postos. Esta funcionalidade não será aplicada na Vista Alegre, embora seja uma funcionalidade importante enquadrada numa visão de uma plena adesão ao conceito de Indústria 4.0 em que todos os equipamentos e pessoas estão interligados no CPS.

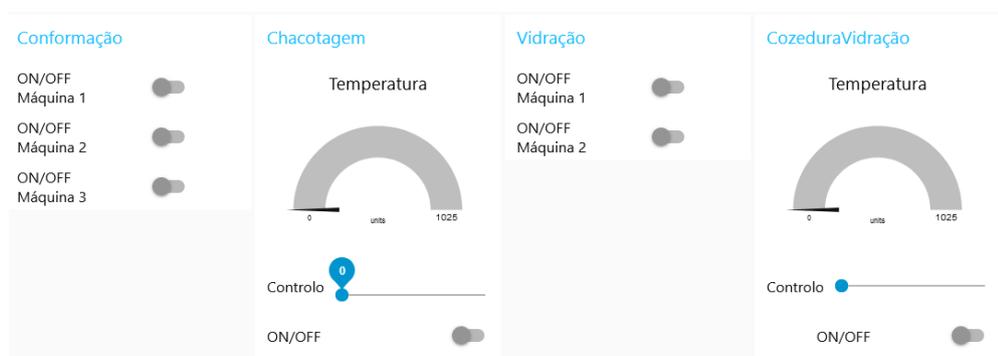


Figura 87 Funcionalidades de controlo de equipamentos

5.6. Bases de dados

Também incluído no pacote XAMPP está uma plataforma de base de dados MySQL. A ferramenta phpMyAdmin permite controlar e gerir as bases de dados do tipo MariaDB, permitindo criar, de forma fácil, intuitiva e grátis, bases de dados, listas e relações que permitirão armazenar toda a informação relevante para ser tratada e analisada.

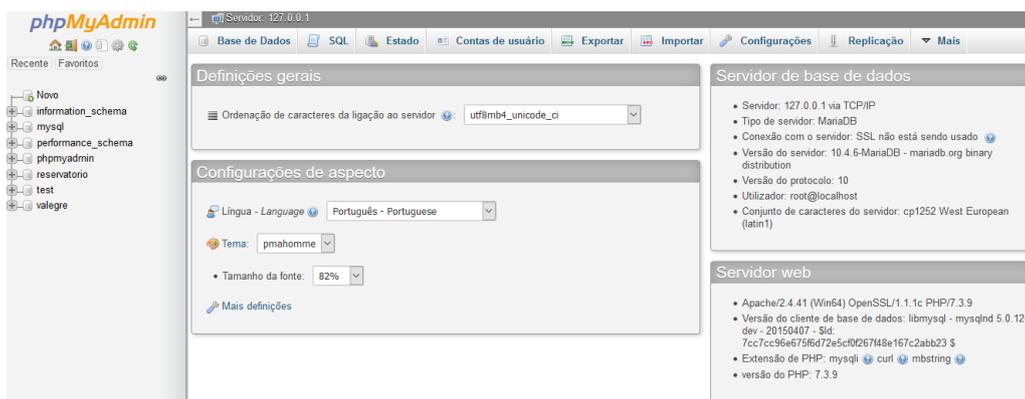


Figura 88 Página inicial da ferramenta phpMyAdmin

Com as listas criadas, a informação é toda inserida a partir do Node-RED.

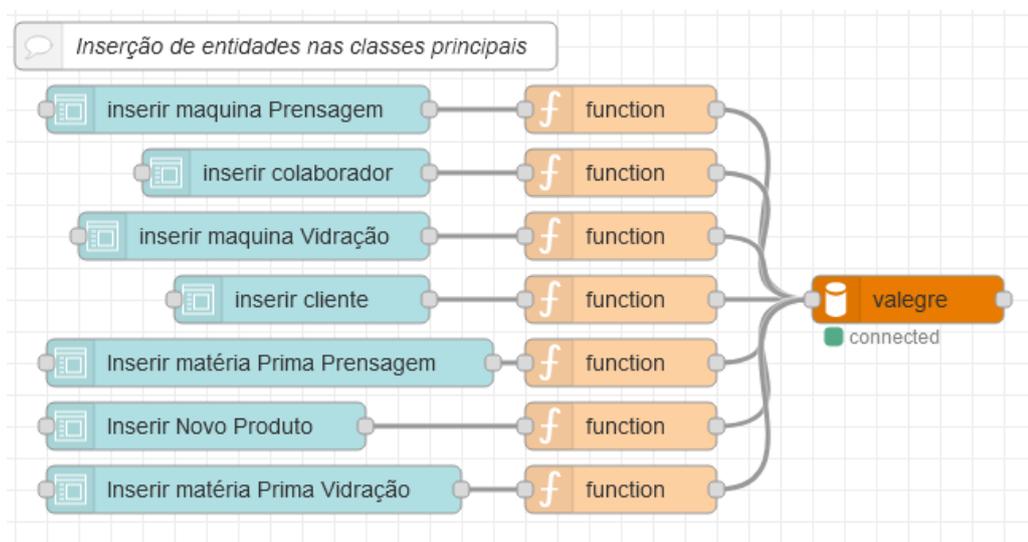


Figura 89 Inserção de dados nas tabelas

6. Análise de Resultados, Limitações e Trabalho Futuro

6.1. Desempenho da solução

A tecnologia em desenvolvimento encontra-se numa fase muito embrionária e conseqüentemente ainda apresenta muitas limitações e desafios.

A primeira limitação encontrada prende-se com a dificuldade em conseguir medir a relutância magnética com as marcas de ferrite de ítrio com a tinta. Embora a solução funcione, a gama de valores na ordem dos milivolts na deteção é muito pequena e muito sensível a fatores externos, principalmente em ambiente industrial. A regulação do sistema é muito minuciosa porque também tem de ter uma precisão ao milivolt. Na prática, a consequência é que basta um erro de 5 milivolts para a conversão digital ser sempre um ou ser sempre zero. A deteção para ser bem-sucedida nos termos em que foi planeada, as “pontas” magnetizadas têm de estar a uma distância muito pequena das marcas, na ordem dos 0.1mm, caso contrário, a solução não tem capacidade para detetar o curto-circuito magnético. Posto isto, após os vários estudos descritos ao longo do Anexo A que serviram para fazer a prova de conceito, foram seleccionadas 4 amostras com a mesma geometria, mas com 25 mg, 10mg, 5 mg e 2.5 mg de ferrite, que foram testadas e verificou-se uma diferença de tensão no circuito devido à sua presença. Todas estas amostras foram posteriormente pintadas com a tinta usada na carimbagem das peças e submetidas a uma segunda cozedura. Para a testagem final, foi utilizada uma máquina de comando numérico para passar as amostras a uma distância e velocidade constantes. Nestas condições, apenas foram obtidos resultados satisfatórios com a amostra com 25 mg de ferrite. A diferença de tensão com o primeiro e o segundo protótipo é de 7.5 mV e 2.4 mV, respetivamente (Figura 90, Figura 91). A deteção de duas linhas pelo circuito final para processamento também foi possível (Figura 92).

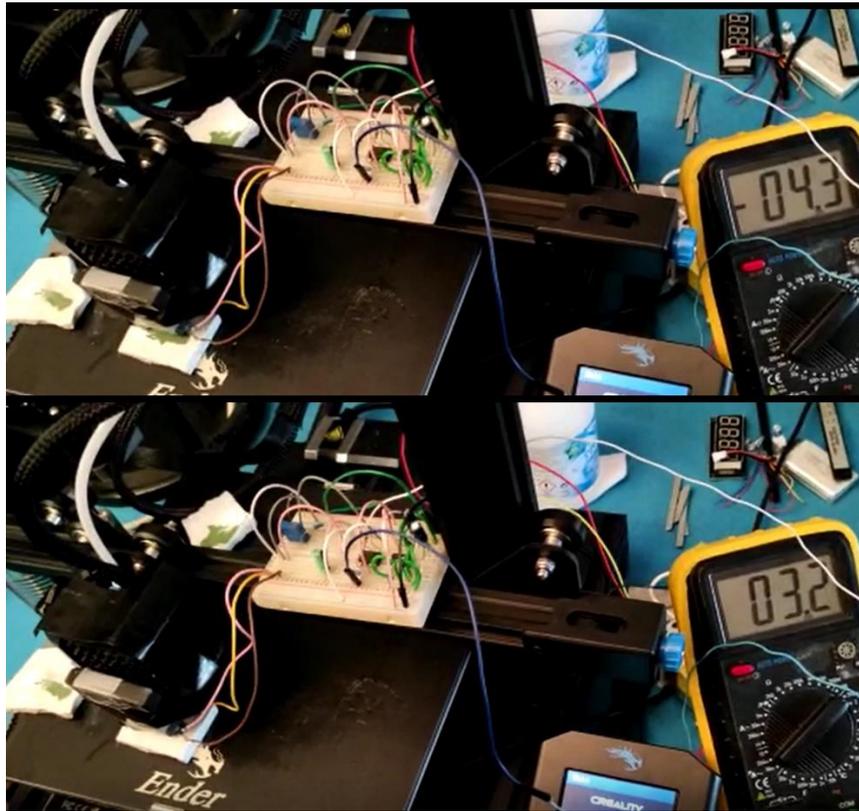


Figura 90 Valores obtidos com o primeiro protótipo.

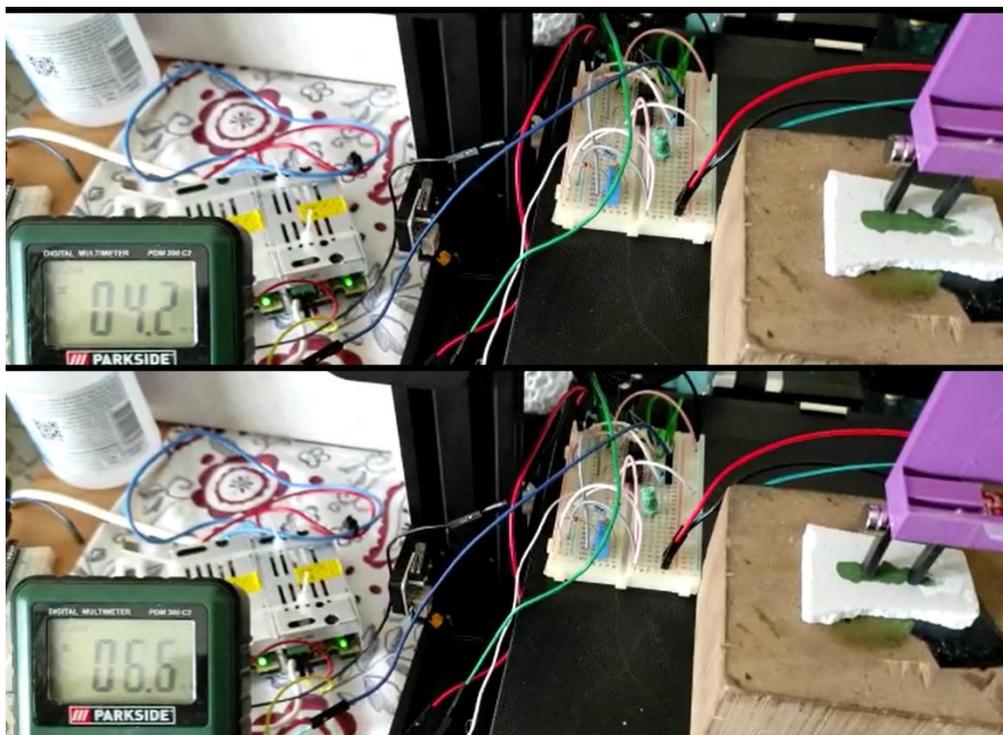


Figura 91 Valores obtidos com o segundo protótipo

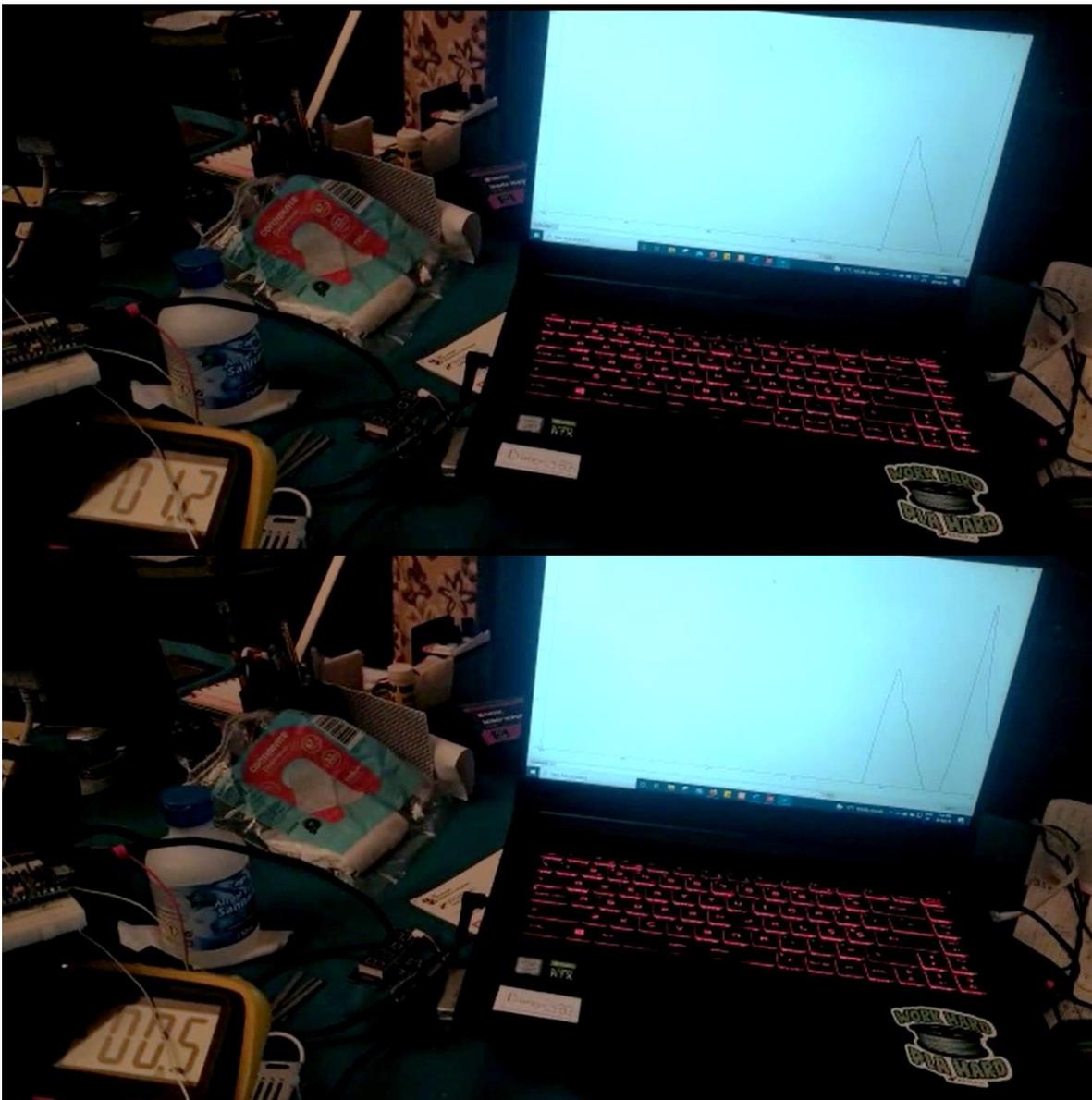


Figura 92 Comparação entre a diferença de tensão no sensor (voltímetro) e o sinal amplificado (Arduino IDE)

O programa desenvolvido para a leitura do código é um ponto de partida para a leitura de um código de barras analógico ou um código circular analógico. No entanto, devido à natureza analógica da detecção do sensor e à geometria da solução, as marcas têm de estar separadas por uma distância considerável, no mínimo de 5.5 mm, pois é esta a largura do sensor de Hall, e se o sensor apanhar duas linhas corre o risco de a detetar apenas como uma. Esta restrição limita imenso a gama de valores que pode ser codificada, limitando esta solução a produtos de pequenas cadências de produção.

O módulo IoT apresentou uma boa fiabilidade na transmissão de dados e não estabilidade da conexão à rede wireless, fosse ela fixa ou por hotspot móvel.

No tratamento e armazenamento da informação, a solução apresentada funciona e é simples, flexível, intuitiva e com potencial para ter mais funcionalidades que poderão posteriormente alinhavadas pelos responsáveis da empresa, como por exemplo o armazenamento de informação relativa aos operadores e clientes. A grande vantagem é utilizar ferramentas todas elas gratuitas, sendo que está aberta a possibilidade de migrar o sistema desenhado para soluções integrais e pagas existentes no mercado, como o SAP, ERP já implementado na empresa. O fluxo de informação entre o broker e o servidor local funciona de forma simples, intuitiva e rápida, sendo que o processamento da informação no Node-RED ocorreu sem entupimento, isto devido às diferentes vias para cada fonte de dados. No entanto, é importante sublinhar que o sistema deveria ser testado num maior período de tempo e com mais fontes de dados para testar a capacidade de resposta ao nível do processamento e do armazenamento de dados.

6.2. Conclusões Gerais

Em toda e qualquer solução de rastreabilidade aplicada a linhas já existentes, um desafio é integrar uma solução que não interfira com o sistema de produção atual. Contudo, numa realidade empresarial em que a Indústria 4.0 forçou a grandes mudanças no paradigma da indústria, as empresas têm de se adaptar sob a pena de perderem vantagem competitiva de forma irreversível para os concorrentes.

Uma das vantagens da rastreabilidade é a capacidade de investigar o histórico das peças defeituosas à procura de um traço comum, dando a possibilidade de substituir ou corrigir elementos da cadeia de produção que estão na origem dos defeitos. Sem a rastreabilidade automática, esta investigação é muito difícil, consome recursos que poderiam ser melhor investidos noutras áreas e ao ser possível, pode demorar meses até se localizar a origem de defeitos. Com a implementação de sistemas de rastreabilidade, melhores resultados podem ser obtidos em tempos muito menores.

Outra vantagem da implementação deste tipo de sistemas de rastreabilidade é o aumento do valor do produto. Cada peça passa a ter uma identificação única, guarda informação acerca do seu histórico e conta a sua própria história e transformando um objeto produzido em massa num objeto único.

A monitorização da produção e dos seus parâmetros em tempo-real ajuda a tornar possível a transformação das fábricas em fábricas inteligentes, junto com a integração destes sistemas com outros sistemas ciber físicos dentro do CPS.

O desenvolvimento de um novo método de deteção foi o grande desafio deste projeto. As soluções já existentes no mercado não dão resposta ao problema, visto que os códigos de barras e outros

sistemas como as matrizes são tipos de identificação visual e sistemas como o RFID ficam facilmente inutilizados sob as condições a que são sujeitos dentro dos fornos. Procurou-se desenvolver uma solução que fosse de encontro às exigências da empresa e que não fosse intrusiva com o atual modelo de produção já implantado na fábrica. O desenvolvimento desta nova tecnologia de detecção vai originar a elaboração de uma

O sistema desenvolvido foca-se em monitorizar e guardar a informação mais relevante acerca do ciclo produtivo do produto, desde a sua conformação até ao cliente final. O sistema também permite o manuseio da interface web com vários níveis de acesso, o que permite que diferentes tarefas possam ser feitas na interface web, como monitorizar, pesquisar e introduzir dados.

O módulo IoT e circuito desenvolvido mostraram-se ser uma solução de baixo custo, modular e de fácil adaptabilidade, descartando a utilização de cabos de comunicação devido à comunicação Wi-Fi e por broker MQTT, traduzindo-se numa troca de informação fiável, rápida e simples com as camadas acima, nomeadamente o servidor e a base de dados.

A base de dados criado com o propósito de servir esta solução limita-se a guardar informação de relevância acerca do ciclo de vida do produto, criando assim um conjunto de tabelas representativas das entidades relevantes, que foram normalizadas para não haver repetição de informação ou informação redundante.

A informação flui da forma pretendida desde o sensor até ao servidor local, bases de dados e respetivo sistema SCADA, tornando o fluxo de informação leve e simples.

6.3.Trabalho futuro

O protótipo de um sistema de rastreabilidade industrial proposto, apesar de cumprir os objetivos, tem várias limitações e ainda está longe de poder ser implementado na empresa. Contudo, este trabalho serviu como ponto de partida para um pedido de patente que vai está a ser preparado para salvaguardar a propriedade intelectual deste novo sistema de detecção.

Para a implementação deste sistema de rastreabilidade, terá de ser desenvolvida uma impressora que seja capaz de imprimir estas marcas em cada uma das peças de forma a cumprir dois requisitos essenciais: a solução tinta e de material ferromagnético tem de secar rapidamente e a solução tem de cumprir os requisitos homogeneidade da ferrite de ítrio na tinta, de forma a garantir que a marca possua a mesma proporção de ferrite em toda a sua geometria.

Na implementação de um sistema de rastreabilidade em que este sistema seja escolhido, é imperativo que a linha tenha flexibilidade para receber este sistema, porque a curtíssima distância a que as pontas

magnetizadas têm de estar das marcas inviabiliza que a solução esteja estática à espera que as peças passem, porque, por exemplo no caso dos pratos e das travessas, a morfologia das peças faz com que a parte onde está o carimbo, que é onde o código será impresso, não seja a parte mais baixa da peça. Isto implica que o módulo de deteção tenha de estar numa plataforma que suba e desça ligeiramente quando as peças estão a passar na linha, de forma a não haver colisões com as peças, evitando danificar o equipamento e as próprias peças.

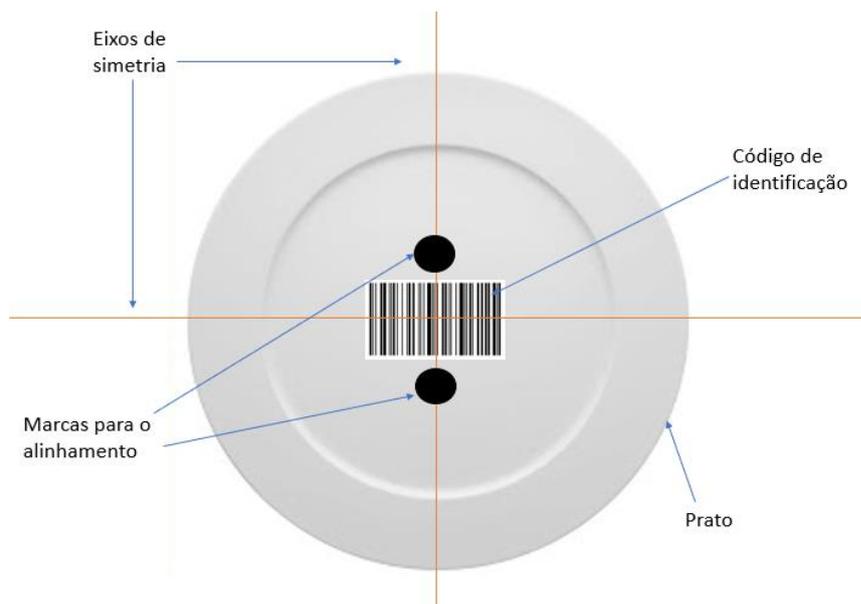


Figura 93 Alinhamento do prato

Também na implementação deste sistema de rastreabilidade, no caso de se escolher um código de barras horizontal, é importante que haja a garantia que os pratos passem sempre na mesma exata posição. Isto pode ser garantido em linhas completamente automatizadas. No caso de as linhas não serem completamente automatizadas, são propostas duas soluções:

- Uso de um código circular. Um código circular garante que o código é lido independentemente da posição em que passar pelo sensor. Este sistema tem a desvantagem de ter metade da capacidade de um código horizontal normal, isto porque a segunda metade do código vai ser sempre igual à primeira metade, limitando muito a quantidade de peças que podem ser rastreadas.
- Uso de um sistema de realinhamento das peças. Um sistema sugerido para garantir que o código passa sempre na mesma posição passa por imprimir duas marcas suplementares. A diferença do tempo da deteção dessas duas marcas auxiliares determina o ângulo que a peça tem de ser ajustada para o código ser lido com sucesso.

- Uso de um sistema de alinhamento do dispositivo de detecção. O sistema de detecção do ângulo proposto é semelhante ao apresentado no ponto acima, com a nuance de que é o dispositivo de detecção a ser realinhado. Este sistema é, dos três propostos, o menos aconselhado devido à sensibilidade magnética do dispositivo.

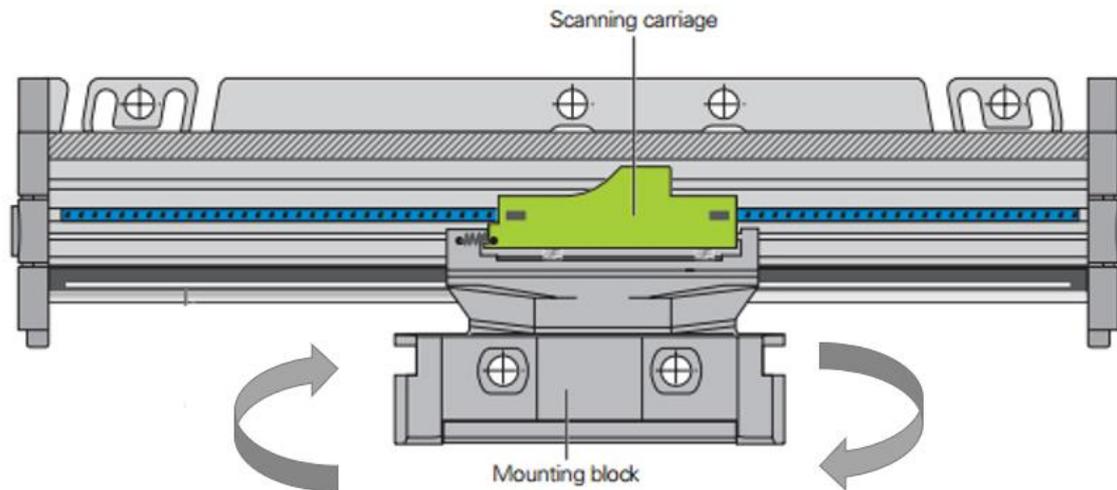


Figura 94 Esquema de funcionamento do leitor

7. Referências Bibliográficas

Ali, S. M., Gupta, N., Nayak, G. K., & Lenka, R. K. (2016). Big data visualization: Tools and challenges. *Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2016*, 656–660. <https://doi.org/10.1109/IC3I.2016.7918044>

Attux, R. (2016). *Tópico 11 – Propriedades Magnéticas*. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - UNICAMP. <https://www.dca.fee.unicamp.br/~attux/topico11.pdf>

Barata, J., da Cunha, P. R., Gonnagar, A. S., & Mendes, M. (2018). Product traceability in ceramic industry 4.0: A design approach and cloud-based MES prototype. *Lecture Notes in Information Systems and Organisation*, 26, 187–204. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74817-7_12

Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, 101(December 2017), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>

Calderón Godoy, A. J., & Pérez, I. G. (2018). Integration of sensor and actuator networks and the SCADA system to promote the migration of the legacy flexible manufacturing system towards the industry 4.0 concept. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/jsan7020023>

Cartaxo, M. O. A. S. (2012). *Investigação E Prevenção Do Defeito Refervido Em Faiança De Bicozedura*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro. Repositório Institucional da Universidade de Aveiro. <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/9915/1/6812.pdf>

Coito, T., Viegas, J. L., Martins, M. S. E., Cunha, M. M., Figueiredo, J., Vieira, S. M., & Sousa, J. M. C. (2019). A novel framework for intelligent automation. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1825–1830. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.501>

Da Costa, F. P. (2017). *Aplicação de ferramentas lean nas prensas isostáticas da Vista Alegre*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro. Repositório Institucional da Universidade de Aveiro.

<https://ria.ua.pt/bitstream/10773/22774/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>

Euronext. (2021). VAA VISTA ALEGRE.

<https://live.euronext.com/pt/product/equities/PTVAA0AM0019-XLIS/company-information>

Ferencz, K. & Domokos, Jozsef (2020). *Using Node-RED platform in an industrial environment*. XXXV. Jubileumi Kandó Konferencia, Budapest, November 14-15, pp.52-63. 2019.

Fraden, J., & Rubin, L. G. (1994). *AIP Handbook of Modern Sensors*. Physics Today. <https://physicstoday.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.2808535>

Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210 (January), 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>

Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>

Graça, C. (n.d.). *Materiais Magnéticos-Aula 9-1*. Física Geral e Experimental III. Universidade Federal de Santa Maria. http://coral.ufsm.br/cograça/graca9_1.pdf

Guo, M. (2015). *A China em Portugal - A porcelana Blue Canton da Vista Alegre*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro. Repositório Institucional da Universidade de Aveiro. <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/14623/1/Tese.pdf>

Hoffmann, M., Büscher, C., Meisen, T., & Jeschke, S. (2016). Continuous Integration of Field Level Production Data into Top-level Information Systems Using the OPC Interface Standard. *Procedia CIRP*, 41, 496–501. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.059>

Kiangala, K. S., & Wang, Z. (2019). An Industry 4.0 approach to develop auto parameter configuration of a bottling process in a small to medium scale industry using PLC and SCADA. *Procedia Manufacturing*, 35, 725–730. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.015>

Caderno de Laboratório (2021). *ESP8266 – Facilitando a internet das coisas*. <https://cadernodelaboratorio.com.br/esp8266-facilitando-a-internet-das-coisas/>

Lekić, M., & Gardašević, G. (2018). IoT sensor integration to Node-RED platform. *2018 17th International Symposium on INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2018 - Proceedings, 2018 March*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH.2018.8345544>

Li, D., Serizawa, Y., & Kiuchi, M. (2002). Concept design for a Web-based Supervisory Control and Data-Acquisition (SCADA) system. *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society*

Transmission and Distribution Conference, I(ASIA PACIFIC), 32–36.
<https://doi.org/10.1109/tdc.2002.1178256>

Ma, K.-L., Liao, I., Frazier, J., & Hauser, H. (2012). Scientific Storytelling Using Visualization. *IEEE Computer Graphics And Applications*, 26(47), 20–21. <https://doi.org/10.1109/MCG.2012.24>.

Malhao, S., Dionisio, R., & Torres, P. (2019). Industrial IoT Smartbox for the Shop Floor. *Proceedings of the 2019 5th Experiment at International Conference, Exp.at 2019, 024541*, 258–259. <https://doi.org/10.1109/EXPAT.2019.8876562>

Merchan, D. F., Peralta, J. A., Vazquez-Rodas, A., Minchala, L. I., & Astudillo-Salinas, D. (2018). Open source SCADA system for advanced monitoring of industrial processes. *Proceedings - 2017 International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2017*, 160–165. <https://doi.org/10.1109/INCISCOS.2017.9>

MicroSystems Allegro™. (2019). *Hall-Effect Sensors Applications Guide*. <https://www.allegromicro.com/en/Insights-and-Innovations/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/Hall-Effect-IC-Applications-Guide#Q47>

Milheiro, P. A. T. (2011). *Aplicação de metodologias Lean nas prensas isostáticas da Vista Alegre*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro. Repositório Institucional da Universidade de Aveiro. <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/7150/1/5296.pdf>

Miragliotta, G., Sianesi, A., Convertini, E., & Distanti, R. (2018). Data driven management in Industry 4.0: a method to measure Data Productivity. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.228>

Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118–1136. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>

Nițulescu, I.-V., & Korodi, A. (2020). Supervisory Control and Data Acquisition Approach in Node-RED: Application and Discussions. *IoT*, 1(1), 76–91. <https://doi.org/10.3390/iot1010005>

Node-RED. (2020). *Node-RED*. <https://nodered.org/>

Olsen, T. L., & Tomlin, B. (2020). Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management. *Manufacturing and Service Operations Management*, 22(1), 113–122. <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0796>

Paul, A., & Jeyaraj, R. (2019). Internet of Things: A primer. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 1(1), 37–47. <https://doi.org/10.1002/hbe2.133>

Pinho, L. C. A. B. de. (2009). *Materiais Magnéticos e suas Aplicações*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Repositório Aberto da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59887/1/000135917.pdf>

Poleto, T., De Carvalho, V. D. H., & Costa, A. P. C. S. (2017). The full knowledge of big data in the integration of interorganizational information: An approach focused on decision making. *International Journal of Decision Support System Technology*, 9(1), 16–31. <https://doi.org/10.4018/IJDSST.2017010102>

Raghav, R.S & Pothula, Sujatha & Vengattaraman, T. & Ponnurangam, Dhavachelvan. (2016). A survey of data visualization tools for analyzing large volume of data in big data platform. 2016 *International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CESYS.2016.7889976>.

Rajalakshmi, A., & Shahnasser, H. (2017). Internet of things using node-red and alexa. *2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT 2017-2018*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ISCIT.2017.8261194>

Raptis, T. P., Passarella, A., & Conti, M. (2019). Data management in industry 4.0: State of the art and open challenges. *IEEE Access*, 7, 97052–97093. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2929296>

Ray, P. P. (2018). A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* 30 (3), 291–319. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.003>

Rojko, A. (2017). *Industry 4 . 0 Concept: Background and Overview*. *International Journal of Interactive Mobile Technologies* 11(5), 77–90. <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>

Sánchez, B. B., Alcarria, R., Sánchez-De-Rivera, D., & Sánchez-Picot, Á. (2016). Enhancing process control in industry 4.0 scenarios using Cyber-Physical systems. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 7(4), 41–64. <https://doi.org/10.22667/JOWUA.2016.12.31.041>

Saturno, M., Moura Pertel, V., Deschamps, F., & De Freitas Rocha Loures, E. (2018). Proposal of an Automation Solutions Architecture for Industry 4.0. *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, icpr*. <https://doi.org/10.12783/dtetr/icpr2017/17675>

Shafiq, S. I., Szczerbicki, E., & Sanin, C. (2019). Proposition of the methodology for Data Acquisition, Analysis and Visualization in support of Industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 159, 1976–1985. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.370>

Shen, H., Xu, J., Jin, M., & Jiang, G. (2012). Influence of manganese on the structure and magnetic

properties of YFeO₃ nanocrystal. *Ceramics International*, 38(2), 1473–1477. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.09.030>

Sicari, S., Rizzardi, A., & Coen-Porisini, A. (2019). Smart transport and logistics: A Node-RED implementation. *Internet Technology Letters*, 2(2), e88. <https://doi.org/10.1002/itl2.88>

Silva, T. G. (2014). *Aplicação de ferramentas lean na indústria cerâmica*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro. Repositório Institucional da Universidade de Aveiro. <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/14770/1/TESE.pdf>

Soreto Teixeira, S. L. (2019). *Desenvolvimento de novos materiais para armazenamento de energia*. Tese de Doutorado, Universidade de Aveiro. Repositório Institucional da Universidade de Aveiro. <http://hdl.handle.net/10773/30590>

Tong, C., Roberts, R., Laramée, R. S., Wegba, K., Lu, A., Wang, Y., Qu, H., Luo, Q., & Ma, X. (2018). Storytelling and visualization: A survey. *VISIGRAPP 2018 - Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*, 3(Visigrapp), 212–224. <https://doi.org/10.5220/0006601102120224>

Ujvarosi, A. (2016). Evolution of Scada Systems. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, 9(58), 1–2. http://webbut.unitbv.ro/BU2015/Series%20I/2016/BULETIN%20I%20PDF/Ujvarosi_A1.pdf

Vista Alegre. (2021). *Vista Alegre - Processo Produtivo*. <https://br.vistaalegre.com/institucional/processo/porcelana>

Wakayama, S., Doi, Y., Ozaki, S., & Inoue, A. (2007). Cost-effective product traceability system based on widely distributed databases. *Journal of Communications*, 2(2), 45–52. <https://doi.org/10.4304/jcm.2.2.45-52>

Wollschlaeger, M., Sauter, T., & Jasperneite, J. (2017). The future of industrial Communication. *ORiON*, 16(1). <https://doi.org/10.5784/16-1-409>

Wu, Y. J., Gao, Y., & Chen, X. M. (2007). Dielectric relaxations of yttrium iron garnet ceramics over a broad temperature range. *Applied Physics Letters*, 91(9), 2005–2008. <https://doi.org/10.1063/1.2780116>

Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context

of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

Zhou, F., Lin, X., Liu, C., Zhao, Y., Xu, P., Ren, L., Xue, T., & Ren, L. (2019). A survey of visualization for smart manufacturing. *Journal of Visualization*, 22(2), 419–435. <https://doi.org/10.1007/s12650-018-0530-2>

Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2016). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2015*, 2147–2152. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>

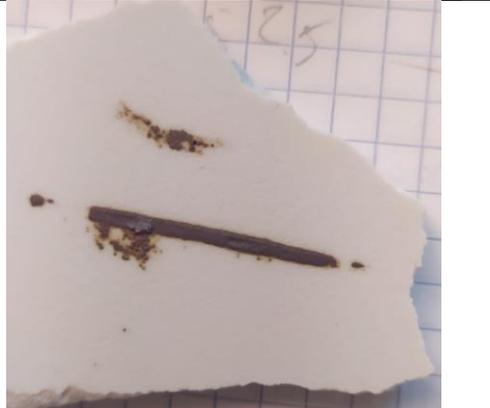
Anexo A – Estudo das Amostras

AMOSTRA	FOTOGRAFIA	DESCRIÇÃO	RESULTADO Sensor 1
A		amostra inicial de ferrite de ítrio, para testar a viabilidade do material	POS
B1		Duas amostras, submetidas a tratamento térmico ao ar e posterior tratamento com atmosfera reduzida	NEG
B2		Duas amostras, submetidas a tratamento térmico ao ar e posterior tratamento com atmosfera reduzida	NEG

C		<p>Tratamento térmico só com ar. 3 linhas com sensivelmente 2.5 cm de comprimento. A primeira linha tem 2mm de largura e 100uL. A segunda amostra tem 25uL e a terceira linha apenas 10uL.</p>	NEG
D		<p>Tratamento térmico só com atmosfera reduzida (N₂ – Azoto). 3 linhas com sensivelmente 2.5 cm de comprimento. A primeira linha tem 2mm de largura e 100uL. A segunda 25uL e a terceira 10uL.</p>	NEG
E		<p>Tratamento térmico com ar + atmosfera reduzida. 3 linhas com sensivelmente 2.5 cm de comprimento. A primeira linha tem 2mm de largura e 100uL. A segunda 25uL e a terceira 10uL.</p>	NEG

F		<p>Tratamento térmico com ar + aplicação de vidro + atmosfera reduzida. 3 linhas com sensivelmente 2.5 cm de comprimento. A primeira linha tem 2mm de largura e 100uL. A segunda 25uL e a terceira 10uL.</p>	NEG
G			POS
H			POS
I1		<p>submetidas a tratamento térmico com Ar. pintadas com tinta branca, disponibilizada pela VA.</p>	NEG

I2		submetidas a tratamento térmico com Ar. pintadas com tinta verde, disponibilizada pela VA.	NEG
I3		submetidas a tratamento térmico com Ar. tapadas com pasta cerâmica.	POS
J1		submetidas a tratamento térmico com Ar+ Atmosfera reduzida. pintadas com tinta branca, disponibilizada pela VA.	POS
J2		submetidas a tratamento térmico com Ar+ Atmosfera reduzida. pintadas com tinta verde, disponibilizada pela VA.	POS
J3		submetidas a tratamento térmico com Ar+ Atmosfera reduzida. tapadas com pasta cerâmica.	POS

L			NEG
M1		<p>Amostra com 25 mg de ferrite. Cozida 1400º durante 7h</p>	POS
M2		<p>Amostra com 10 mg de ferrite. Cozida 1400º durante 7h</p>	POS
M3		<p>Amostra com 5 mg de ferrite. Cozida 1400º durante 7h</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <p>POS</p> </div>

M4		Amostra com 2.5 mg de ferrite. Cozida 1400° durante 7h	POS
----	---	--	-----

Anexo B – Interface Gráfica – Node-RED

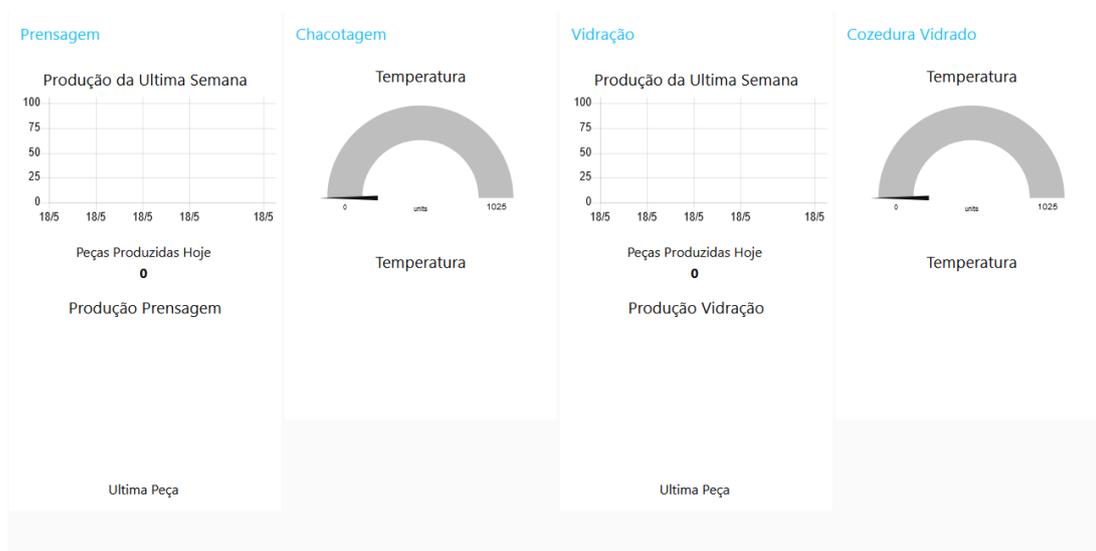


Figura B 1 Página de visualização do estado da produção em tempo real e visualização de KPIs.

The login form is titled 'login' and contains the following elements:

- A text input field labeled 'user *'.
- A text input field labeled 'pass *'.
- A blue button labeled 'SUBMIT'.
- A blue button labeled 'CANCEL'.

Figura B 2 Autenticação para acesso a cada uma das páginas.

Pesquisa

Pesquisa Manual

Pesquisa Manual * ▼

SUBMIT
CANCEL

IDENTIFICAÇÃO	2
PRODUTO	51
CONFORMAÇÃO	101
LOTE CONFORMAÇÃO	1235
VIDRAÇÃO	202
LOTE VIDRAÇÃO	124
TEMPERATURA DE CHACOTAGEM	1000
TEMPERATURA DE COZEDURA	500
CLIENTE	Atlantis

Produto

Pesquisa Manual

Pesquisa Manual * ▼

SUBMIT
CANCEL

Coleção	magnolia
produto	51
Tipo	travessa

Figura B 3 Separador relativo à rastreabilidade.

<p>Máquina1</p> <p>Produto</p> <p>Código Produto *</p> <p>SUBMIT CANCEL</p> <p>Produto em Produção 50</p> <p>Materia Prima</p> <p>Lote *</p> <p>SUBMIT CANCEL</p> <p>Lote em Uso 1234</p>	<p>Máquina2</p> <p>Produto</p> <p>Código Produto *</p> <p>SUBMIT CANCEL</p> <p>Produto em Produção 51</p> <p>Materia Prima</p> <p>Lote *</p> <p>SUBMIT CANCEL</p> <p>Lote em Uso 1234</p>	<p>Máquina3</p> <p>Produto</p> <p>Código Produto *</p> <p>SUBMIT CANCEL</p> <p>Produto em Produção 52</p> <p>Materia Prima</p> <p>Lote *</p> <p>SUBMIT CANCEL</p> <p>Lote em Uso 1236</p>
--	--	--

Figura B 4 separador relativo à prensagem.

<p>Linha1</p> <p>Materia Prima</p> <p>Lote *</p> <p>SUBMIT CANCEL</p> <p>Lote em Uso 123</p>	<p>Linha2</p> <p>Materia Prima</p> <p>Lote *</p> <p>SUBMIT CANCEL</p> <p>Lote em Uso 124</p>
--	--

Figura B 5 Separador relativo à vidração

<p>AdicionarCliente</p> <p>inserir cliente</p> <p>Id_cliente *</p> <p>1</p> <p>Nome *</p> <p>SUBMIT CANCEL</p>	<p>SelecionarCliente</p> <p>Selecionar Cliente</p> <p>Código Cliente *</p> <p>SUBMIT CANCEL</p> <p>Cliente Selecionado 1</p>
---	--

Figura B 6 Separador relativo à venda e inserção de clientes.

EntradaMP	CriaçãoProduto	Conformação	Chacotagem	Vidração	CozeduraVidração
Inserir matéria Prima Prensagem Id_Interno * id_interno_fornecedor * nº Fatura * Nome * SUBMIT CANCEL	Inserir Novo Produto Id_produto * Coleção * Nome * SUBMIT CANCEL	ON/OFF Máquina 1 ON/OFF Máquina 2 ON/OFF Máquina 3	Temperatura 0 1025 Controlo 0 ON/OFF	ON/OFF Máquina 1 ON/OFF Máquina 2	Temperatura 0 1025 Controlo ON/OFF
Inserir matéria Prima Vidração Id_Interno * id_interno_fornecedor * nº Fatura * Nome * SUBMIT CANCEL					

Figura B 7 Separador relativo à inserção de matéria-prima, novos produtos, controlo de equipamentos e visualização de temperatura dos fornos.

Colaborador	Prensagem	Vidração
Níveis de Acesso: 0: Administração. Acesso Geral 1: Acesso Geral Produção 2: Acesso Conformação 3: Acesso Vidração 4: 5: Vendas inserir colaborador Id_colaborador * Nome * Telemóvel * Acesso * Password * SUBMIT CANCEL	inserir maquina Prensagem Id_maquina * Nome * nº Série * Fornecedor * SUBMIT CANCEL	inserir maquina Vidração Id_maquina * Nome * nº Série * Fornecedor * SUBMIT CANCEL
		LOGOUT

Figura B 8 Separador relativo à administração onde se inserem novos colaboradores e novos equipamentos.