

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DIEGO LEYSER

AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE SILO APLICANDO INTERNET DAS COISAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ERECHIM - RS

2022

DIEGO LEYSER

AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE SILOS APLICANDO INTERNET DAS COISAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Orientador: Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri

ERECHIM - RS

2022

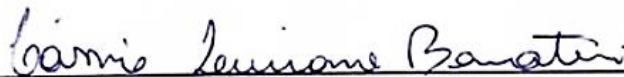
DIEGO LEYSER

AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE SILOS APLICANDO INTERNET DAS COISAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Erechim, 12 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA



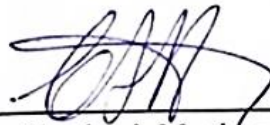
Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri (Orientador)

URI Erechim



Prof.ª Ma. Camila Sampaio dos Reis (Examinadora)

URI Erechim



Prof. Me. Clodomir Martinazzo (Examinador)

URI Erechim

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação de um sistema de automação e controle de silos aplicando o conceito Internet das Coisas e indústria 4.0. O projeto proposto dispõe a solucionar problemas com o armazenamento de ração em silos de uma indústria, que apresenta automação ineficaz. A elaboração deste trabalho se originou com o estudo do problema real no armazenamento de ração, e, a partir dos problemas levantados *in-loco*, iniciou-se uma análise e pesquisa das soluções tecnicamente viáveis para o desenvolvimento e aplicação de automação eficiente, visando a melhoria de desempenho operacional desta indústria. Deste modo, foram coletadas medidas do silo real para especificação das características técnicas, e, por conseguinte, para a montagem de um protótipo de escala reduzida para realização de testes e validação da interface que será desenvolvida, logo também, determinadas as variáveis a serem manipuladas para este projeto. Ademais, foram definidos os sensores e atuadores que serão utilizados para testes com o protótipo e os que poderão ser aplicados *in-loco*, sendo, inclusive, estabelecida a plataforma para desenvolvimento dos códigos com interface com o sistema embarcado, sendo promovida uma integração com a fabricação de uma placa de circuito impresso, com interface gráfica via *Wi-Fi* em aplicativo de celular e *Web* desenvolvidos para esta aplicação, para visualização e tomada de decisões das leituras dos sensores em tempo real transmitidas pelo microcontrolador, sendo testado e validado no protótipo. Para aplicação deste trabalho foram orçados os materiais necessários para realização do teste no protótipo e para futura aplicação *in-loco*. Por fim, diante do desenvolvimento deste projeto, demonstram-se satisfatórios os resultados obtidos, alcançado o êxito no monitoramento de variáveis de temperatura, umidade, gás e distância, através dos sensores instalados no protótipo, com sistema embarcado soldado em placa de circuito impresso, com comunicação via *Wi-Fi* e visualização em tempo real das leituras dos sensores no aplicativo de celular e *Web*.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Automação; Internet das Coisas; Silos, Armazenamento de Ração.

ABSTRACT

This work presents the development and application of a silo automation and control system applying the Internet of Things and Industry 4.0 concept. The proposed project aims to solve problems with the storage of feed in silos of an industry, which has ineffective automation. The elaboration of this work originated with the study of the real problem in the storage of feed, and, from the problems raised in loco, an analysis and research of the technically viable solutions for the development and application of efficient automation, aiming at the improvement of the operational performance of this industry. In this way, measurements of the real silo were collected to specify the technical characteristics, and, therefore, to assemble a reduced-scale prototype for testing and validating the interface that will be developed, as well as determining the variables to be manipulated. for this project. In addition, the sensors and actuators that will be used for testing the prototype and those that can be applied in loco were defined, including the establishment of a platform for the development of codes with an interface with the embedded system, promoting integration with the fabrication of a printed circuit board, with a graphical interface via Wi-Fi in a mobile and web application developed for this application, for viewing and decision-making on sensor readings in real time transmitted by the microcontroller, being tested and validated in the prototype. For the application of this work, the necessary materials for carrying out the test on the prototype and for future application in loco were budgeted. Finally, in view of the development of this project, the results obtained are satisfactory, achieving success in monitoring variables of temperature, humidity, gas and distance, through the sensors installed in the prototype, with an embedded system soldered on a printed circuit board, with communication via Wi-Fi and real-time visualization of sensor readings on the mobile and web application.

Keywords: Industry 4.0; Automation; Internet of Things; Silos; Feed Storage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistemas ciber físicos (Cyber-Physical Systems-CPS).....	15
Figura 2 - Elementos formadores da indústria 4.0. A “casa” da indústria 4.0	15
Figura 3 - Conceito abrangente de automação	17
Figura 4 - Blocos básicos de construção da IoT	19
Figura 5 - Princípio de funcionamento dos sensores ultrassônicos	21
Figura 6 - Diagrama em blocos de um sensor ultrassônico	22
Figura 7 - Faixa de detecção do sensor ultrassônico	22
Figura 8 - Cone de detecção dos sensores ultrassônicos e possibilidade de ajuste	23
Figura 9 - Efeito Seebeck ou termopar	25
Figura 10 - Fluxograma de desenvolvimento do projeto.....	33
Figura 11 - Diagrama estrutural inicial do projeto	33
Figura 12 - Dimensões do silo em 2D	34
Figura 13 – Silo em 3D	34
Figura 14 - Sensor ultrassônico HCSR-04	36
Figura 15 - Diagrama de temporização do sensor HCSR-04	36
Figura 16 - Sensor ultrassônico 873P	38
Figura 17 - Indicador de status	39
Figura 18 - Diagrama de feixe.....	40
Figura 19 - Sensor DHT22	41
Figura 20 - Sensor DS18B20.....	42
Figura 21 - Ponta sensor DS18B20	42
Figura 22 - Sensor termopar tipo K.....	43
Figura 23 - Transmissor de umidade e temperatura HMT310	44
Figura 24 - Precisão na faixa de temperatura	45
Figura 25 - Sensor de gás MQ-02.....	46
Figura 26 - Estrutura do sensor MQ-02.....	46
Figura 27 - XZR200 analisador de oxigênio	47
Figura 28 - Vibracall 1027.....	48
Figura 29 - Vibradores pneumáticos de esfera vibracall	49
Figura 30 - Válvula solenóide	50
Figura 31 - Módulo Máx6675	51
Figura 32 - Módulo relé 2 canais com optoacoplador.....	51
Figura 33 - Pinagem módulo relé	52
Figura 34 - Diagrama estrutura do projeto para o protótipo.....	53
Figura 35 - Wemos Lolin ESP32 OLED pinagem	54
Figura 36 - Wemos Lolin ESP32 OLED	55
Figura 37 - IDE Arduino	55
Figura 38 - APP Inventor Designer	56
Figura 39 - Interface gráfica	57
Figura 40 - PCB Layout e 3D Visualizer	58
Figura 41 - Estrutura final do projeto	59

Figura 42 - Telas App.....	62
Figura 43 - Montagem Circuito Eletrônico	63
Figura 44 - PCB Layout	64
Figura 45 - Visualização 3D PCB	65
Figura 46 - Impressão PCB Fresa CNC	65
Figura 47 - Placa finalizada	66
Figura 48 - Montagem protótipo	67
Figura 49 - Protótipo finalizado.....	68
Figura 50 - Protótipo x Interface	69
Figura 51 - Interface x Protótipo	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de rações (em milhões de toneladas).....	11
Tabela 2 - Materiais x Custo	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quantidade de animais abatidos por tipo de rebanho (por mil cabeças) no 1º trimestre de 2022	30
Quadro 2 - Quantidade de animais abatidos por tipo de rebanho (por mil cabeças) no 4º trimestre de 2021	30
Quadro 3 - Dados técnicos sensor ultrassônico HCSR-04	37
Quadro 4 - Pinagem sensor ultrassônico HCSR-04.....	37
Quadro 5 - Dados técnicos sensor 873P	39
Quadro 6 - Dados técnicos sensor DHT22	41
Quadro 7 - Pinagem sensor DHT22	41
Quadro 8 - Dados técnicos DS18B20.....	42
Quadro 9 - Pinagem DSB18B20	43
Quadro 10 - Faixa de utilização e limites de erro termopar tipo K	44
Quadro 11 - Dados técnicos HMT310.....	45
Quadro 12 - Dados técnicos.....	48
Quadro 13 - Dados técnicos vibracall 1027.....	48
Quadro 14 - Dados técnicos.....	49
Quadro 15 - Dados técnicos válvula solenoide	50
Quadro 16 - Dados técnicos módulo Máx6675	51
Quadro 17 - Dados técnicos módulo relé	52
Quadro 18 - Dados técnicos ESP32 Oled.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCS	Associação Brasileira dos Criadores de Suínos
CEO	Diretor executivo
CFM	Pés cúbicos/minuto
COM	Comunicação
CPU	Unidade central de processamento
DAC	Conversor digital-analógico
EEPROM	Memória somente leitura programável apagável eletricamente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IO-Link	Ligação de entrada/saída
IOT	Internet das Coisas
IP	Internet Protocol
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NA	Normalmente aberto
NF	Normalmente fechado
PC	Computador
PNP	Positivo-negativo-positivo
PPM	Partes por milhao
PSI	Libra por polegada quadrada
PWM	Modulação de largura de pulso
RAM	Random Access Memory
Sindirações	Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal
SoC	Sistema do chip
SPI	Interface Periférica Serial
CNC	Controle Numérico Computadorizado
PCB	Printed Circuit Board
USB	Universal Serial Bus
VPM	Volume plaquetário médio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Revolução Industrial	13
2.2 Indústria 4.0	14
2.2.1 Automação	16
2.2.2 Internet das Coisas	17
2.3 Sensores e atuadores	19
2.3.1 Sensor ultrassônico	20
2.3.2 Sensor de umidade	23
2.3.3 Sensor de temperatura.....	24
2.3.4 Sensor de gás	25
2.3.5 Atuador	26
2.4 Sistemas embarcados	27
2.5 Mercado de fabricação de ração suína	29
3 METODOLOGIA	32
3.1 Descrição do processo de armazenamento de ração em silo	32
3.2 Definições e levantamento das dimensões do silo	34
3.3 Definição variáveis	35
3.4 Definições dos sensores e atuadores	35
3.4.1 Sensor de distância ultrassônico HCSR-04	35
3.4.2 Sensor ultrassônico 873P	37
3.4.3 Sensor de temperatura e umidade DHT22	40
3.4.4 Sensor de temperatura DS18B20.....	41
3.4.5 Sensor de temperatura Termopar tipo K.....	43
3.4.6 Transmissor de umidade e temperatura HMT310	44
3.4.7 Sensor de gás MQ-02.....	45
3.4.8 XZR200 analisador de oxigênio	47
3.4.9 Vibracall 1027	48
3.4.10 Vibradores pneumáticos de esfera vibraball	49
3.4.11 Válvula solenoide	50
3.4.12 Módulo Máx6675	50
3.4.13 Módulo relé 2 canais com optocoplador	51
3.5 Interface	52
3.5.1 ESP32	53
3.5.2 Plataforma do Arduino IDE	55
3.5.3 Plataforma MIT App Inventor	56
3.5.4 PCB sistema embarcado	56
4 RESULTADOS	60
4.1 Orçamento	60
4.2 Aplicativo de celular	61
4.3 PCB	62
4.4 Protótipo	66
4.5 Validação interface x protótipo	68
5 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

A produção de ração animal tem como objetivo o desenvolvimento produtivo na criação de animais, com as novas tecnologias vem melhorando continuamente a qualidade na fabricação da ração. Para o agronegócio a produção animal é uma atividade que vem se destacando, sendo considerada promissora e representa uma das principais fontes de arrecadação financeira do país, engajado no desenvolvimento econômico nacional (PORTELA, 2016).

Diante exposto, as empresas precisam estar atentas ao controle do processo produtivo, pois a competitividade está cada vez mais acirrada, novas tecnologias surgem no mercado no âmbito de diminuir custos e aumentar a qualidade dos produtos. Para um padrão de eficiência da produção de ração é necessário manter as boas práticas de fabricação e cumprir as legislações estabelecidas pelo MAPA, que rege as normas para fabricação de ração animal (SILVA, 2022).

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal (2022), demonstra os dados de encerramento de 2021 com produção de 85 milhões de toneladas e crescimento próximo de 4% em relação a 2020. A tabela 1 apresenta o saldo final da produção estimada em 2021 e a previsão para 2022, incluindo a soma total e a quantidade produzida por segmento de produção.

Tabela 1 - Produção de rações (em milhões de toneladas)

Segmento	2021	2022	%
Aves	42,6	44,2	3,7
Frangos de corte	35,4	36,8	4,0
Poedeiras	7,19	7,37	2,5
Suínos	19,7	20,4	3,6
Bovinos	12,2	12,4	1,8
Leite	6,4	6,5	1,2
Corte	5,73	5,87	2,5
Cães e Gatos	3,48	3,67	5,5
Equinos	0,631	0,643	2,0
Aquacultura	1,45	1,52	5,2
Peixes	1,35	1,43	5,2
Camarões	0,092	0,097	5,0
Outros	0,858	0,870	1,4
Total rações	80,8	83,6	3,5
Sal mineral	4,12	4,33	5,0
Total geral	85,0	88,0	3,5

Fonte: Adaptado de Sindirações (2022).

Para que o produto final seja entregue com qualidade, todo processo é importante, sendo assim, o armazenamento do produto vem se tornando um ponto relevante no processo de fabricação de ração. Para assegurar essa qualidade a indústria 4.0 no contexto Internet das Coisas vem trazendo soluções promissoras aos desenvolvimentos de automações mais eficientes no armazenamento de produtos, outro atrativo é poder ter um monitoramento e controle de silos promovendo um gerenciamento do produto armazenado e desenvolvendo um melhoramento no desempenho operacional (QUISTE, 2019). Seguindo este contexto, o trabalho vem a contribuir à aplicação de um sistema de monitoramento e controle em silos de armazenamento de ração, fundamentado na Internet das Coisas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de interface homem-máquina para instrumentação e controle de silos de ração na indústria 4.0 e no contexto Internet das Coisas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Especificar as características técnicas e variáveis de controle do silo a ser automatizado;
- Definir os sensores e atuadores às variáveis a serem monitoradas e controladas;
- Desenvolver interface eletrônica microcontrolada para os sensores e atuadores;
- Projetar e desenvolver protótipo de escala reduzida;
- Desenvolver código para unificar interface com os sensores;
- Desenvolver aplicativo para celular e Web;
- Desenvolver interface gráfica;
- Desenvolver placa de circuito impresso;
- Instalar e testar sensores no protótipo;
- Validar a interface com o protótipo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é discorrida uma revisão sobre o desenvolvimento da automação de silos no transcorrer da revolução industrial, mercado de fabricação de ração suína, sistemas de monitoramento e controle, Internet das Coisas, sistemas embarcados, sensores para leituras das grandezas requeridas, e atuadores, para proporcionar a fundamentação teórico e contextualização do desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso.

2.1 Revolução Industrial

A revolução industrial foi um marco para o desenvolvimento tecnológico, pois constituiu um conjunto de mudanças tecnológicas com o passar dos tempos. Sendo que a primeira revolução, teve início na Inglaterra em meados do século XVIII, quando as primeiras máquinas inventadas para substituir o trabalho manual, eram máquinas de fiação e tecelagem, que na maioria funcionavam pela força hidráulica, e posteriormente sendo movidas a vapor (o carvão como fonte de energia). Todavia, em 1711 foi criada a máquina a vapor de Thomas Newcomen, e mais tarde em 1760 aperfeiçoada por James Watt (OLIVEIRA, 2006).

A segunda revolução industrial sucedeu a primeira revolução e teve início no ano de 1900, liderada pelos Estados Unidos. Esta revolução teve como principais tecnologias a eletricidade e o motor a combustão, sendo essencial para o desenvolvimento e evolução humana (JONK, 2019).

A descoberta de novas fontes de energia neste período se espalhou para outros países, ampliando o processo produtivo, destacando-se a indústria química, substituindo o vapor pelo petróleo, e a eletricidade que deixou de ser usada em pesquisas de laboratório para ser industrial, acelerando o desenvolvimento econômico e resultando em invenções que se destacaram como a lâmpada incandescente, o motor a combustão e elétrico, os trens a vapor e ferrovias, navios de aço, automóvel, telefone e televisão, entre outros (ANDRADE, 2017).

A terceira revolução industrial também conhecida como revolução técnico-científica, surge pela consequência dos avanços da tecnologia do século XX e XXI, marcando o início da era da informação, voltado ao processo produtivo e ao avanço científico proporcionando o desenvolvimento das sociedades. O surgimento da eletrônica foi um dos pontos marcantes desta fase, havendo também inovações na área da robótica, genética, telecomunicações, entre outras. Gerando avanços tecnológicos em diversas áreas com a junção da ciência, tecnologia e produção (SAKURAI, 2018).

Nesta revolução os transportes e comunicações são avançados, a circulação de informações e mercadorias estão mais práticas, o mundo fica integrado a estes avanços tecnológicos, tornando-se conhecido como período do início da globalização (COUTINHO, 2016).

A quarta revolução industrial também conhecida como indústria 4.0 é extraordinária pelos avanços tecnológicos comparado com as revoluções passadas, representando um período de transição com relação ao desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias. Estes avanços é uma interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos, ocasionando uma fusão das tecnologias (SCHWAB, 2019).

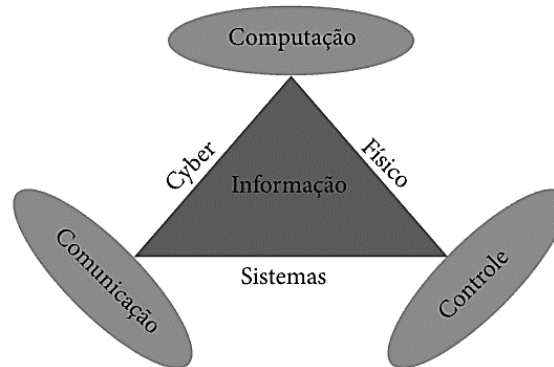
Conforme menciona Schwab (2019), esta revolução está em seu estágio inicial, oferecendo a humanidade a oportunidade de moldar essas novas tecnologias, e agilizar as formas de governança que fundamentalmente mudarão o modo que vivemos. Esta revolução representa um conjunto de tecnologias que envolvem a inteligência artificial, a robótica, a realidade aumentada, a impressão 3D, a nanotecnologia, um amplo melhoramento nos eletrônicos, assim como o uso da internet. A quarta revolução industrial traz uma importante fonte de esperança para dar continuidade há uma larga escala de desenvolvimento para humanidade.

2.2 Indústria 4.0

A indústria 4.0 está transformando a indústria tradicional a partir da evolução das tecnologias de informação, elevando para um novo patamar de desenvolvimento organizacional, fortificando a competitividade no mercado global. A 4ª revolução industrial como também é chamada, são termos que descrevem a implantação de dispositivos “inteligentes” que se comunicam de forma autônoma, neste contexto, as tecnologias como *Cyber-physical systems (CPS)*, conforme demonstrado na figura 1, auto-organizam-se, a *Internet of things (IoT)* conecta objetos, máquinas e pessoas em tempo real e *Cloud Computing* que possibilita soluções de armazenamento (SANTOS *et. al.*, 2018).

Segundo Sacomano *et. al.* (2018), na indústria a automação informatizada existente é uma visão para negócios voltada há transformação digital, fazendo nascer o conceito de indústria 4.0, sendo este nome oriundo de um projeto da indústria alemã, onde foi denominado *Plattform Industrie 4.0*, lançado em 2011 na feira Hannover.

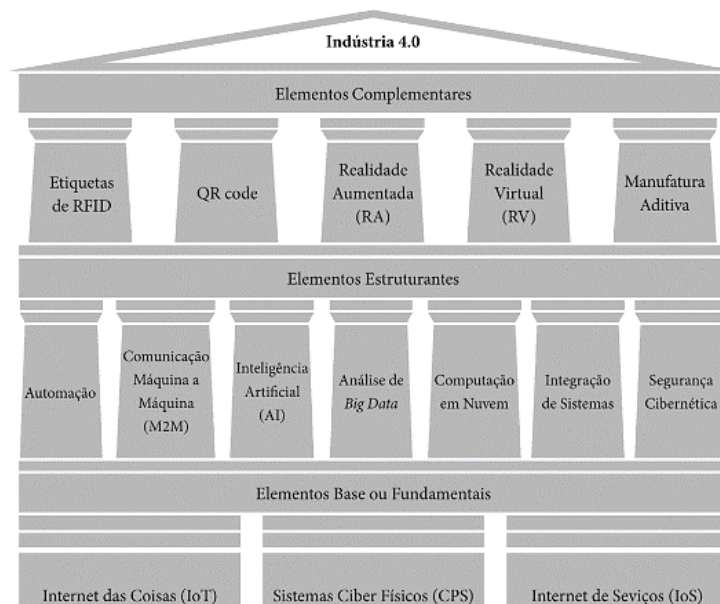
Figura 1 - Sistemas ciber físicos (Cyber-Physical Systems-CPS)



Fonte: Sacomano *et. al.* (2018).

Em uma planta industrial as máquinas são controladas remotamente, modelos de linhas de produção são criados virtualmente para que sejam testados e otimizados antes no computador, de modo virtual, para garantir que quando este modelo for implantado no mundo real, possa causar o mínimo de problemas possíveis. Ademais, pode-se dizer que a indústria 4.0 é como um sistema produtivo, integrado por dispositivos móveis e computadores interligados a internet, possibilitando o gerenciamento, controle, programação e interação com o sistema produtivo de qualquer lugar do globo, buscando a otimização de toda sua rede de valor. A figura 2 mostra os elementos da indústria (SACOMANO *et. al.*, 2018).

Figura 2 - Elementos formadores da indústria 4.0. A “casa” da indústria 4.0



Fonte: Sacomano *et. al.* (2018).

2.2.1 Automação

A automação é um recurso que caminha junto com a tecnologia, sendo um sistema que emprega processos automáticos pelo qual seus mecanismos comandam e controlam o próprio funcionamento. *Automation*, inventada pelo Marketing da indústria de equipamentos na década de 1960, sendo qualquer sistema com computadores que substitua trabalho humano com segurança, qualidade e rapidez, efetua medições e introduz correções sem ter a necessidade da interferência humana. Através desta tecnologia é possível utilizar ferramentas para soluções tecnológicas a fim de otimizar processos e diminuir custos operacionais, havendo múltiplos benefícios (MORAES; CASTRUCCI, 2006).

Segundo Camargo (2014), automação é a substituição do trabalho animal ou humano por máquinas. Portanto automação se refere ao processo de instalar controles automáticos em equipamentos, máquinas ou processos. Sendo aplicada em praticamente todas as áreas das atividades humanas.

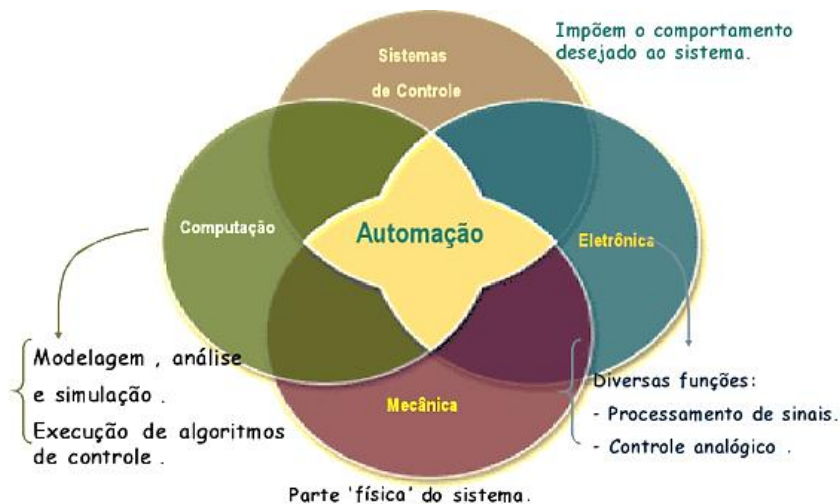
Conforme Silveira (2003), a partir da revolução industrial as fábricas visam o aumento da produtividade. Deste momento em diante, começa a história da automação industrial, onde é marcada pela criação das linhas de montagens em massa de automóveis por Henry Ford e pelo surgimento dos controladores lógicos programáveis financiados pela empresa americana General Motors. A automação inclui a ideia de usar potência mecânica ou elétrica para acionar alguma máquina com algum tipo de inteligência para que execute a tarefa da maneira mais eficiente possível.

A automação é o emprego das técnicas computadorizadas ou mecânicas que usam comandos programados para realizar tarefas. Automação mecanizada é aquela que faz o uso de sistemas mecânicos, sistemas de computação (*software*), sensores, aplicadas nas linhas de montagem e produção, monitorada e controlada pelo ser humano (NETO, 2021).

Um engenheiro da Ford Motor Company na década de 1940 criou o termo automação, no qual o esforço e a inteligência humana seriam substituídos por sistemas de ações e controles automáticos, pois até então, os dispositivos eram puramente eletromecânicos, a parte lógica era feita por relés, temporizadores, sensores, botões, necessitando haver a intervenção humana para alguns processos. Com a entrada dos computadores e *softwares* os controladores passaram a ser mais flexíveis e de menor custo. Os primeiros controladores lógicos programáveis foram desenvolvidos entre 1970 e 1980, posteriormente havendo desenvolvimento de novos produtos de controle, atualmente há centenas de produtos desenvolvidos pelas empresas fabricantes (LAMB, 2015).

Segundo Lamb (2015), as vantagens da automação para os humanos são as substituições das tarefas pesadas ou monótonas, em ambientes perigosos, manuseio de grandes cargas, fabricação de produtos mais rapidamente, menores custos, maior exatidão e qualidade na fabricação de produtos, agregando melhoria econômica para empresas e sociedade. A figura 3 representa o conceito abrangente de automação.

Figura 3 - Conceito abrangente de automação



Fonte: ROSÁRIO (2009).

2.2.2 Internet das Coisas

A Internet das Coisas é uma rede de dispositivos interconectados, é uma estrutura de arquitetura que permite a integração e troca de dados entre os sistemas mundiais sobre a infraestrutura de rede existente, são *softwares* com conectividade de rede que lhes permitem recolher e trocar dados (FERRAO, 2016).

Internet das Coisas ou IoT, na sigla em inglês, que vem do termo americano “*Internet of Things*”, representa nossa atualidade e o desenvolvimento para o futuro. Este termo exprime a concepção de uma rede mundial de objetos conectados entre si, sendo uma interação de tecnologias que irá possibilitar contribuições significativas para nossa sociedade (FACHINI, 2017).

Segundo Brito (2013), a cronologia da internet é dividida em 3 gerações, para melhor compreensão do seu processo evolutivo e do seu desenvolvimento, seu faseamento segrega-se na internet das máquinas, na internet das pessoas e na Internet das Coisas.

Inicialmente a internet era utilizada para conectar máquinas, que são dispositivos fixos, em vista disto ficou conhecida como a fase da “internet das máquinas”. A partir da década de 1990 houve a popularização da internet (WEB), a propagação dos dispositivos móveis no século XXI, deram origem a uma nova era, a “internet das pessoas”, nesse momento as pessoas estão conectadas às redes sociais de qualquer lugar do mundo, por diferentes dispositivos, sendo de seus computadores tradicionais a sofisticados smartphones. Atualmente o período de transição que estamos passando é chamado da geração “Internet das Coisas”, a fim de que, qualquer coisa poderá estar conectada a internet, graças a evolução da eletrônica embarcada (BRITO, 2013).

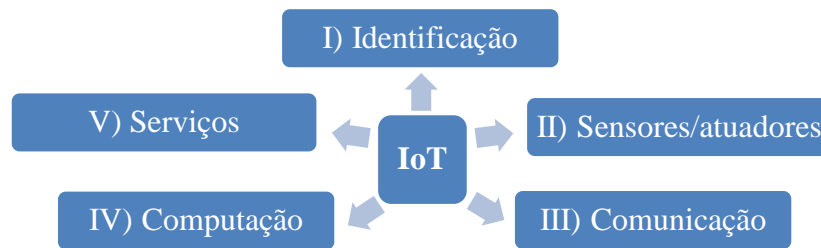
Para Santos *et. al.* (2016), a Internet das Coisas surgiu do progresso de várias áreas como a da eletrônica, dos sistemas embarcados, e da comunicação e sensoriamento. A IoT proporciona aos objetos do dia-a-dia se conectarem a internet, uma vez que possuam capacidade computacional e de comunicação. A conexão destes objetos pela rede mundial de computadores possibilitará controlá-los remotamente, e permitirá que os próprios objetos sejam acessados como provedores de serviços, gerando inúmeras oportunidades para o meio acadêmico e industrial.

Santos *et. al.* (2016), enfatiza que a IoT é composta por várias tecnologias que se complementam para integrar os objetos no espaço físico e virtual, o que ocorre por meio dos chamados “Blocos Básicos de Construção da IoT”.

Nesse sentido, em uma visão genérica, os autores relacionam como blocos básicos, primeiramente a identificação, que faz o reconhecimento dos objetos, cuja pode se dar pelo uso de tecnologias, como endereçamento de IP, após os sensores/atuadores em que refere-se à coleta e armazenamento dos dados, podendo direcioná-los à repositórios e até mesmo utilizá-los para promover reação ou manipulação do ambiente de acordo com as informações lidas. (SANTOS *et. al.* 2016).

Nesse contexto, a comunicação, que é a conexão dos objetos inteligentes por meio de tecnologias como *Wi-Fi*, *Bluetooth* e outras, logo após a computação que corresponde a unidade de processamento dos dados lidos, empregando microcontroladores, processadores ou outros meios capazes de executar algoritmos, e por fim os serviços no qual à fonte de informações poderá ocorrer por meio de serviços de mapeamento de entidades, como no caso da medição de temperatura de um meio, as coordenadas do momento da coleta, e a reação dos objetos em determinada condição etc. Essa estrutura pode ser representada pela figura 4 (SANTOS *et. al.* 2016).

Figura 4 - Blocos básicos de construção da IoT



Fonte: Adaptado de Santos *et. al.* (2016).

A IoT emerge com uma infinidade de oportunidades para automação dos processos nos diversos âmbitos, possibilitando a conexão de equipamentos e de tecnologias. Para viabilização das interconexões é imprescindível a padronização dessas tecnologias. Com a ascensão da pluralidade das conexões e recursos, despontam novos desafios, no que concerne a regulamentação, a segurança e os objetos com restrições de implantação, como por exemplo, aqueles que são heterogêneos em suas características (SANTOS *et. al.*, 2016).

Santos *et. al.* (2016) destaca que, com as novas oportunidades proporcionadas pela IoT, novas dificuldades podem ser verificadas na construção da rede, como é o caso da calibragem dos sensores, as inconsistências de ordem e no provimento dos dados, que podem ser por fusão de informações, por sensores ou por indivíduos.

Todavia, mesmo diante de um cenário desafiador, verifica-se nessa interconexão de objetos inteligentes um potencial de representação de características do mundo físico e dos usuários dos objetos através da leitura dos dados por meio de sensores. A classificação desses dados permite relacionar padrões do ambiente e dos usuários e realizar reações e interferências, antecipar condições e variáveis internas e externas, proporcionando maior assertividade no processo de tomada de decisões e beneficiando os indivíduos a usufruir dessas informações com a melhora na qualidade de vida e no aprimoramento dos processos (SANTOS *et. al.*, 2016).

2.3 Sensores e atuadores

O termo empregado para sensores serve para designar dispositivos sensíveis a uma condição de mudança, em alguma forma de energia, podendo ser cinética, luminosa, e térmica, sendo um dispositivo para detecção ou para sinalização de alguma condição, tendo como

objetivo informar sobre as grandezas a serem medidas, como a posição, corrente, aceleração, velocidade, pressão, temperatura, entre outras (THOMAZINI, 2020).

Geralmente sensores são definidos como dispositivos que recebem e respondem a um estímulo ou um sinal, depois de receber este estímulo sua função é emitir um sinal que seja capaz de ser convertido e interpretado por outros dispositivos, esta informação é a base para monitoramento e controle de algum processo (WENDLING, 2010).

Um transdutor é um dispositivo que converte um tipo de energia em outra, não sendo necessariamente elétrica, sensores muitas vezes são compostos de transdutores onde uma parte converte a energia resultante em um sinal elétrico, por isso é importante diferenciar um sensor de um transdutor, mesmo parecendo a mesma coisa, o sensor é o dispositivo que vai receber os estímulos que geralmente são biológico, químico e físico, já o transdutor é o dispositivo que vai transformar este estímulo de energia em outra (RASIA, 2009).

Segundo Thomazini (2020), os atuadores são dispositivos que mudam a variável controlada. Estes recebem um sinal vindo do controlador e atuam no sistema controlado, sendo estes, como exemplo os relés, válvulas, cilindros, solenoides e motores.

Conforme Patsko (2006), os sensores podem ser divididos basicamente em dois tipos, sensores digitais e sensores analógicos. Sendo os sensores analógicos os dispositivos mais comuns, pois baseiam-se em sinais analógicos, podendo assumir infinitos valores intermediários. Os sensores digitais assumem valores bem definidos, como níveis de tensão que podem ser descritos como alto ou baixo, estes sensores utilizam a lógica binária, que é a base do funcionamento dos sistemas digitais, ao contrario dos sensores analógicos, que para estes sensores não é possível haver um valor intermediário entre eles.

Destarte, Brito (2019) preleciona que sensores e atuadores são essenciais para o controle automático de uma indústria, pois a partir desta aplicação é possível ter qualidade e rendimento mediante as diversas variáveis envolvidas no processo industrial.

2.3.1 Sensor ultrassônico

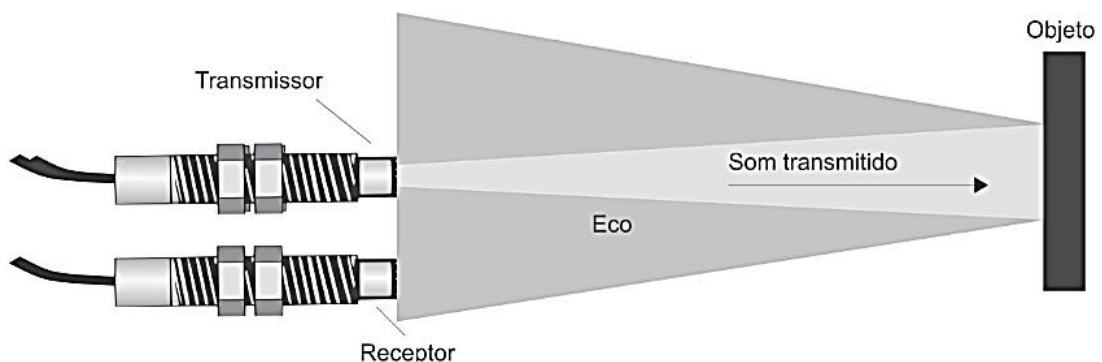
Tomazini (2020) transcreve que os sensores ultrassônicos se baseiam na reflexão das ondas sonoras, sendo esta reflexão um eco. A onda sonora quando atravessa um meio é capaz de absorver som e quando se colide com alguma barreira só uma pequena porção é absorvida e a maior parte da onda é refletida por esta barreira. As superfícies não refletoras das ondas sonoras são chamadas “Meio Mortas” e as superfícies refletoras de ondas sonoras são chamadas

de “Meio Vivas”. O tempo de percurso do eco entre a saída do sensor até a reflexão das superfícies, se volta como referência da posição de nível.

Sensores ultrassônicos são semelhantes aos princípios de funcionamento do radar e do sonar, que analisa a localização de um objeto, gerando ondas de som de alta frequência que quando tocam no objeto voltam em forma eco, recebido de volta pelo sensor. O tempo do envio do sinal e a recepção deste sinal de volta pelo sensor, determina a distância até o objeto. Estes sensores são usados na medição de distância, sem contato físico na detecção de objetos tanto sólidos como líquidos. Para tal medição o sensor ultrassônico funciona como um transmissor e receptor (MACEDO, 2013).

Para Camargo (2014), os sensores ultrassônicos emitem um pulso de som que é refletido quando tocam objetos dentro do seu campo das ondas, gerando um sinal de saída digital ou analógico, ligado a um controlador, computador ou atuador. Estes sensores obtendo uma reflexão acústica suficiente, podem detectar vários tipos de objetos, podendo ser objetos transparentes, líquidos, granulares, metálicos, entre outros. Sendo assim, estes sensores são geralmente usados para aplicações de medição de distância, pois a distância de um objeto ao sensor é direccionalmente proporcional ao tempo que o feixe do sensor atinja o alvo e retorne. Sendo verificado seu funcionamento conforme figura 5:

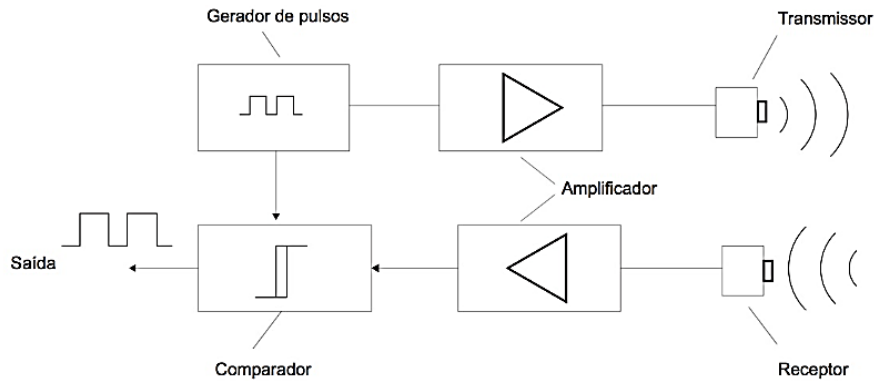
Figura 5 - Princípio de funcionamento dos sensores ultrassônicos



Fonte: Camargo (2014).

Segundo descreve Camargo (2014), o sensor ultrassônico é composto por quatro componentes básicos, sendo estes, o transmissor/receptor, o comparador e circuito detector, e a saída de estado sólido, conforme apresentado na figura 6.

Figura 6 - Diagrama em blocos de um sensor ultrassônico

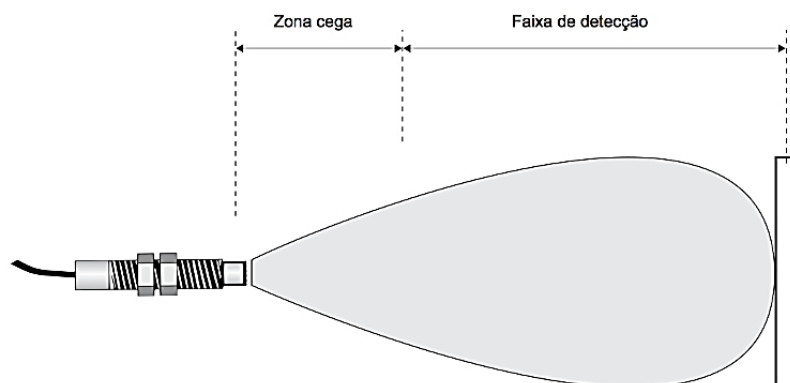


Fonte: Camargo (2014).

O transmissor emite uma sequência de pulsos sonoros para fora da face sensora utilizando um transdutor ultrassônico. O eco das ondas refletidas por um objeto é captado pelo receptor. Este eco refletido quando captado pelo sensor, o comparador calcula a distância do sensor para o objeto, comparando o tempo de emissão do sinal de pulso até o retorno do eco no sensor. A saída do sensor envia informações do seu estado para outros dispositivos pela interface elétrica que possui, este sinal do sensor digital é binário e mostra se há ou não algum objeto no seu campo de detecção, já o sinal dos sensores analógicos mostra a distância de um objeto no seu campo de detecção (CAMARGO, 2014).

Sobre a faixa de detecção e feixe eficiente, Camargo (2014) relata que a faixa de detecção do sensor ultrassônico está entre o limite da distância mínima sensora e o limite da distância máxima sensora, conforme figura 7. A zona cega é conhecida pela área próxima a região da face sensora, que não pode ser utilizada. A distância máxima que o sensor é capaz de detectar se dá pelo tamanho e material do alvo.

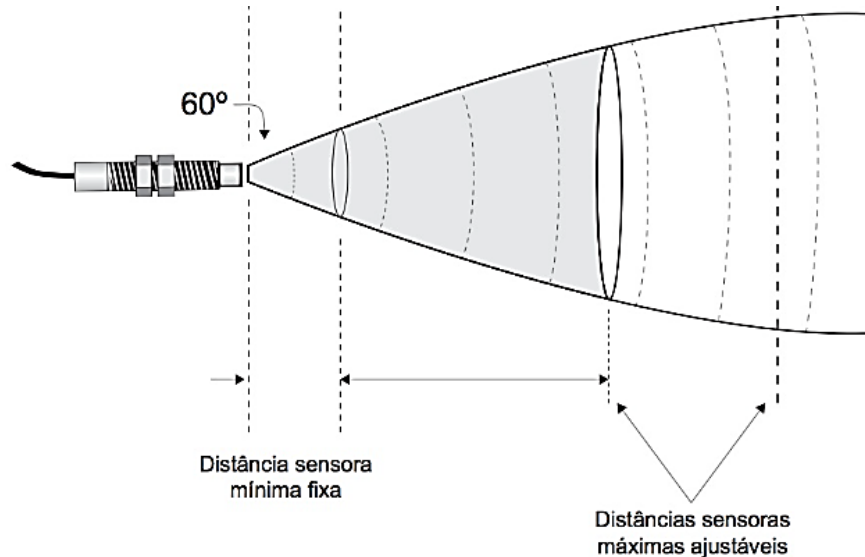
Figura 7 - Faixa de detecção do sensor ultrassônico



Fonte: Camargo (2014).

O feixe eficiente do sensor ultrassônico pode ser ajustável, a fim de ampliar ou diminuir a faixa de detecção, o transmissor emite sinais que se propagam em forma de cone, conforme mostra a figura 8.

Figura 8 - Cone de detecção dos sensores ultrassônicos e possibilidade de ajuste



Fonte: Camargo (2014).

Por fim, os sensores ultrassônicos apresentam muitas vantagens para sua utilização, o número de operações realizadas não limita sua vida útil, são menos afetados pela umidade condensada, independem da cor do objeto, não necessitando aplicar um fator de correção, os sensores ultrassônicos com as saídas digitais tem uma boa repetibilidade, a resposta dos sensores ultrassônicos analógicos é linear com a distância (CAMARGO, 2014).

2.3.2 Sensor de umidade

O sensor de umidade deve ser usado na maior parte do tempo da sua faixa de medição. Os parâmetros de umidade são expressos em uma diversidade de termos, como umidade relativa, partes por milhão (ppm), bulbo seco/úmido, ponto de orvalho, gramas por metro cúbico, dentre os parâmetros, primeiramente deve-se determinar quais serão os níveis de umidade que o sensor deverá atuar. A umidade relativa por exemplo, é a relação da pressão do vapor-d'água efetivo para a pressão do vapor de saturação, á temperatura do bulbo seco, tendo sua medição entre 0 a 100 % (TOMAZINI, 2020).

Para Tomazini (2020), a aplicação dos sensores de umidade é muito importante para processos industriais, uma vez que o vapor-d'água contido em um ambiente altera suas especificações, necessita-se o controle da umidade para que fique dentro de valores pré-estabelecidos.

2.3.3 Sensor de temperatura

Temperatura pode ser definida como o grau de agitação térmica das moléculas, e a medição da temperatura pode ser chamada de termometria, pirometria e criometria conforme os termos para medição. Calor pode ser definido como a energia em trânsito. A quantidade de calor e a temperatura estão associadas pela equação 1 (BRITO, 2019).

$$\Delta Q = m.c. \Delta T \quad (1)$$

Sendo:

Q: variação da quantidade de calor;

m: massa da substância envolvida;

c: calor específico;

ΔT : variação de temperatura.

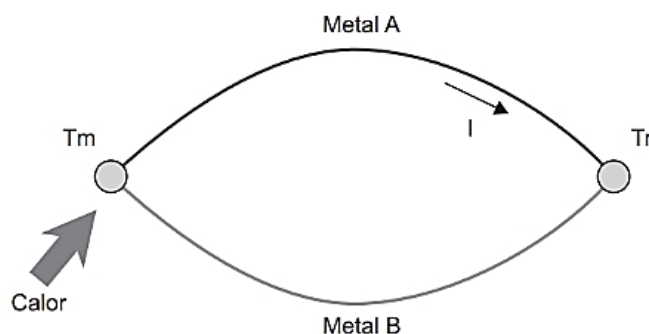
A temperatura é medida por escalas, e as mais conhecidas são as escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit, e a relação das escalas é mostrada na equação 2 (BRITO 2019).

$$\frac{C}{5} = \frac{K-273}{5} = \frac{F-32}{9} \quad (2)$$

Os efeitos termoelétricos se dá quando dois materiais semicondutores diferentes são unidos e suas junções são mantidas a temperaturas diferentes, podem ocorrer três fenômenos: o efeito Thompson, o efeito Peltier e o efeito Seebeck (BRITO, 2019).

Em 1821 Seebeck descobriu o fenômeno da termoeletricidade, quando observou um circuito fechado feito por dois materiais diferentes, e quando suas junções estão a temperaturas diferentes existe uma diferença de potencial, surgindo uma corrente elétrica entre as juntas, a existência desta corrente elétrica ficou conhecida como efeito Seebeck ou efeito termopar (*thermocouple*), conforme demonstrado na figura 9 (BRITO, 2019).

Figura 9 - Efeito Seebeck ou termopar



Fonte: Brito (2019).

Para Brito (2019), o esclarecimento dos fenômenos que existem para medição da temperatura se dá pela compreensão das leis termoelétricas.

Segundo Soloman (2012), a temperatura no controle de processos é um dos parâmetros mais importantes nas instalações industriais a ser controlada, pois afeta diretamente a propriedade dos materiais e conseqüentemente a qualidade dos produtos. Nos últimos anos foram desenvolvidos sensores de temperaturas para ambientes hostis, sendo classificados em dois grupos, um como sensores de baixa temperatura com intervalo de -100 a $+400^{\circ}\text{C}$, e dois como sensores de alta temperatura com intervalo de 500 a 2000°C .

2.3.4 Sensor de gás

Sensor de gás é um sensor químico muito importante, que compõe-se de uma camada química e um transdutor, que converte a informação química em outra forma de sinal, podendo ser sinal de frequência, tensão ou corrente. Como existe uma variedade de gases que são perigosos ao ser humano, em certas atividades o monitoramento destes gases deve ser feito em tempo real para segurança do ambiente, para isso existem diferentes tecnologias de sensores de gás, como os sensores de gás catalíticos, sensores de gás semicondutores, sensores de gás ópticos, sensores de gás eletroquímicos, e sensores de gás acústicos. Cada sensor de gás apresenta uma característica e um desempenho sendo baseado em algumas propriedades, como tempo de recuperação, seletividade, tempo de resposta, sensibilidade e seletividade. (YUNUSA *et. al.*, 2014).

Segundo Yamazoe (2005), o sensor real teve início na década de 70, no qual os sensores de oxigênio de eletrólito sólido e os sensores de gás combustível semicondutores eram comercializados para uso não profissional, nas duas décadas seguintes foram realizados

avanços tecnológicos destes sensores e vários novos sensores de gás, para garantir a saúde, segurança e comodidade dos seres humanos. A interface do sensor de gás é indispensável para que se possa adquirir informações em tempo real em nosso meio, podendo ser moldados sistemas de segurança para proteger trabalhadores, com alarmes visuais e sonoros a partir da atuação de um sensor de gás.

Conforme Parra (2011), a sociedade tem a necessidade de controlar o aumento de componentes químicos de fase gasosa, em que aparecem como produtos de múltiplos processos industriais, que são basicamente compostos por uma fonte, um detector e um caminho, no qual estes interagem com a substância a ser detectada, podendo detectar gases específicos, mas que podem ser afetados pela temperatura, umidade, poeira e pressão prejudicando sua resposta a leitura detectada. Os sensores químicos podem determinar quase que de imediato a presença ou a quantidade de substâncias graças ao desenvolvimento de tecnologias bases, como a eletrônica e a optoeletrônica, através de *software* para comparação de dados padronizados em um computador, permitindo uma determinação com os dados que chegam até o computador pelos sensores que transformam a informação química em sinais úteis analiticamente.

Para Tomazini (2020), a análise técnica dos gases se faz necessário diferenciar dois tipos de pares, os que medem gases e os que permitem análises quantitativas e qualitativas das misturas das matérias desconhecidas ou conhecidas, sendo seu resultado de medição em forma de sinal elétrico, e sua medição indicada, registrada ou teletransmitida, podendo haver intercomunicação com controladores e equipamentos de processamento de dados. Alguns dos analisadores de gases podem ser do tipo absorção de radiação infravermelha, não dispersiva, pelo método paramagnético, por ionização de chama, por célula eletroquímica, e por quimiluminescência.

2.3.5 Atuador

Atuador é um dispositivo que recebe um sinal vindo de um controlador e atua no sistema controlado. É um dispositivo que modifica uma variável controlada. Os atuadores podem ser relés, motores, cilindros, válvulas e solenóides. (TOMAZINI, 2020).

Para Camargo (2014), o atuador produz movimento com o objetivo de corrigir ou alterar alguma variável de um processo definido por algum comando, podendo ser também um elemento que atua a fim de apenas ligar ou desligar algum mecanismo, ou podendo ser um servomotor que transmite uma certa quantidade de energia para operação de outro sistema.

Segundo Brito (2017), atuador converte um sinal que é geralmente elétrico em alguma ação a partir deste sinal, geralmente sendo essa ação mecânica, como por exemplo as válvulas de controle, em que os atuadores são responsáveis por fornecer a força necessária para que as válvulas realizem seu trabalho.

Alegria (2021) afirma que atuadores são responsáveis por produzir movimento, convertendo energia elétrica, hidráulica e pneumática em energia mecânica, fundamental para diversos processos, e principalmente para atuação de válvulas, os atuadores quando notificados por um sistema realizam uma tarefa, por exemplo um motor DC, converte corrente elétrica em movimento. A interface entre o mundo que vivemos e esses sistemas é realizada pelos atuadores em conjunto com os sensores. Atuadores são apresentados pelas formas de atuadores pneumáticos, atuadores hidráulicos e atuadores elétricos, se tornando dispositivos extremamente importantes dentro do setor industrial.

2.4 Sistemas embarcados

O primeiro microprocessador foi desenvolvido pelo engenheiro Frederico Faggin, da Intel, onde produziu em 1974 a calculadora BUSICOM 141-PF que utilizava o chip 4004, no decorrer várias empresas buscaram o desenvolvimento do microprocessador, no qual passaram a incluir dentro de um mesmo chip a memória, o processador e alguns periféricos de entrada e saída, sendo chamados de microcontroladores, buscando diminuir a complexidade com diversos circuitos separados, para que pudessem interagir com o meio externo. (ALMEIDA, 2016).

Complementando Almeida (2016), circuitos eletrônicos que se englobam em um único chip são chamados de microcontroladores, responsáveis por executarem listas de códigos. Quando estes sistemas embarcados são programados em linguagem C, a maior parte da diferença entre os processadores é abstraído pelo compilador, sem se preocupar com a arquitetura do processador, e com a quantidade de bits nos barramentos de dados ou de endereços, ficando todo procedimento de acesso e configuração dos periféricos de entrada e saída a cargo do programador.

Para Cerqueira *et. al.* (2022), sistemas embarcados consiste em um sistema microprocessador onde o *software* está conectado ao *hardware* que o controla. A arquitetura de *hardware* de um *System on Chip* (SoC), pode conter interface para periféricos, memória, e um ou mais processadores, por isso cada fabricante desenvolve seu *hardware* conforme suas especificações e necessidades, sendo assim o *software* necessita ser adaptado para cada

ambiente de trabalho. O microcontrolador tem a possibilidade de ser programado por meio de linguagens de programação e realizar tarefas específicas, sendo composto por CPU (unidade central de processamento), frequência de clock, memória flash, memória RAM, memória EEPROM, entradas e saídas.

Segundo Oliveira (2010), sistema embarcado é composto por uma unidade de processamento que é um circuito integrado, fixado em um circuito impresso, no qual possui capacidade de processamento de informações provindo de um *software*. Todo *software* embarcado é classificado de *firmware*. Microcontrolador possui todos periféricos necessários em um chip, como conversores de sinal analógico em digital, memórias, timers, portas de comunicação e barramentos, apresenta desempenho menor que dos processadores, mas são ideais para várias aplicações, sendo usado amplamente em automação residencial, predial e industrial. A comunicação do sistema embarcado geralmente está relacionada com computadores, promovendo ampla flexibilidade em aplicações.

O sistema embarcado se diferencia de um computador “convencional” por ser baseado em um conjunto dedicado constituído por *hardware*, *software* e periféricos, sendo que através de suas aquisições de dados, faz a captura de informações dos sensores, enviando os dados via comunicação serial para um computador, podendo assim executar tarefas pré determinadas, logo o projetista necessita ter conhecimento em programação, noções de controle de processos, tecnologias de aquisição de dados (conversão analógico/digital), sensores, atuadores, sistemas digitais, acionamento eletromecânico, PWM, sistemas de tempo real, e por fim determinar eficiência de estruturação do projeto e do código produzido. A nomenclatura “embarcado” (do inglês Embedded Systems) classifica este sistema com independência de operação e capacidade computacional, sem a necessidade de uma fonte de energia fixa como um gerador ou uma tomada (CHASE, 2007).

Barros (2010), contextualiza que sistemas embarcados apresentam uma grande flexibilidade no ponto de vista para *software* e *hardware*, podendo ser implementado em plataformas de uso geral, mas também podem ter seu *hardware* dedicado, sua interação com o ambiente se dá através de sensores e atuadores. Microcontroladores são processadores de *software* que incorporam muitas funções em um único chip. Sistemas embarcados são sistemas de computação embutidos em sistemas maiores que interagem por meio de interfaces, podendo interagir ainda com outros sistemas e ambientes, sendo que, há vários tipos de interfaces, como interfaces seriais (RS232/422/485, *Universal Serial Bus – USB*, Infravermelho, e *Bluetooth*).

2.5 Mercado de fabricação de ração suína

A atividade pecuária de suínos no continente americano se iniciou por Cristóvão Colombo, em 1493, quando foram descarregados oito animais na região de São Domingos. Sequencialmente, expandiu-se por outros países do continente até chegar no litoral paulista no Brasil, em São Vicente, em meados de 1532, trazidos pelo navegador Martim Afonso de Souza (ABCS, 2014).

O exercício histórico da suinocultura no Brasil propiciou a consolidação da atividade e a sua ascensão representa a necessidade do desenvolvimento e aplicação de tecnologias de ponta para aprimoramento dos processos, tanto no que concerne a área genética, desenvolvimento, mantimentos, insumos até as instalações e equipamentos (ABCS, 2011).

O cenário mercadológico atual reforça para que a categoria busque meios eficientes e econômicos para a continuidade das operações e a sobrevivência do setor, visto o aumento do custo da cadeia produtiva e a respectiva redução da margem de lucro, cujos insumos representam o comprometimento de aproximadamente 70% dos recursos empregados no ciclo de produção. (ABCS, 2011)

Tratando-se do panorama mundial de produção de carne suína, de 1995 até 2012 foi registrado um aumento de 42,7%, enquanto o plantel cresceu apenas 7,1%. Essa relação entre o aumento expressivo da produtividade comparada ao pequeno avanço das criações, deve-se ao aprimoramento da produtividade e aumento do peso de abate dos animais (ABCS, 2014).

De acordo com a Miele, Filho, Martins e Sandi (2011), o Brasil é o quarto maior produtor e exportador de carne suína, correspondendo a 3,2% da produção e 12,5% da exportação, ficando atrás da China, da União Europeia e dos Estados Unidos da América. Estima-se que, anualmente, são produzidas mais de 100 milhões de toneladas por ano, o que significa um desempenho nacional significativo em relação ao cenário mundial.

De acordo com Bernardo Viscardi, supervisor de pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), nos últimos anos, a cadeia de consumo de proteína animal tem aumentado significativamente, no mercado nacional, em decorrência da acessibilidade em relação a carne bovina, desencadeada pela redução da renda da população, e nas exportações, concomitantemente, pelo beneficiamento da peste suína africana que atingiu a China (AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE, 2022b).

O crescimento no número de rebanhos suínos abatidos no 1º trimestre de 2022 representa um aumento de 7,2% em comparação ao 1º trimestre de 2021 e de 1,5% em relação ao último trimestre do mesmo exercício, resultando no 1º trimestre de maior quantidade da série

histórica de pesquisas pelo IBGE, iniciadas em 1997. Esse fluxo pode ser verificado nos quadros 1 e 2, conforme dados divulgados pelo IBGE (2022).

Quadro 1 - Quantidade de animais abatidos por tipo de rebanho (por mil cabeças) no 1º trimestre de 2022

	Total do trimestre	No 1º mês	No 2º mês	No 3º mês
Bovinos	6.907.782	2.245.875	2.209.969	2.451.938
Suínos	13.637.038	4.373.021	4.317.572	4.946.445
Frangos	1.544.803.208	507.327.869	488.996.439	548.478.900

Fonte: IBGE (2022).

Quadro 2 - Quantidade de animais abatidos por tipo de rebanho (por mil cabeças) no 4º trimestre de 2021

	Total do trimestre	No 1º mês	No 2º mês	No 3º mês
Bovinos	6.770.924	2.097.947	2.181.108	2.491.869
Suínos	13.286.840	4.325.567	4.346.652	4.614.621
Frangos	1.540.328.414	503.908.625	506.081.230	530.338.559

Fonte: IBGE (2022).

Esse aumento substancial foi verificado em 19 estados dos 25 apurados, cujos índices subiram no Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás (AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE, 2022a).

De acordo com dados da Associação Brasileira de Criadores Suínos (2011), a região sul do país é a maior região produtora, detendo cerca de 60% das matrizes, seguida pela região sudeste com cerca de 22%.

O avanço substancial da produção de carne suína, representa o aumento do fluxo em todos os demais meios da cadeia produtiva. No que diz respeito aos insumos, Ariovaldo Zani, CEO do Sindirações, (FORBES, 2021), destacou a projeção de avanço no setor de carnes para a indústria de aves e suínos, ampliando a demanda da produção de grãos para mantimento dos animais.

Em evidência dos aumentos estimados para a produção de rações, destaca-se que suínos têm consumo estimado em 42,9 milhões de toneladas para 2022, colocando em voga os custos aplicados à produção, que devem ser avaliados em função de fatores internos e externos, como as adversidades climáticas e a taxa cambial (FORBES, 2021).

O impulsionamento das demandas, reforçam a necessidade do aprimoramento de gestão e qualidade para planejamento e redução de custos do processo produtivo, analisando

possibilidades viáveis para o setor. Das estratégias verticalmente aplicáveis a pecuária, destaca-se a primordialidade do controle da produção de insumos em fábricas de ração, com os estabelecimentos suínolas e com a coordenação da cadeia produtiva, processo denominado no Brasil como integração (EMBRAPA, 2011).

Segundo a Embrapa (2011), esse modelo de atividade é caracterizado pelo fornecimento de ração, suporte genético, logístico e assistência técnica da agroindústria ao integrado.

A alimentação suína é basicamente por meio de rações balanceadas, formuladas principalmente por produtos de origem vegetal, como cereais e seus subprodutos, derivados de farelos, oleaginosas. Também podem ser empregados produtos de origem animal, como soro de leite, farinhas de carne, sangue, entre outros (ABCS, 2011).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho foi fundamentada a partir da verificação *in-loco* do processo final de armazenamento de ração em silos, no qual foi identificada a oportunidade de melhoria do desempenho operacional a partir das dificuldades encontradas no processo.

Primeiramente, foi realizado um levantamento das características técnicas do silo, em que será implementado uma automação eficiente. Posteriormente, foram definidas as variáveis que serão manipuladas. Na sequência, foram determinados os sensores e atuadores.

Após esta etapa, deu-se início a pesquisa e desenvolvimento do código em C++ na plataforma da IDE do Arduino com a interface eletrônica microcontrolada, dando sequência para os testes das leituras iniciais dos sensores pelo monitor serial da própria plataforma.

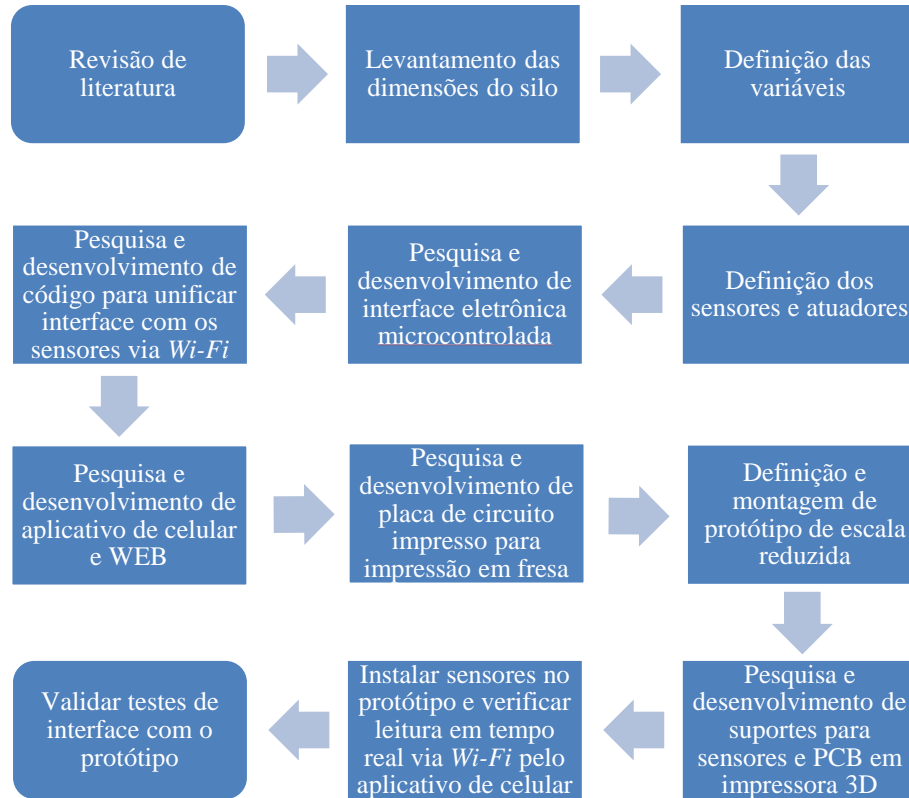
Posteriormente foi desenvolvido um aplicativo de celular no MIT App Inventor para leituras dos sensores em tempo real via *Wi-Fi*, ademais, desenvolvida uma placa PCB de junção dos sensores e sistema embarcado no Proteus e impressa em uma fresa CNC, promovendo uma interação do sistema embarcado com os periféricos externos, e finalizando com a produção de um protótipo de escala reduzida para testes e validação do projeto.

3.1 Descrição do processo de armazenamento de ração em silo

No armazenamento de ração em silos, um dos problemas que se encontra é a falta de automação, para monitoramento, controle e gerenciamento do processo. Não possuem instrumentação para leituras das variáveis, apresentam automação ineficaz, tornando esse processo com adversidades no armazenamento, na produção e na logística aplicada, gerando transtornos como a superprodução, ocasionando parada de produção, ou o déficit de produção por simplesmente não saber quanta ração há dentro do silo, ocorrendo também incertezas ocasionadas pelo não controle do estoque na hora de fazer inventários.

Diante disto, buscando uma maior eficiência no desempenho operacional e de armazenamento de ração, iniciou-se a pesquisa e desenvolvimento da automação e controle de silo aplicando o conceito Internet das Coisas, e visando a indústria 4.0 para este processo de armazenamento de ração. Para o desenvolvimento do projeto, foram feitas as seguintes definições conforme figura 10.

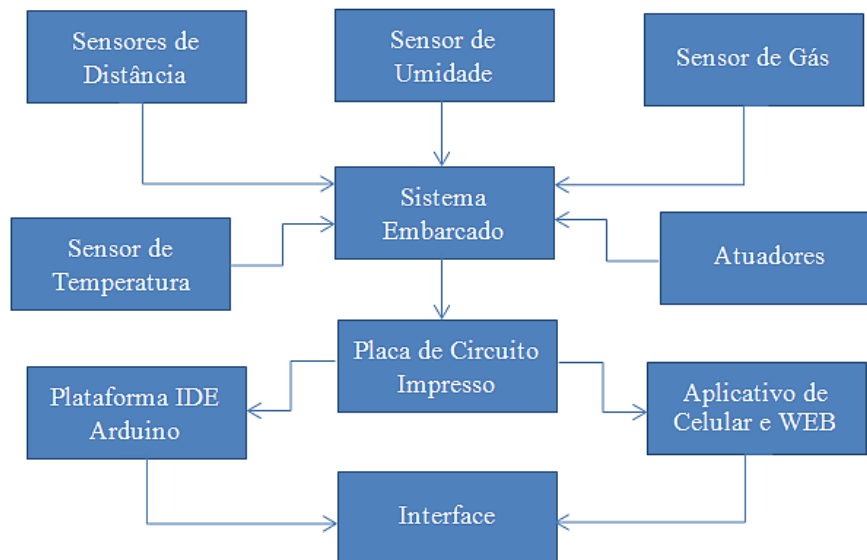
Figura 10 - Fluxograma de desenvolvimento do projeto



Fonte: O autor (2022).

A figura 11 mostra a ideia inicial para estrutura e desenvolvimento deste projeto.

Figura 11 - Diagrama estrutural inicial do projeto

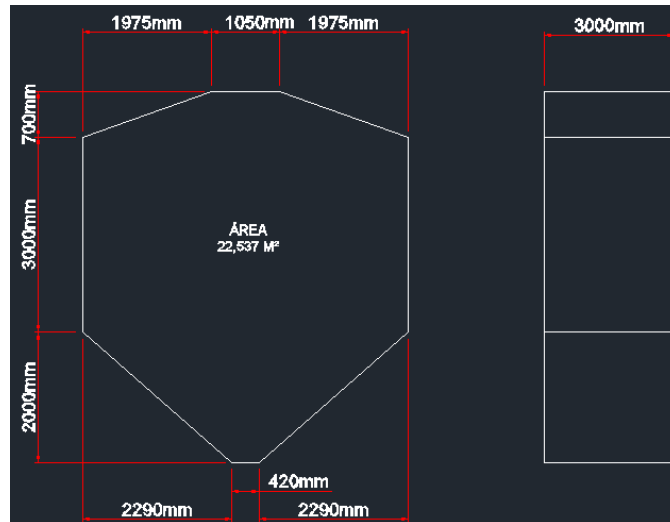


Fonte: O autor (2022).

3.2 Definições e levantamento das dimensões do silo

Para início da implementação da automação foram apanhadas as dimensões *in-loco* do silo. Diante as leituras coletadas, foi elaborado o desenho nas dimensões reais do silo em software AutoCAD, conforme demonstrado nas figuras 12 e 13.

Figura 12 - Dimensões do silo em 2D



Fonte: O autor (2022).

Figura 13 – Silo em 3D



Fonte: O autor (2022).

A partir das dimensões reais, e do desenho elaborado no *software* AutoCAD, evidencia-se o formato do silo, podendo-se iniciar o desenvolvimento do protótipo de escala reduzida e a pesquisa e dimensionamento dos sensores a serem utilizados, conforme as variáveis definidas.

3.3 Definição variáveis

Nesta etapa é muito importante analisar e decidir quais as variáveis que necessitam ser monitoradas, a fim de suprir as necessidades encontradas neste processo, sendo assim foram definidas as variáveis de:

- Distância
- Temperatura
- Umidade
- Gás

O controle de distância para monitorar a quantidade de ração que há dentro do silo se torna de suma importância para o armazenamento de ração. O controle de temperatura é necessário para saber qual valor de temperatura que a ração está chegando dentro do silo para ser armazenada. O controle de umidade dentro do silo para saber quanto úmida está a ração e que valor agrega em termos de qualidade. E o monitoramento de concentração de gás dentro do silo para segurança no acesso ao ambiente que não foi projetado para a ocupação humana contínua, garantindo sua segurança.

3.4 Definições dos sensores e atuadores

Os sensores e atuadores escolhidos para esta etapa, foram dimensionados para aplicação no protótipo e visando uma aplicação real foram definidos também os sensores para aplicação *in-loco*, para a validação da interface será utilizado os sensores escolhidos para instalação no protótipo, que seu custo é menor em relação aos que poderiam ser aplicados *in-loco*, mas que atendem a proposta deste projeto.

Posteriormente, a tecnologia do sensor utilizado para as leituras da interface será indiferente para o protótipo ou para utilização *in-loco* na interface que será desenvolvida. Sendo assim foram definidos os seguintes sensores para aplicação neste projeto.

3.4.1 Sensor de distância ultrassônico HCSR-04

O sensor de distância ultrassônico HCSR-04 foi definido para utilização no protótipo, para fazer as medições de distância e conseqüentemente fazer a leitura da quantidade de ração que será armazenada dentro do silo, este sensor, conforme ilustrado na figura 14, é capaz de

medir distâncias de 2cm a 4m com uma boa precisão e um baixo preço, possuindo um circuito com emissor e receptor acoplados e 4 pinos (VCC, TRIGGER, ECHO e GND) para medição.

Para começar a medição é necessário alimentar o módulo e colocar o pino Trigger em nível alto por mais de 10 μ s. Assim, o sensor emitirá uma onda sonora de 8 pulsos de 40 kHz que, ao encontrar um obstáculo, rebaterá de volta em direção ao módulo.

Durante o tempo de emissão e recebimento do sinal, o pino ECHO ficará em nível alto, conforme a figura 15 apresenta no diagrama de tempos dos sinais para o acionamento do sensor. Logo, o cálculo da distância pode ser feito de acordo com o tempo em que o pino ECHO permaneceu em nível alto após o pino Trigger ter sido colocado em nível alto. O valor pode ser determinado por:

$$\text{Distância} = [\text{Tempo ECHO em nível alto} * \text{Velocidade do Som}] / 2 \quad (3)$$

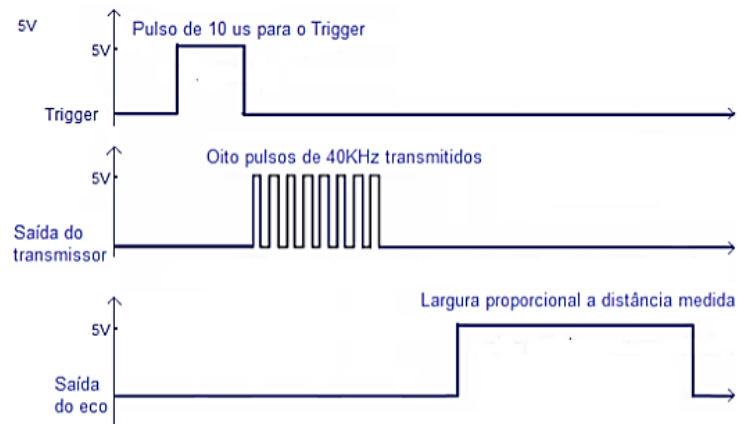
A velocidade do som poder ser considerada idealmente igual a 340 m/s, na equação 3, a divisão por 2 deve-se ao fato de que a onda é enviada e rebatida, ou seja, ela percorre 2 vezes a distância procurada.

Figura 14 - Sensor ultrassônico HCSR-04



Fonte: Filipeflop [2022?].

Figura 15 - Diagrama de temporização do sensor HCSR-04



Fonte: Nakatani; Guimarães; Neto (2014).

Algumas das características do sensor ultrassônico HCSR-04 foram amostradas no quadro 3 de dados técnicos e sua pinagem no quadro 4, um dos detalhes deste sensor é sua alimentação 5 volts, muito utilizado atualmente por ser fácil de encontrá-lo se tornou muito viável, sendo assim para melhor conhecimento do seu funcionamento foi utilizado seu *datasheet*.

Quadro 3 - Dados técnicos sensor ultrassônico HCSR-04

Tensão de funcionamento	5V DC
Corrente	15 mA
Frequência de operação	40 kHz
Alcance máximo	4 m
Alcance mínimo	2 cm
Ângulo de medição	30°
Dimensões	40mmx20mmx15mm

Fonte: Adaptado de Cytron Technologies (2013).

Quadro 4 - Pinagem sensor ultrassônico HCSR-04

VCC	Alimentação de +5V
TRIG	Entrada de Pulso
ECHO	Saída de Pulso
GND	Terminal Terra

Fonte: Adaptado de Cytron Technologies (2013).

3.4.2 Sensor ultrassônico 873P

O sensor ultrassônico Allen-Bradley® 873P, foi definido para utilização *in-loco*, para fazer as medições de distância e conseqüentemente fazer a leitura da quantidade de ração que será armazenada dentro do silo, este sensor conforme ilustrado na figura 16, traz uma solução inteligente para o projeto, graças a funcionalidade IO-Link incorporada, fornecendo dados do sensor e aumentando a produtividade.

O 873P apresenta uma configuração de botão simplificada, fácil de ser usada. Os pontos de ajuste e a função de saída (operação de janela ou ponto de ajuste único) são selecionados através do botão de pressão e são protegidos por um recurso de bloqueio que evita adulteração ou reprogramação inadvertida.

Vários LEDs de status também auxiliam na configuração e solução de problemas. Alguns modelos também apresentam sincronização para evitar diafonia em instalações de vários sensores.

Consistindo em modelos de 18 mm e 30 mm de diâmetro, com classificação IP67, com configurações de saída analógica, digital e combinação de saída analógica/ digital, o sensor Allen-Bradley 873P oferece faixas de detecção de 400 mm a 6 metros para flexibilidade da aplicação ideal. E quando conectado a um mestre IO-Link, o 873P pode aproveitar a funcionalidade avançada, incluindo diagnóstico em tempo real, configuração automática de dispositivo e vários perfis específicos de trabalho.

Figura 16 - Sensor ultrassônico 873P

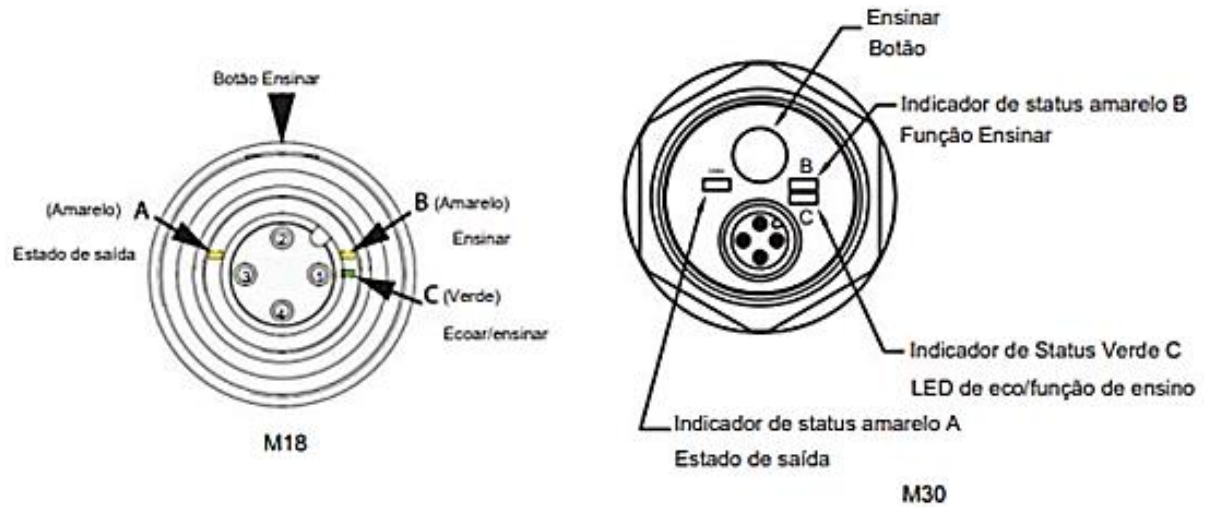


Fonte: Rockwell Automation (2021).

Os sensores ultrassônicos programáveis 873P são dispositivos de estado sólido independentes, projetados para detecção sem contato de objetos sólidos e líquidos. Esses sensores têm dois pontos de ajuste programáveis, com saídas de alimentação (PNP) que podem ser configuradas para operação normalmente aberta ou normalmente fechada. Os pontos de ajuste podem ser programados para alternar a saída discreta em qualquer posição alvo dentro da faixa do sensor.

Além disso, eles também possuem uma saída analógica de 4-20mA ou 0-10V DC, conforme o quadro 5 de dados técnicos para utilização deste sensor. A inclinação da saída analógica é escalonada entre os limites dos valores de setpoint. A programação dos setpoints e a configuração das saídas é feita através do botão de configuração na parte traseira da caixa, conforme figura 17.

Figura 17 - Indicador de status



Fonte: Rockwell Automation (2021).

Quadro 5 - Dados técnicos sensor 873P

Configuração de saída	Dois PNP discretos (NO/NC programável) Corrente analógica: 4-20mA Tensão Analógica: 0-10V DC
Corrente de carga	< 100mA
Corrente de fuga	<0,5mA
Consumo de corrente	<45mA
Tensão de operação	10 a 30V DC
Queda de tensão	<5v DC
Frequência de operação	130 a 200kHz
Ângulo de medição	8°
Alcance máximo	6m
Alcance mínimo	350mm

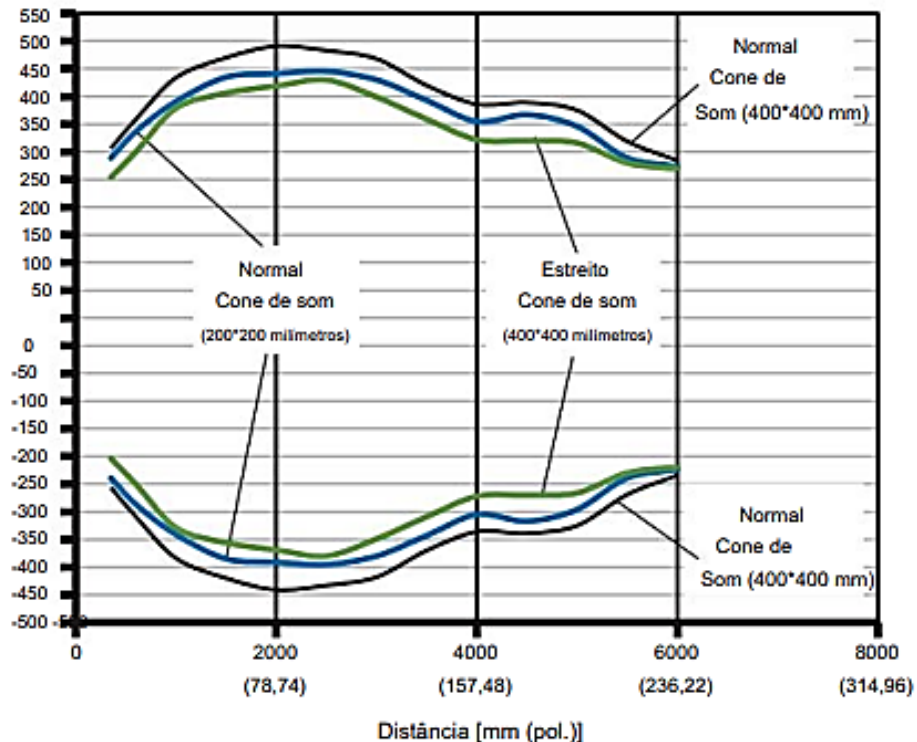
Fonte: O autor (2022).

Os sensores ultrassônicos determina a distância do sensor ao alvo medindo o tempo de retorno desse eco. Os modelos programáveis têm três saídas. As duas saídas discretas comparam esta duração com a dos limites próximos e distantes conforme programado pelo usuário através do botão. As saídas do sensor são comutadas nesses limites com base na duração do tempo para receber o eco. A saída analógica converte o valor do tempo em uma corrente ou tensão CC que é dimensionada entre os pontos de comutação.

Existe uma área inutilizável, ou banda morta, diretamente na frente do sensor, pois há um intervalo de tempo necessário entre a transmissão e a detecção da onda sonora pelo transdutor. Esta é a distância mínima na qual o alvo pode ser detectado. A figura 18 apresenta o diagrama de feixe do sensor com alcance de 6m ideal para a aplicação *in-loco*.

Figura 18 - Diagrama de feixe

Faixa de detecção de 350...6000 mm (13,78...236,22 pol.)



Fonte: Rockwell Automation (2021).

3.4.3 Sensor de temperatura e umidade DHT22

O sensor de temperatura e umidade DHT22 foi definido para utilização no protótipo, para fazer as leituras de temperatura da ração dentro do silo que será armazenada e as leituras da umidade que a ração apresenta dentro do silo.

O sensor DHT22, conforme figura 19, também chamado de AM2302, dispõe seus dados na quadro 6, tem um módulo que integra um sensor de temperatura e um sensor de umidade do ar, utiliza um sensor capacitivo de umidade e um termistor para medir o ar circundante, ambos conectados a um controlador de 8 bits que produz um sinal digital serial no pino de dados.

Na ligação deste sensor é importante usar um resistor de 4,7k a 10kOhm ligando o pino de saída de dados ao pino de alimentação. A comunicação é simplificada de barramento único. Este sensor não requer condicionamento adicional de sinal, podendo ser diretamente conectado à placa de desenvolvimento conforme sua pinagem apresentada no quadro 7. É um sensor de fácil instalação, utilização, e de baixo custo.

Figura 19 - Sensor DHT22



Fonte: Aosong [2022?]

Quadro 6 - Dados técnicos sensor DHT22

Faixa umidade relativa	0 a 100%
Precisão na umidade	+/- 2% RH
Resolução de umidade	0,1% RH
Faixa de temperatura	-20 a 80°C
Precisão de temperatura	+/- 1% °C
Resolução de temperatura	0,1 °C
Consumo máximo de corrente	0,5 mA
Tempo de resposta	< 5 segundos
Alimentação	3,3V a 5V

Fonte: Adaptado de Aosong [2022?].

Quadro 7 - Pinagem sensor DHT22

VCC	3,3 a 5V
DATA	Comunicação de dados
NC	Sem conexão
GND	Terra

Fonte: Adaptado de Aosong [2022?].

3.4.4 Sensor de temperatura DS18B20

O sensor de temperatura e DS18B20 foi definido para utilização no protótipo, para fazer a leituras de temperatura da ração dentro do silo que será armazenada e a leitura da umidade que a ração apresenta dentro do silo.

O sensor DS18B20, mostrado na figura 20, fornece medição de temperatura Celsius até 12 bits e uma função de alarme programáveis pelo usuário, possui um código serial exclusivo de 64bits, sua comunicação é através de um barramento, e todos os dados e comandos são transmitidos pelo bit menos significativo deste barramento.

O barramento mestre serve para controlar um ou mais dispositivos escravos, sendo o DS18B20 sempre escravo, este sistema único é chamado de “single-drop” .Uma de suas

funcionalidades é poder derivar energia diretamente da linha de dados (energia parasita), abstraindo a necessidade de uma fonte de energia externa.

O sensor DS18B20 dispõe em seu corpo uma ponta em aço inox, conforme figura 21, também é um sensor a prova d'água, e seu cabo é revestido em material isolante, para que não sofra nenhum dano oriundo da umidade.

Figura 20 - Sensor DS18B20



Fonte: FILIPEFLOP [2022?]

Figura 21 - Ponta sensor DS18B20



Fonte: FILIPEFLOP [2022?]

Importante mencionar que apesar de medir até 125°C, a temperatura máxima recomendada é de 100°C, já que o cabo do sensor é revestido em PVC. O quadro 8 apresenta os dados técnicos e o quadro 9 a pinagem para ligação do sensor, sendo muito fácil sua utilização, apresenta uma grande confiabilidade e precisão.

Quadro 8 - Dados técnicos DS18B20

Tensão de operação	3 a 5,5V DC
Faixa de medição	-55°C a +125°C
Precisão	+5°C entre -10°C e +85°C
Dimensão ponta de aço	6x50mm
Dimensão cabo	100cm

Fonte: Adaptado de Maxim Integrated Products (2019).

Quadro 9 - Pinagem DSB18B20

VCC	Marrom
GND	Vermelho
SINAL	Laranja

Fonte: Adaptado de Maxim Integrated Products (2019).

Vale ressaltar que o quadro 9 apresenta dados do modelo do sensor estudado para esta aplicação, dependendo do modelo muda as cores dos cabos.

3.4.5 Sensor de temperatura Termopar tipo K

O sensor de temperatura Termopar tipo K foi definido para utilização *in-loco*, para fazer a leituras de temperatura da ração dentro do silo que será armazenada. O sensor Termopar tipo K mostrado na figura 22 é robusto e de baixo custo, a capacidade de medição pode ser aplicada em uma ampla faixa de temperatura variando de -200°C a 1200°C , sendo um dos sensores mais utilizados para diferentes aplicações.

O termopar tipo K apresenta uma faixa de utilização demonstrada no quadro 10, formado por Alumel como termoelemento negativo e Chormel como termoelemento positivo, possui sensibilidade de $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, dispõe revestimento de tranças de fio de amianto, tornando-se flexível, com resistência térmica, química e à tração. É recomendado para uso contínuo em atmosferas oxidantes ou completamente inertes e é mais resistente à oxidação em temperaturas altas do que os termopares tipos E, J e T.

Figura 22 - Sensor termopar tipo K



Fonte: Smart Kits [2022?]

Quadro 10 - Faixa de utilização e limites de erro termopar tipo K

Termopar	Nome do Termoelemento	Faixa de Utilização (°C)	Limite de erro	
			Padrão	Especial
Tipo K	(+) Chromel	-200 a 1.260	±2,2°C ou 0,75%	±1,1°C ou 0,4%
	(-) Alumel			

Fonte: Ecil [2022?]

3.4.6 Transmissor de umidade e temperatura HMT310

O transmissor de Umidade e temperatura HMT310 foi definido para utilização *in-loco*, com opção para fazer as leituras de temperatura e umidade que a ração apresenta dentro do silo. O HMT310 mostrado na figura 23 faz medições de umidade de 0 ... 100 % UR, e mede temperaturas numa faixa de até 180°C conforme mostrado na figura 24, é insensível a poeira e sujeira particulada, fácil de ser integrado no projeto por possuir seis modelos para aplicações industriais.

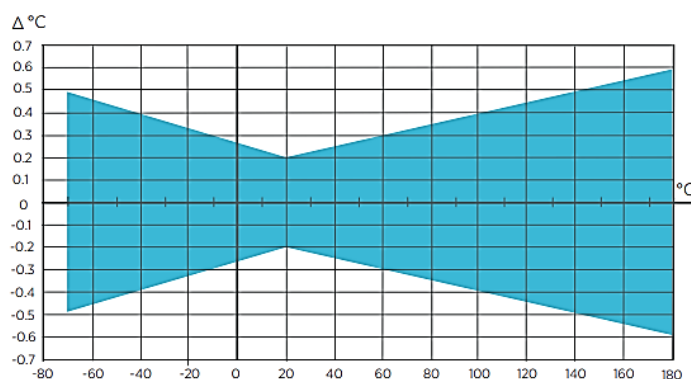
Figura 23 - Transmissor de umidade e temperatura HMT310



Fonte: Vaisala (2020).

O HMT310 conta com sensor Vaisala HUMICAP, sendo que, este sensor é capacitivo de polímero de película fina que fornece alta precisão, excelente estabilidade a longo prazo e histerese insignificante, apresenta várias saídas, e um conector. O HMT310 apresenta tensão de alimentação de 10 ... 35 V DC. Possui duas saídas analógicas e uma saída serial RS-232 em um conector M12 de 8 pinos. Os sinais da saída e da fonte de alimentação percorrem o mesmo cabo, que é o único cabo conectado à unidade. Alguns dos dados técnicos podem ser observados no quadro 11, ademais informações sobre modelos e outras especificações estão em seu *datasheet*.

Figura 24 - Precisão na faixa de temperatura



Fonte: Vaisala (2020).

Quadro 11 - Dados técnicos HMT310

Duas saídas analógicas	0 a 20mA ou 4 a 20mA 0 a 5v ou 0 a 10V DC
Precisão	+/- 0,05% da escala total
Tensão de operação	10 a 35V DC
Tempo de início depois da energização	3 s
Saída de RS-232	10V DC
Saída analógica	15V DC
Consumo energia RS-232	12mA
Consumo energia canal 1 e canal 2 de 10V	12mA
Faixa de medição umidade	0 a 100% UR
Faixa de medição temperatura	-70 a 180°C
Precisão temperatura	+/-0,2°C
Precisão umidade	+/- (1,5 + 0,015 x leitura) UR

Fonte: Adaptado de Vaisala (2020).

3.4.7 Sensor de gás MQ-02

O sensor de gás MQ-02, demonstrado na figura 25, foi definido para utilização no protótipo, para fazer o monitoramento de concentração de gás dentro do silo para segurança no acesso a este ambiente. Este sensor será útil para verificação da qualidade do ar, pois ele detecta gases tóxicos no ambiente que está instalado. A partir da detecção feita pelo sensor, o microcontrolador executa as ações determinadas pelo usuário, podendo detectar gases como metano, propano, butano, GLP, hidrogênio, e gás natural.

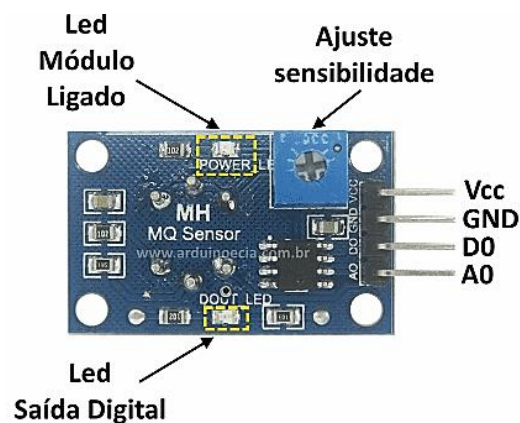
Figura 25 - Sensor de gás MQ-02



Fonte: Arduino e Cia (2015).

O MQ-02 é um módulo da família MQ, que são sensores de gás do tipo MOS (Metal Oxide Semiconductor), a sensibilidade deste sensor pode ser ajustada por um trimpot localizado atrás da placa, e quando algum gás ultrapassa o valor ajustado no trimpot a saída digital do sensor vai para nível alto, já para concentrações normais, a saída digital se mantém em nível baixo, este módulo contém uma saída analógica que permite fazer medições com alta precisão. Internamente o sensor tem uma resistência alimentada pelos pinos 5V e GND, sendo que quanto maior a concentração de gás, maior será a tensão de saída, e quanto menor for a concentração de gás, maior será a tensão na saída. Na figura 26 se observa a estrutura do sensor, onde o led do lado direito mostra se o sensor esta ligado ou não, o trimpot para ajuste de sensibilidade, e o led do lado esquerdo depende da sensibilidade ajustada, quando a concentração de gás tóxico passa do valor ajustado o led continua acesso.

Figura 26 - Estrutura do sensor MQ-02



Fonte: Arduino e Cia (2015).

Os pinos para ligar o sensor MQ-02, conforme a figura 26, apresentam o VCC que deve ser conectado ao pino 5V, o GND que deve ser conectado ao pino de aterramento, o DO fornece uma representação digital da presença de gases tóxicos, e o AO fornece tensão de saída analógica proporcional a concentração de gases tóxicos.

3.4.8 XZR200 analisador de oxigênio

O XZR200 Analisador de Oxigênio foi definido para utilização *in-loco*, para fazer o monitoramento de concentração de gás dentro do silo, garantindo a segurança no acesso ao ambiente. Este sensor será útil para verificação e monitoramento da qualidade do ar, pois ele detecta gases tóxicos no ambiente que está instalado, podendo medir o nível de porcentagem de oxigênio no ambiente instalado. A unidade pode ser configurada para medir 0-25% ou 0-100% de oxigênio, disponibilizando dois comprimentos de sonda para aplicação (210mm e 400mm), conforme mostrado na figura 27.

Figura 27 - XZR200 analisador de oxigênio



Fonte: MICHELL INSTRUMENTS BRASIL LTDA (2021).

O XZR200 contém interface de comunicação de 4-20mA e 0-10V DC ou RS232, conforme mostrado no quadro 12 de dados técnicos, também apresenta ciclos de saída lógica de 3.3V DC, permite o monitoramento direto do sensor de O₂ para fins de diagnóstico, composto por caixa de alumínio fundido IP65 e sonda de aço inoxidável.

Quadro 12 - Dados técnicos

Faixa de medição	0 a 25% ou 0 a 100%
Precisão (0-25%)	<0,5%
Precisão (0-100%)	<1%
Fonte de alimentação	24V DC
Consumo de energia	500mA
Saídas analógicas	4-20mA e 0-10V DC
Comunicação digital	RS232
Temperatura ambiente	-10 a +85°C
Dimensão da sonda	210 ou 400mm
Proteção invólucro	IP65

Fonte: Adaptado de Michell Instruments (2021).

3.4.9 Vibracall 1027

O vibracall 1027 foi definido para aplicação no protótipo como atuador de vibração, este atuador se faz necessário para nivelamento de ração dentro do silo, onde será instalado duas unidades nas laterais do silo para escoamento uniforme da ração. O motor de vibração vibracall 1027 apresentado na figura 28 irá emular o sistema de vibração do silo, sua tensão de operação é de 3V e seus dados técnicos estão apresentados no quadro 13.

Figura 28 - Vibracall 1027



Fonte: Casa Da Robótica [2022?].

Quadro 13 - Dados técnicos vibracall 1027

Tensão de operação	2,5V a 4V DC
Corrente de operação	90mA
Velocidade de rotação	9000 RPM
Comprimento do cabo	3cm
Dimensão total	40 x 10 x 3mm

Fonte: Adaptado de Casa Da Robótica [2022?].

3.4.10 Vibradores pneumáticos de esfera vibraball

O vibrador pneumático de esfera vibraball foi definido para aplicação *in-loco* como atuador de vibração, este atuador se faz necessário para nivelamento de ração dentro do silo, onde será instalado duas unidades nas laterais do silo para escoamento uniforme da ração. O vibraball utiliza ar comprimido para girar uma esfera de aço que produz uma força centrífuga resultando em vibração, quanto maior a esfera e maior a velocidade, maior será a força centrífuga. A montagem corretamente do Vibrall faz com que a vibração rotativa seja transferida através da parede do recipiente para o material armazenado dentro do silo, sendo este material deslocado devido a redução do atrito e permite por gravidade restaurar o fluxo de escoamento. A figura 29 exhibe seu formato e tamanhos.

Figura 29 - Vibradores pneumáticos de esfera vibracall



Fonte: Vibramax [2022?].

Os vibradores pneumáticos de esfera vibraball são eficientes com vibração de alta frequência chegando a (34000 vpm), tornando-se versátil para controlar força e a frequência, basta ajustar o suprimento de ar, operam a temperatura de até 120°C sem necessidade de lubrificação, o ar filtrado, opera 15-90 PSI . 1-20 CFM. O quadro 14 mostra os dados técnicos do vibrall.

Quadro 14 - Dados técnicos

Modelo	Frequência (vpm x 1000)					FC Máxima					Consumo de ar/min				
	2 bar	4 bar	6 bar	2 bar	29 psi	4 bar	58 psi	6 bar	87 psi	2 bar	29 psi	4 bar	58 psi	6 bar	87 psi
	29 psi	58 psi	87 psi	kg	lbs	kg	lbs	kg	lbs	L	CF	L	CF	L	CF
VB-10	22,5	28	34	25	26	47	106	71	160	92	3,2	150	5,3	200	7,1
VB-16	13	17	19,5	45	101	80	180	110	248	122	4,3	200	7,1	280	9,9
VT-25	9,2	12,2	14	93	209	157	353	205	461	160	5,6	290	10,2	425	15
VB-36	7,3	9	10	206	464	315	709	405	911	260	9,2	475	16,8	675	24

Fonte: Vibramax [2022?].

3.4.11 Válvula solenoide

A válvula solenóide Mola 3/2 Vias Rosca 1/4 24V DC foi definida para aplicação *in-loco*, esta válvula irá acionar o vibrador pneumático de esfera vibraball, a válvula pneumática com acionamento de solenoide, retorno por mola 3/2 vias, e rosca 1/4 com bobina 24V DC, ideal para acionamento de cilindro simples ação, com pressão de 2 a 10 bar, mostrada na figura 30 e dados técnicos no quadro 15, acionamento por solenóide, e retorno por mola.

Figura 30 - Válvula solenóide



Fonte: Versátil Automação [2022?].

Quadro 15 - Dados técnicos válvula solenoide

Entrada/saída	1/4" BSP
Escape rosca	1/4" BSP
Fluido ar filtrado	40 µm
Pressão máx	10 Bar - 150Psi
Temperaturas	5 ~ 50 °C
Calsse proteção bobina	IP 65
Tensão operação	12DC - 24DC - 110AC - 220AC
Valvula direcional	3/2 vias
Consumo energia	2,5W – 3W

Fonte: O autor (2022).

3.4.12 Módulo Máx6675

O Módulo Máx6675 será aplicado *in-loco*, sendo utilizado para conversor de tempo tipo K, no qual será responsável por amplificar e enviar digitalmente, via protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), a leitura do elemento sensor, já com o sinal tratado. O circuito integrado MAX6675 demonstrado na figura 31 possui operação restrita a faixa de temperatura de -20°C até +85°C, não podendo operar no mesmo local físico que o sensor. O quadro 16 mostra os dados técnicos para aplicação.

Figura 31 - Módulo Máx6675



Fonte: Filipeflop [2022?].

Quadro 16 - Dados técnicos módulo Máx6675

Tensão de operação	3 V e 5,5 V DC
Temperatura de operação do módulo	- 20 °C a + 85 °C
Dimensões do módulo:	32 mm x 15 mm x 14 mm
Comprimento do cabo:	45 cm
Chip	MAX6675

Fonte: Adaptado de FILIPEFLOP [2022?].

3.4.13 Módulo relé 2 canais com optoacoplador

O módulo relé 2 canais será utilizado na aplicação *in-loco*, para fazer a integração com o microcontrolador e acionar as solenoides das eletrovalvas, para o acionamento dos vibradores pneumáticos de esfera vibraball. Este módulo demonstrado na figura 32 possui dois canais para controlar até 2 relés, que permite a sua aplicação em 2 sistemas independentes, cada canal possui um led para indicar o estado de saída do relé, as cargas nominais deste módulo poderão ser 10A/250VAC, 10A/125VAC e 10A/30VDC.

Figura 32 - Módulo relé 2 canais com optoacoplador



Fonte: Eletrogate [2022?].

O módulo com 2 relés tem um circuito de controle através de acopladores ópticos, isolando as portas do microcontrolador, do circuito de acionamento dos relés. As portas de controle dos relés são os pinos IN1 e IN2, a alimentação do módulo tem que ser 5V (pino +5V) conforme mostrado no quadro 17, os pinos dos contatos dos relés são NA, COM e NF conforme demonstrado na figura 33.

Quadro 17 - Dados técnicos módulo relé

Tensão de operação	5V DC
Tensão de sinal	3.3V DC
Corrente de operação	15-20mA
Tempo de resposta	5-10ms
Carga nominal	10A/250VAC, 10A/125VAC, e 10A/30VDC
Saídas	NA - NF - COM
Corrente por canal	Até 10A
Canais	2
Indicador	Led de funcionamento
Dimensões	51mm x 38mm x 20mm

Fonte: Adaptado de Eletrogate [2022?].

Figura 33 - Pinagem módulo relé



Fonte: Eletrogate [2022?].

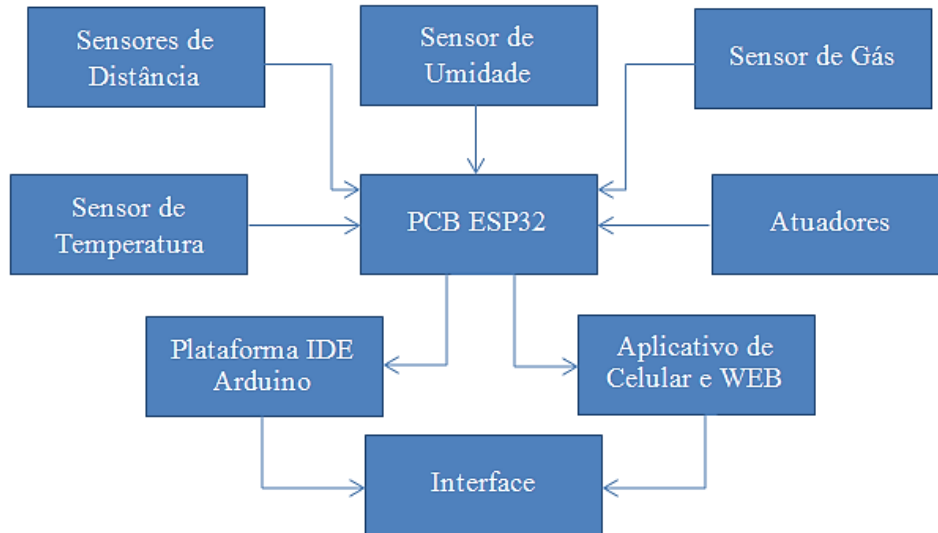
3.5 Interface

A interface será executada pelo módulo *Wi-Fi ESP32 Oled*, integrado em uma placa de circuito impresso desenvolvida no *software* Proteus e impressa em fresa de controle numérico computadorizado, para junção com os periféricos externos, uma vez que, para o desenvolvimento dos códigos será utilizada a plataforma IDE Arduino e para visualização das leituras iniciais dos sensores será utilizado o monitor serial da própria plataforma.

Ademais, será desenvolvido um aplicativo de celular criado no MIT App Inventor para leitura dos sensores via *Wi-Fi*, nos quais será desenvolvido a junção dos códigos na plataforma

IDE Arduino e MIT App Inventor para leitura de todos os sensores de forma simultânea em tempo real. A figura 34 demonstra a estrutura definida para aplicação no protótipo.

Figura 34 - Diagrama estrutura do projeto para o protótipo



Fonte: O autor (2022).

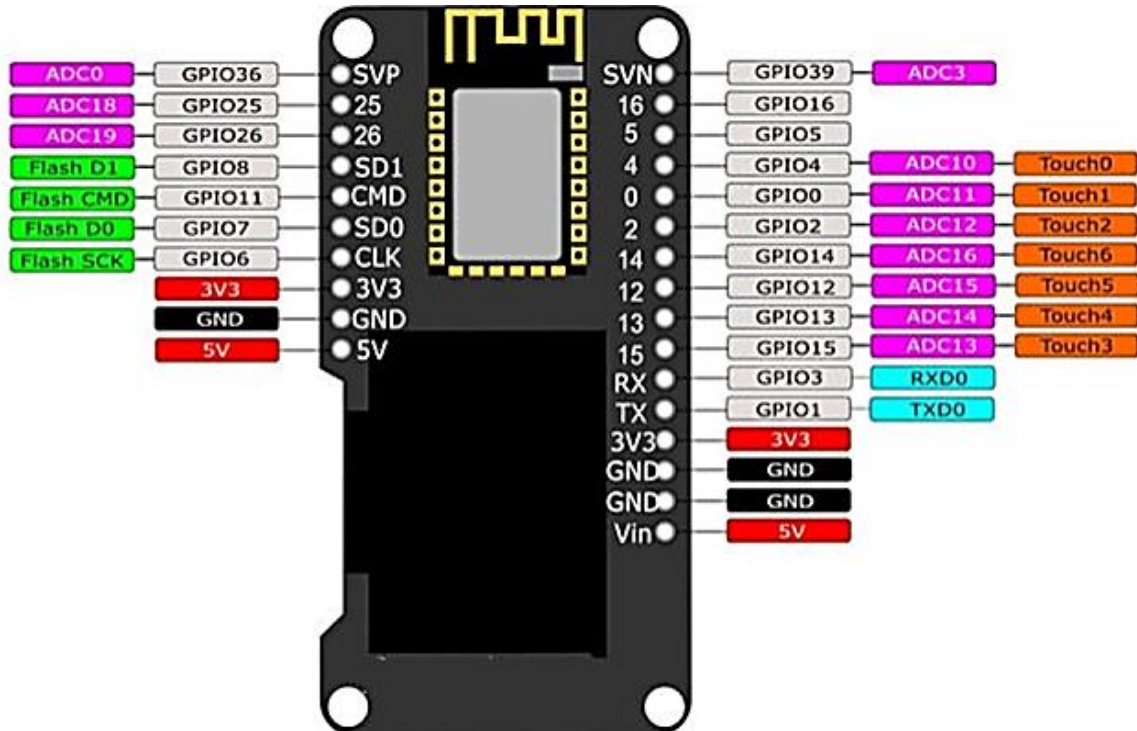
3.5.1 ESP32

Wemos Lolin é o nome do ESP32 representado na figura 35, em que a parte de cor preta é o display embutido com uma resolução de 128x64 pixels que se comunica com o ESP32 usando o protocolo de comunicação 12C, o *display* usa os pinos SDA-GPIO 5 e SCL-GPIO 4, ao lado do dispositivo fica toda a pinagem, e várias portas GPIO e portas touch.

O ESP32 demonstrado na figura 36 é muito eficiente, conforme mostra o quadro 18 com alguns de seus dados, possui conversor USB/Serial para realizar a conexão com o PC, conta com um cristal de 40MHz, conversor analógico digital com 12 bits de resolução, 2 DAC com 8bits de resolução, além de antena embutida, e um microprocessador dual core 32-bit LX6.

Este microcontrolador contém módulo wireless *Wi-Fi* e *bluetooth* 4.2, permite visualização de dados e gráficos, suporta upgrade remoto de *firmware*, uma plataforma completa de *hardware* e *software* voltada para prototipagem IoT (Internet das Coisas), apresentando um baixo consumo de energia.

Figura 35 - Wemos Lolin ESP32 OLED pinagem



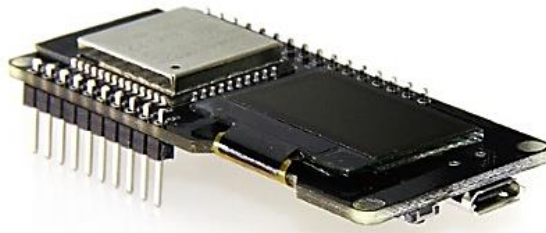
Fonte: Usinainfo Eletrônica E Robótica (2022).

Quadro 18 - Dados técnicos ESP32 Oled

CPU	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
ROM	448 KBytes
RAM	520 Kbytes
Flash	4 MB
Clock máximo	240MHz
Conexão <i>Wi-Fi</i> 2.4Ghz	Máximo de 150 Mbps
Display Oled embutido	Resolução de 128×64
<i>Bluetooth</i>	4.2
Portas GPIO	36 pinos (PWM, I2C e SPI)
ADC	18 canais (12 bits)
DAC	2 (8 bits)
Tensão de operação	2,2V - 3,6VDC
Corrente de operação	80mA
Nível lógico	3.3V
Ângulo de visão do display	>160 Graus
Cor escrita do display	Branca
Conversor	USB/Serial

Fonte: Adaptado de Filipeflop [2022?].

Figura 36 - Wemos Lolin ESP32 OLED

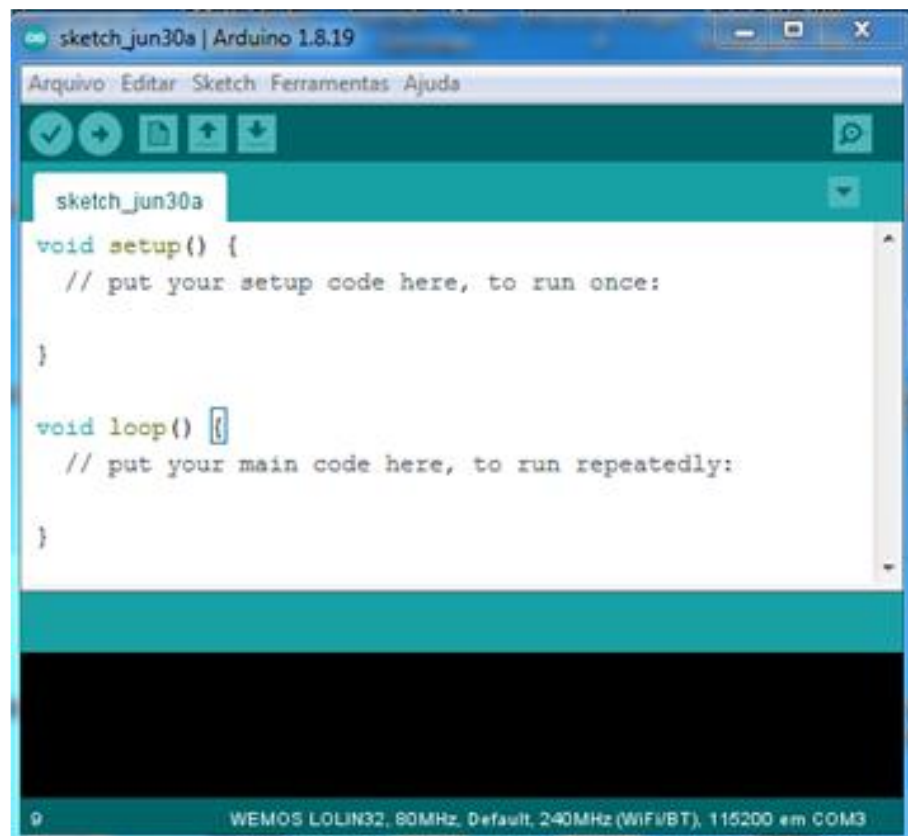


Fonte: Espressif Systems (2016).

3.5.2 Plataforma do Arduino IDE

A plataforma do Arduino IDE representada na figura 37, é um *software* em que serão desenvolvidos e registrados os códigos no ESP32, apresenta compatibilidade com quase todos os sistemas operacionais, muito versátil, mesmo quando o projeto apresentar algum problema ou um erro no código, será gerado uma notificação e irá elencar aonde pode estar o problema. O *software* apresenta um *layout* completo e de fácil navegação, em português.

Figura 37 - IDE Arduino

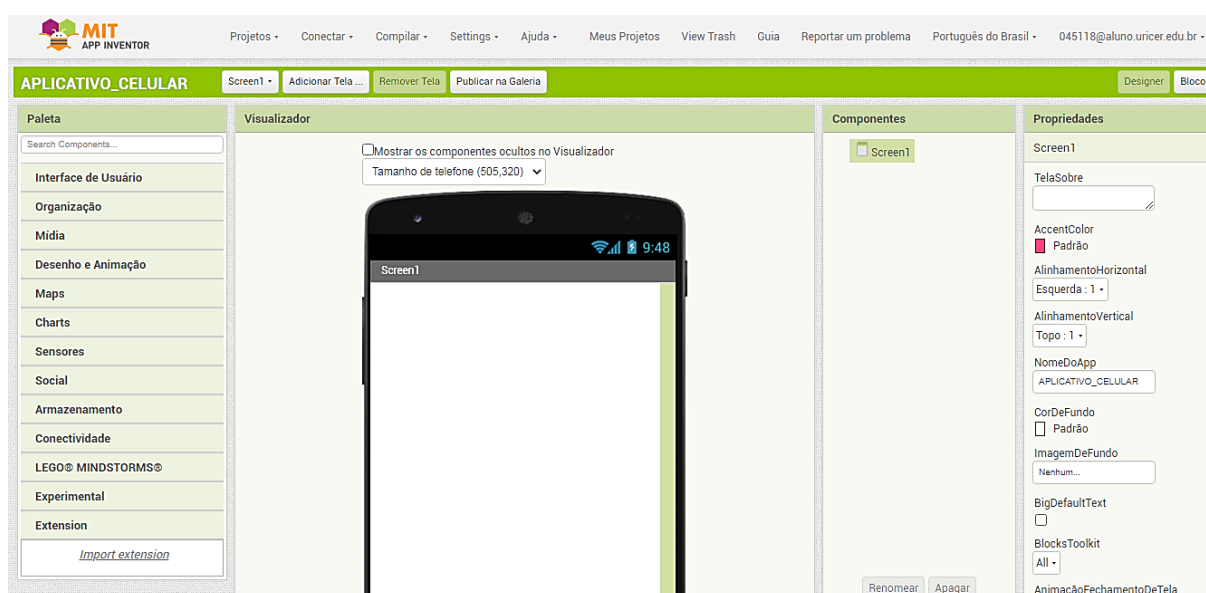


Fonte: O autor (2022).

3.5.3 Plataforma MIT App Inventor

A plataforma MIT App Inventor representada na figura 38, foi adotada para a elaboração da interface com o operador. O aplicativo é um *software* Web que permite desenvolver aplicativos Android usando um navegador da Web e um telefone ou emulador conectados. Também conhecido como App Inventor for Android, é uma aplicação de código aberto, voltada para o desenvolvimento de aplicativos para celulares, com sua programação baseada em blocos, *drag-and-drop* (arrastar e soltar) para a construção de aplicações móveis e de fácil programação para criação de aplicativos totalmente funcionais para dispositivos Android.

Figura 38 - APP Inventor Designer



Fonte: O autor (2022).

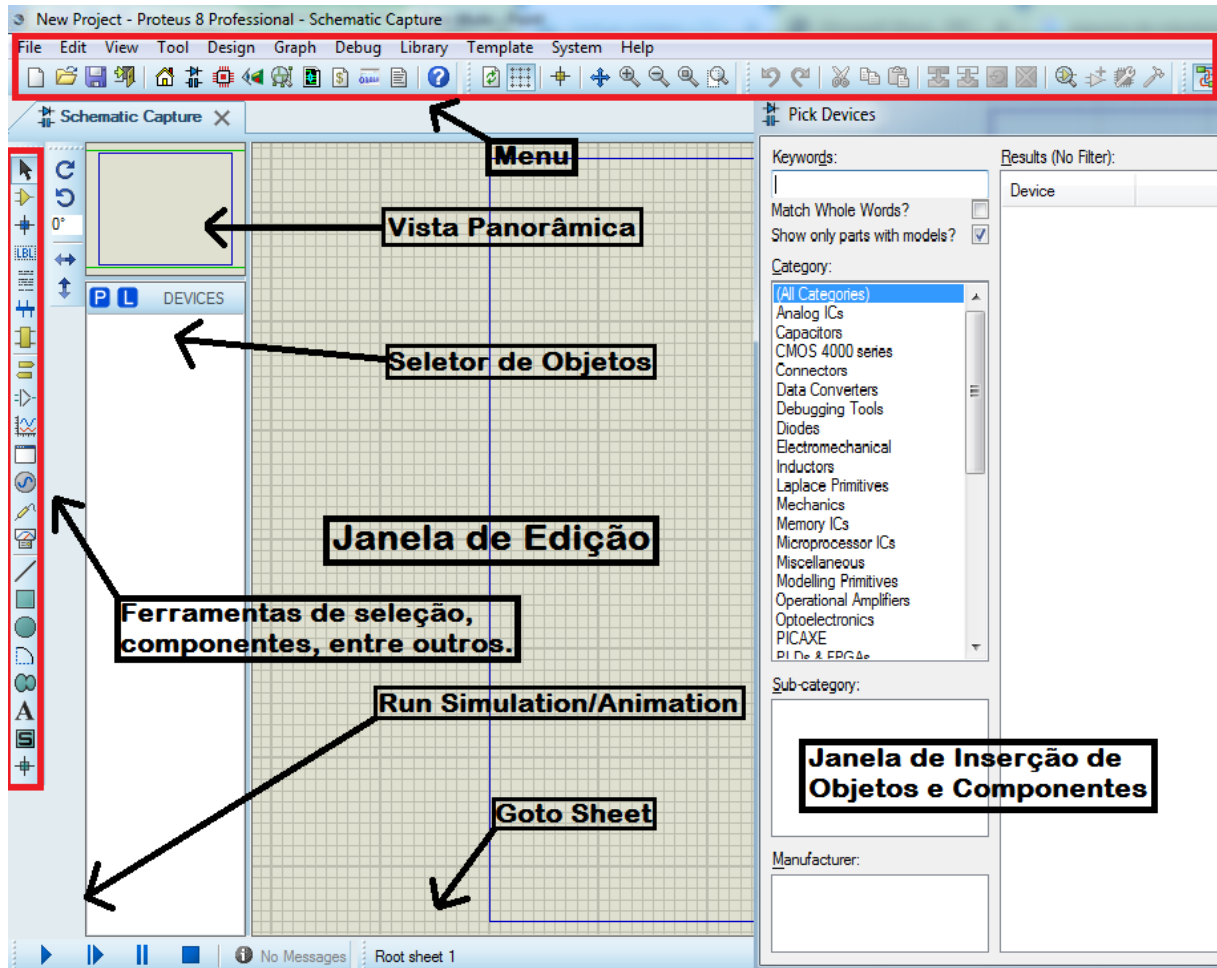
3.5.4 PCB sistema embarcado

Para a criação da placa de circuito impresso será utilizado o *software* PROTEUS, ilustrado na figura 39 – Interface Gráfica que tem capacidade de simular circuitos eletrônicos digitais e analógicos (ISIS), circuitos microcontrolados, possibilitando a montagem do esquemático e podendo executar o seu *firmware* com opções de Debug e acesso aos registradores do microcontrolador.

Além do mais, a criação do layout da placa de circuito impresso (ARES), com visualização da PCI em 3D, finalizando com a geração de arquivo para impressão Gerber e

Drill. Esse *software* permite criar um projeto do zero, desde os testes iniciais até o desenvolvimento final da PCB para uso.

Figura 39 - Interface gráfica

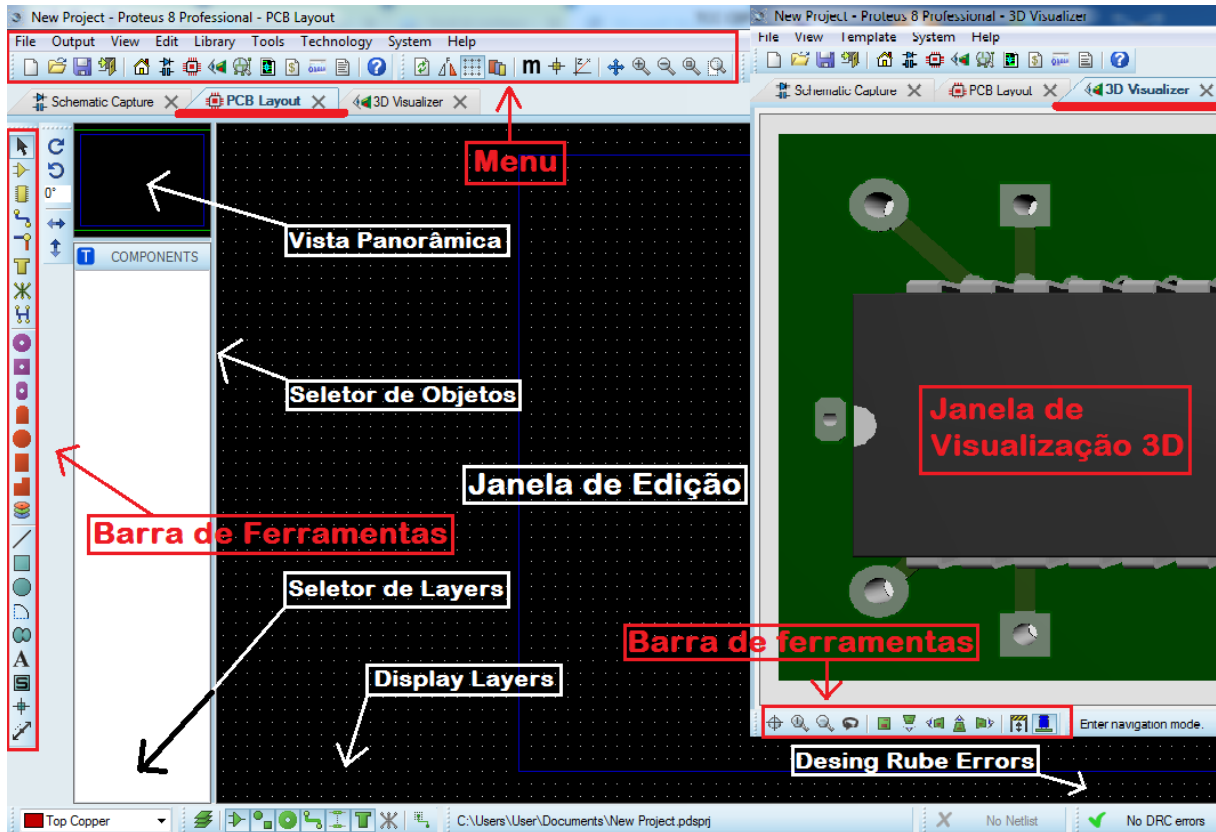


Fonte: O autor (2022).

Na barra de menu encontra-se as opções de abrir e salvar um novo projeto, ferramenta de zoom, retroceder uma etapa e alterar a folha de trabalho (fundo cinza, pontilhado ou quadriculado). Na janela de edição o grid pode ser desabilitado ou habilitado acessando o menu em view e selecionar o Grid.

Para abrir a janela de inserção de objetos e componentes basta ir no campo de seletor de objetos e clicar no P, já para abrir a interface gráfica do ARES na barra de menu clicar em PCB layout e para visualizar o encapsulamento em 3D clicar na barra de menu em 3D visualizer. A figura 40 – PCB Layout e 3D Visualizer demonstra as ilustrações para cada janela de edição.

Figura 40 - PCB Layout e 3D Visualizer



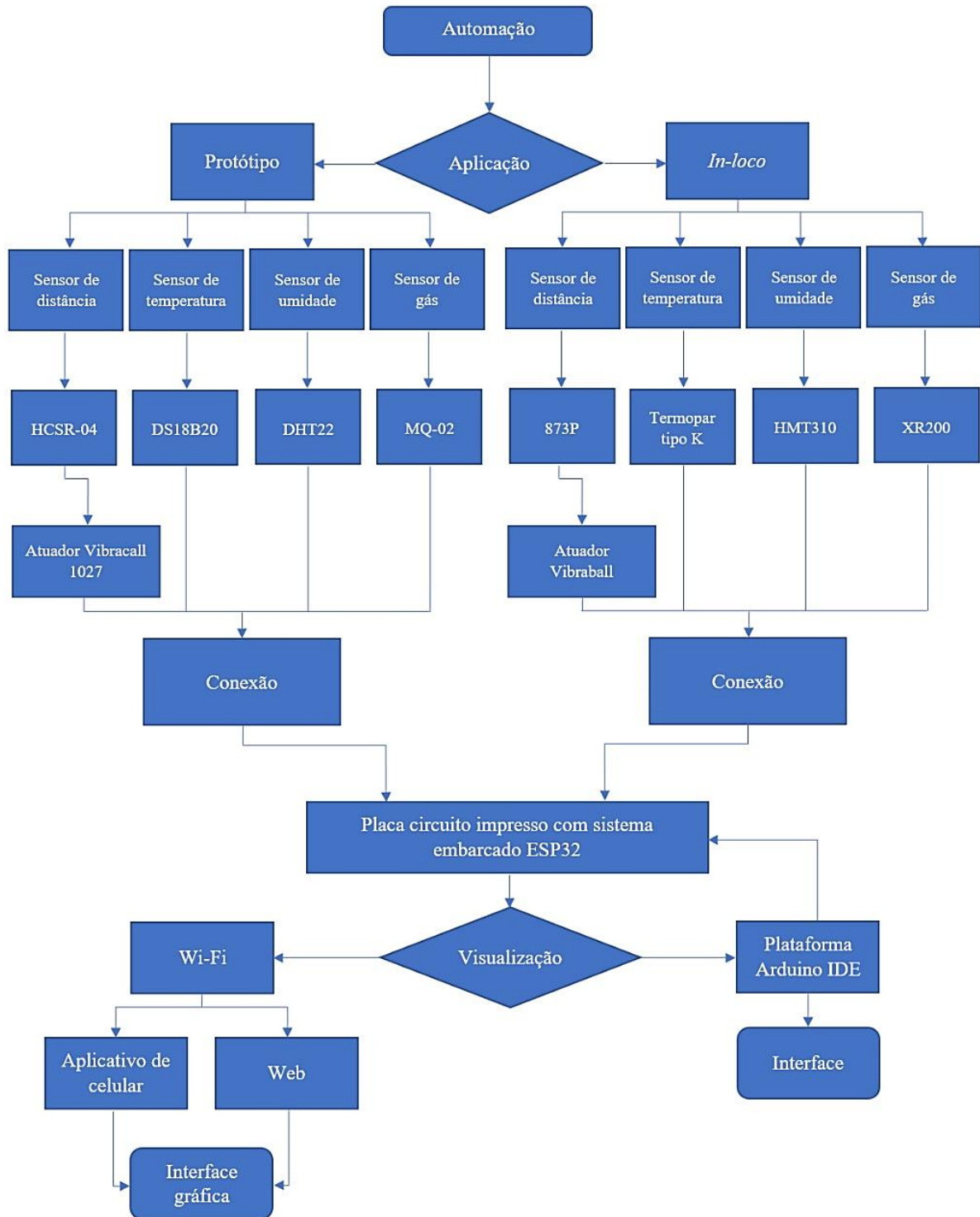
Fonte: O autor (2022).

Neste ambiente será desenvolvida o *layout* para a criação da PCB. Na tela do PCB Layout a interface gráfica do Ares segue o mesmo padrão da interface gráfica do ISIS, acrescentando o seletor de layers e display de layers. Para habilitar ou desabilitar a barra de ferramentas, ir em menu e clicar em view, aparecerá a opção Toolbar com estas possibilidades.

A barra de ferramentas demonstrada conta com Placing & Routing, Pad Placement e 2D Graphics. Na barra de menu também aparecem duas opções bastante usadas como Auto-Router e Desing Rule Manager.

Para continuidade deste trabalho visando o monitoramento das variáveis detectadas pelos sensores aplicados no protótipo ou *in-loco*, será promovida uma integração, mostrando oportuna a fabricação de uma placa de circuito impresso, objetivando a coleta de todos os dados, para que ocorram as leituras dos sensores em tempo real e que sejam transmitidas, resultando na visualização e tomada de decisões, proporcionando o aprimoramento desta automação. A figura 41 evidencia a estrutura final deste projeto.

Figura 41 - Estrutura final do projeto



Fonte: O autor (2022).

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados do desenvolvimento do projeto, a criação dos códigos na IDE do Arduino juntamente com os testes das leituras dos sensores no monitor serial e a junção dos códigos dos sensores com a conectividade *Wi-Fi*, a produção do aplicativo de celular com interface gráfica intuitiva e de fácil entendimento, além do mais, os códigos do aplicativo desenvolvido para que haja a conexão *Wi-Fi* com o microcontrolador e as leituras dos sensores no aplicativo.

A criação e a montagem da placa de circuito impresso para a conexão do ESP32 em junção com sensores em uma única placa. Realizado um orçamento dos materiais necessários para os testes com o protótipo e para futura instalação *in-loco*. A montagem do protótipo em escala reduzida, a instalação dos sensores no protótipo, e os testes de interface com o protótipo validando a eficiência do projeto.

4.1 Orçamento

Para desenvolvimento do projeto foram orçados os seguintes materiais na tabela 2.

Tabela 2 - Materiais x Custo

Materiais para o projeto	Quant.	Protótipo		In-loco
Sensor HC-SR04 (Protótipo)	2	R\$	57,35	
Sensor MQ-02 (Protótipo)	1	R\$	55,63	
Sensor DHT22 (Protótipo)	1	R\$	103,37	
Sensor DS18B20 (Protótipo)	1	R\$	59,57	
Sensor Ultrassônico 873P (<i>in-loco</i>)	1			R\$ 4.900,00
Sensor XZR200 (<i>in-loco</i>)	1			R\$ 7.000,00
Sensor HMT310 (<i>in-loco</i>)	1			R\$ 6.000,00
Atuador vibracall 1027 (Protótipo)	2	R\$	87,54	
Vibrador pneumático de esfera vibraball (<i>in-loco</i>)	2			R\$ 693,00
ESP32 OLED (Protótipo e <i>in-loco</i>)	1	R\$	156,46	R\$ 156,46
Válvula pneumática solenoide 3/2 vias (<i>in-loco</i>)	2			R\$ 239,00
Módulo relé 2 canais 5v com optoacoplador (<i>in-loco</i>)	1			R\$ 53,65
Módulo Máx6675 (<i>in-loco</i>)	1			R\$ 59,68
Termopar Tipo K (<i>in-loco</i>)	1			R\$ 177,00
Protótipo Escala Reduzida (Protótipo)	1	R\$	500,00	
Prontboard (Protótipo)	1	R\$	126,00	
Outros (Protótipo e <i>in-loco</i>)	1	R\$	300,00	R\$ 300,00
TOTAL		R\$	1.445,92	R\$ 19.578,79

Fonte: O autor (2022).

Dentre os valores pesquisados para o desenvolvimento e testes, os materiais necessários para aplicação do protótipo terá um investimento no valor de aproximadamente R\$ 1.445,92 e os materiais necessários para aplicação real do projeto seria necessário investir um valor de aproximadamente R\$ 19.578,79.

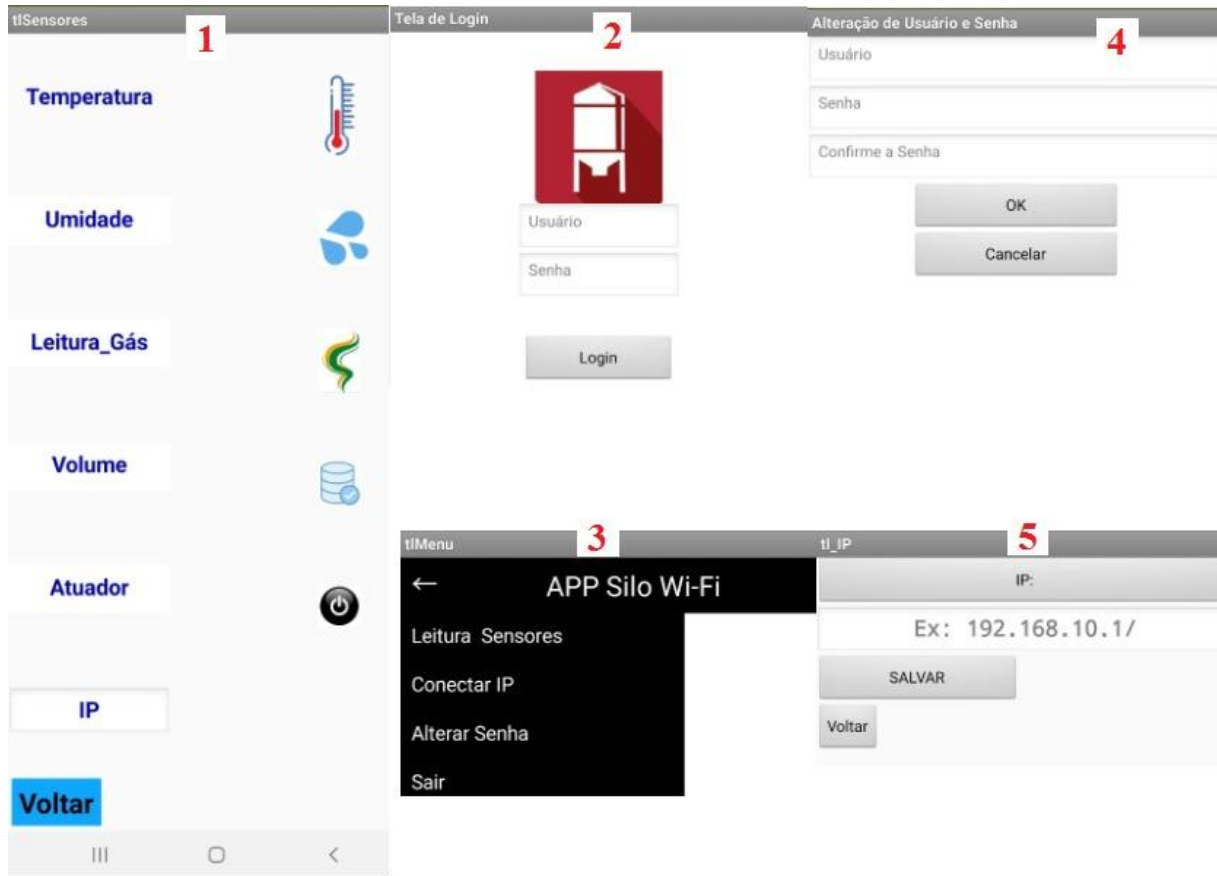
4.2 Aplicativo de celular

Para agregar ao projeto, foi desenvolvido um aplicativo de celular para visualização e monitoramento das leituras dos sensores via *Wi-Fi*. O aplicativo foi criado através de um *software web* chamado MIT App Inventor, no qual, inicialmente, foram desenvolvidas as telas do aplicativo, na qual foram montadas arrastando os componentes da paleta para o visualizador conforme ia ser desenvolvida cada tela do aplicativo.

Começou-se a desenvolver a tela inicial para acesso ao aplicativo com usuário e senha, em seguida foi criada uma tela para alteração de usuário e senha, possibilitando a troca desses dados, na sequência foi criada a tela dos sensores, para a visualização das leituras dos sensores via *Wi-Fi*, por conseguinte, criada a tela de conexão do IP da rede, e, por último, criado a tela de menu para organizar e pôr em lista as outras telas descritas a cima, dando a opção de escolha ao usuário.

Por fim, foram desenvolvidos os códigos para funcionamento de cada tela elaborada, estes códigos são criados com a junção dos conjuntos de blocos, arrastando e encaixando um bloco no outro, montando assim a lógica de cada tela desenvolvida. A figura 42 – Telas App demonstra as telas do aplicativo citadas acima.

Figura 42 - Telas App



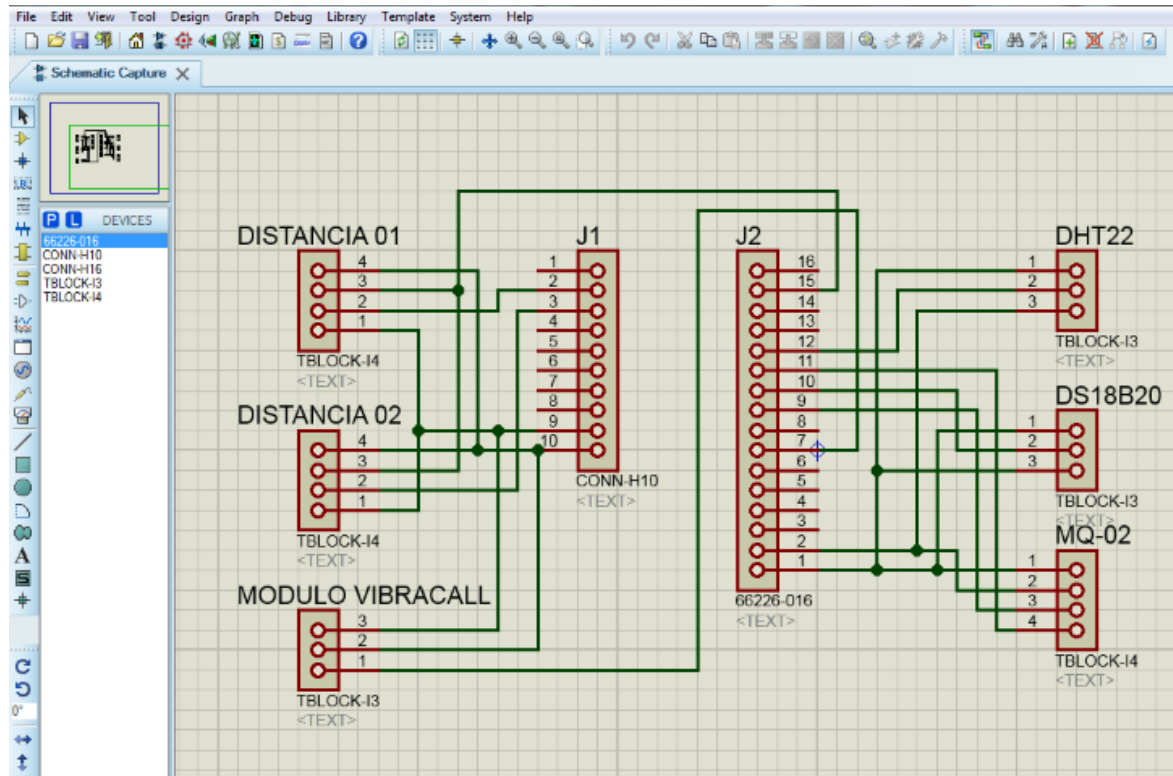
Fonte: O autor (2022).

Na figura 42 acima, representado com o número 1 a tela do sensores, o número 2 a tela de login, o número 3 a tela menu, o número 4 a tela alteração de usuário e senha, e o número 5 a tela IP.

4.3 PCB

Para o desenvolvimento da placa de circuito impresso no *software* Protheus, iniciou-se a montagem do circuito eletrônico na janela de edição da interface gráfica da tela Schematic Capture, no qual o circuito eletrônico foi montado com conectores para saída aos seis sensores mais o ESP32 conforme demonstra a figura 43 – Montagem Circuito Eletrônico.

Figura 43 - Montagem Circuito Eletrônico

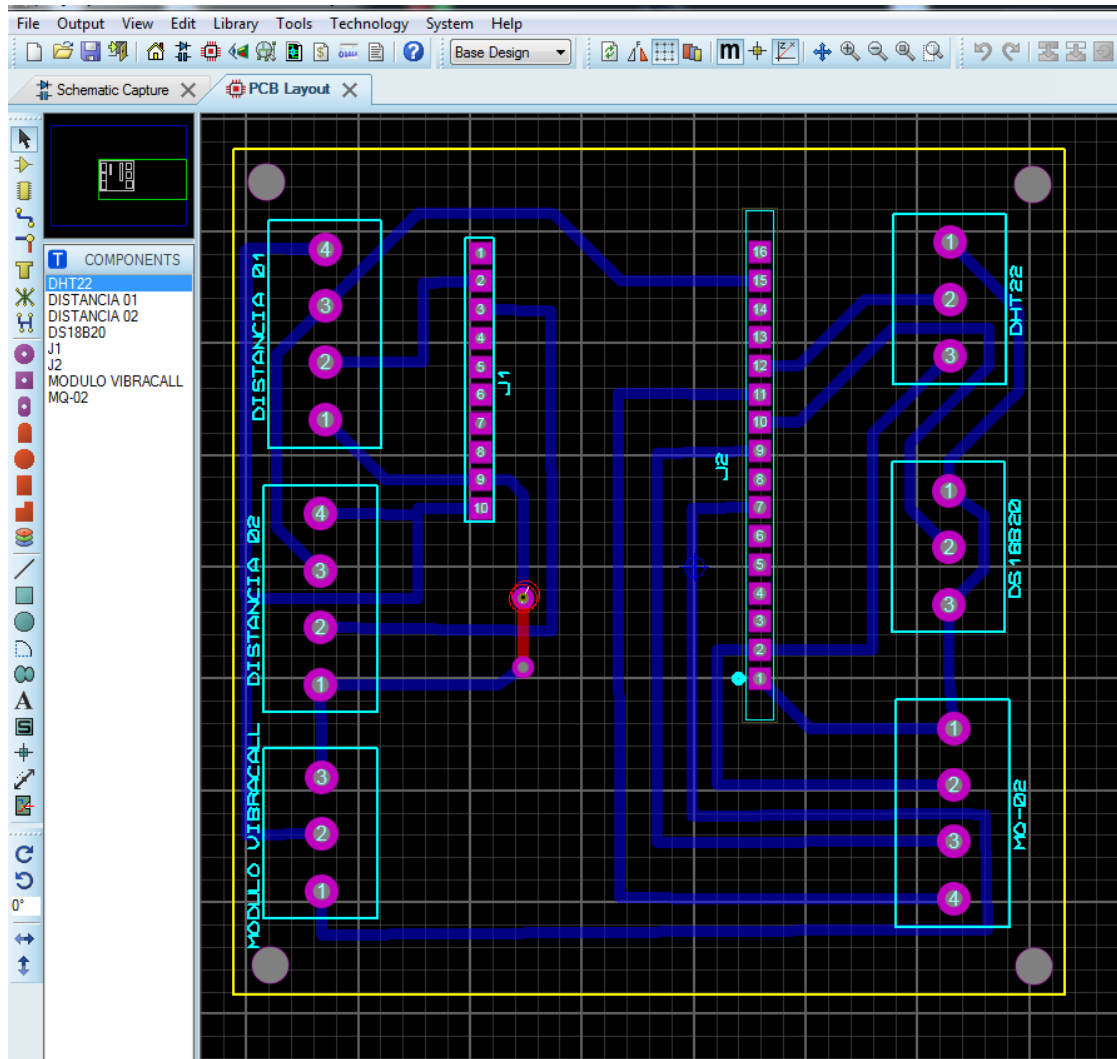


Fonte: O autor (2022).

Após a montagem do circuito eletrônico, começou na tela de PCB Layout a montagem e organização dos componentes na placa, na barra de ferramentas em 2D Graphics Box Mode foi definido o tamanho que será a placa, em Dimension mode verificou-se se o tamanho desejado está certo, na janela de edição clicando com o botão direito na linha da placa em change layer foi selecionado Board Edge.

Em Auto Placer selecionou-se todos os componentes para a placa e os organizou. Na barra de menu, em Desing Rule Manager selecionou-se Net Classes para dimensionar a largura das trilhas e após clicar em Auto-Router foi selecionado Begin Routing para criação das trilhas em automático, depois foi organizado as trilhas e os compenetes na placa conforme demonstra a figura 44 – PCB Layout.

Figura 44 - PCB Layout

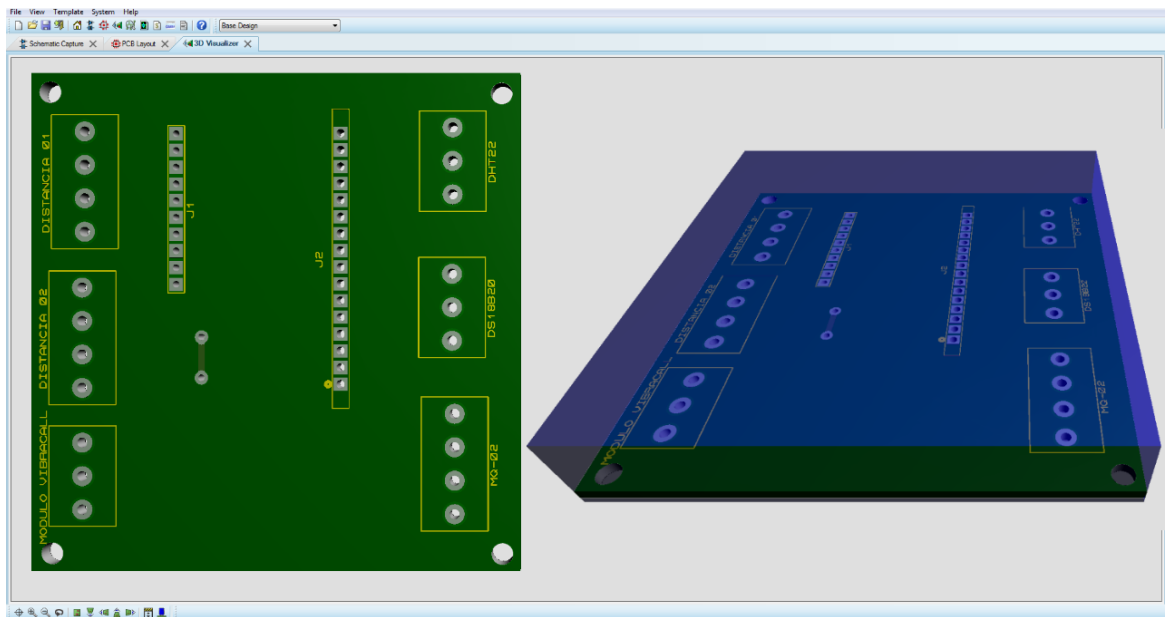


Fonte: O autor (2022).

Posteriormente, para melhor visualização antes da impressão da placa na tela 3D Visualizer, foram verificados os detalhes de como está alocado os componentes na placa conforme demonstra a figura 45 – Visualização 3D PCB, e após a verificação está pronta para impressão na fresa desenvolvida na uri conforme figura 46 – Impressão PCB Fresa CNC.

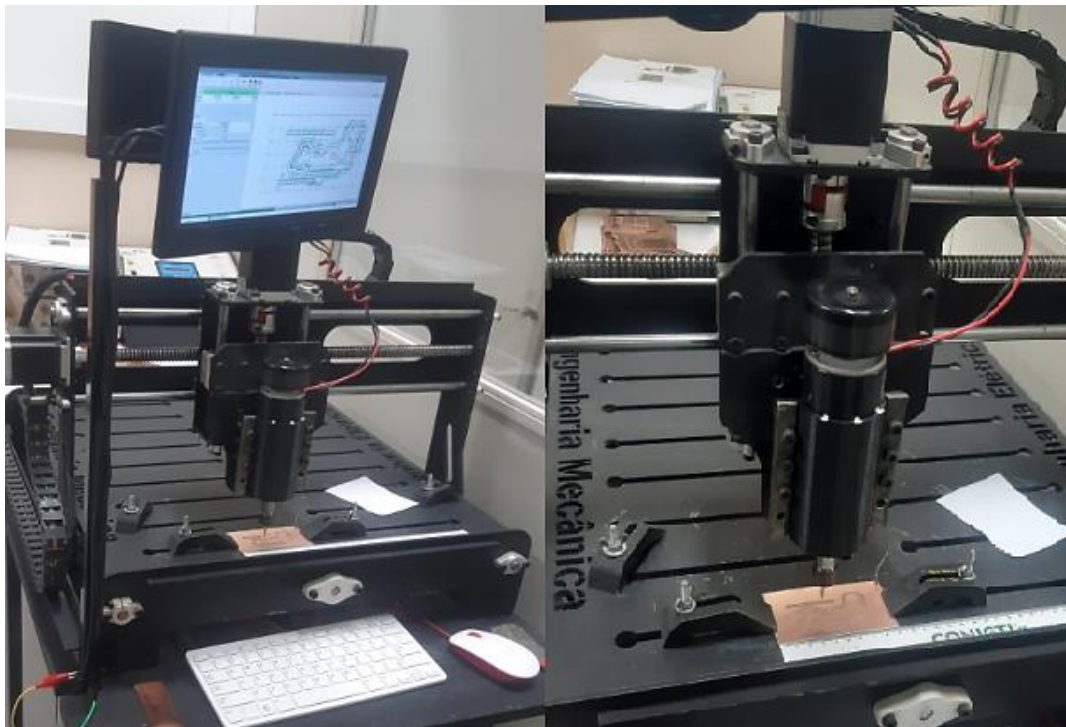
A impressão feita nesta fresa de controle numérico computadorizado, deixando o trabalho profissional, pois se tem qualidade na impressão das trilhas na placa e melhor visual para inserção dos componentes, na qual, utilizou-se uma placa de fenolite para impressão da fresa CNC a partir do código Gerber e Drill criado no Proteus. Finalizando, depois de impressa a placa com a montagem e soldagem dos componentes na placa, conforme demonstra a figura 47 – Placa Finalizada, para que assim, todos os sensores fiquem unidos em uma única placa com o sistema embarcado.

Figura 45 - Visualização 3D PCB



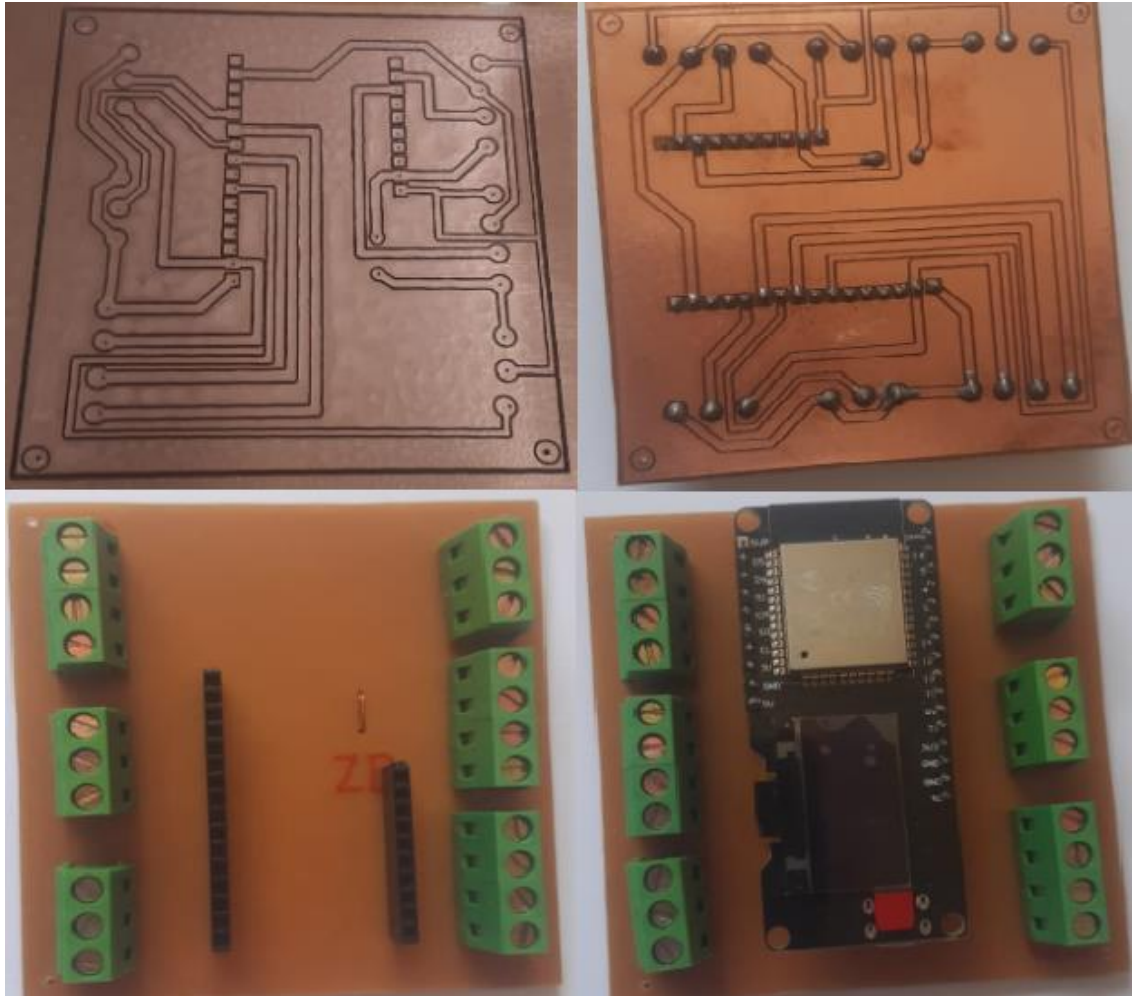
Fonte: O autor (2022).

Figura 46 - Impressão PCB Fresa CNC



Fonte: O autor (2022).

Figura 47 - Placa finalizada

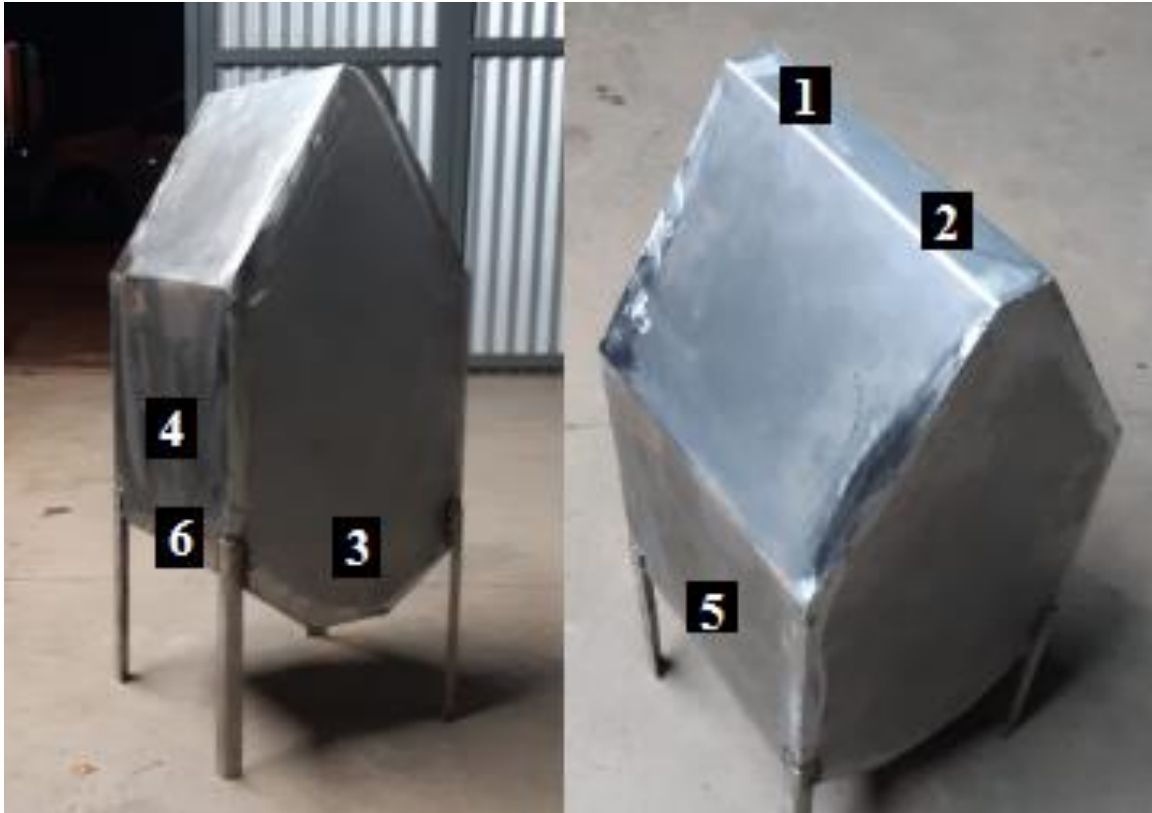


Fonte: O autor (2022).

4.4 Protótipo

Nesta etapa foi realizado a montagem do protótipo de escala reduzida para instalar os sensores que serão testados na validação da interface desenvolvida na sequência deste trabalho. O protótipo foi desenvolvido conforme o levantamento das dimensões do silo e produzido em escala de 1:10 com chapas de aço galvanizado 0,75mm moldadas a sua forma real, conforme demonstra a figura 48 – Montagem Protótipo, no qual esta parcialmente pronto para instalação dos sensores nos locais definidos.

Figura 48 - Montagem protótipo



Fonte: O autor (2022).

Na figura 48 foram definidos os locais que serão instalados os sensores, nos números 1 e 2 serão instalados os sensores ultrassônicos HCSR-04, o número 3 será instalado o sensor de gás MQ-02, o número 4 será instalado o sensor de temperatura DS18B20, o número 5 será instalado o sensor de umidade DHT22, e o número 6 será instalado o atuador vibracall 1027 de ambos os lados do silo. Por fim, realizado a pintura do protótipo, a instalação dos sensores nos locais definidos, e a instalação da PCB com sistema embarcado, conforme demonstra a figura 49 – Protótipo Finalizado.

Figura 49 - Protótipo finalizado



Fonte: O autor (2022).

Na figura 49 os locais definidos nos números foram instalados os sensores, nos números 1 e 2 estão os sensores ultrassônicos HCSR-04, o número 3 está instalado o sensor de gás MQ-02, o número 4 está instalado o sensor de temperatura DS18B20, o número 5 está instalado o sensor de umidade DHT22, e o números 6 está instalado o atuador vibracall 1027 em ambos os lados.

4.5 Validação interface x protótipo

Para validação da interface com o protótipo, foram realizados os testes dos sensores instalados nos locais definidos no protótipo, fazendo as leituras das variáveis conforme é colocado ração dentro do silo, na qual, estas variáveis estão sendo monitoradas em tempo real através do sistema embarcado via *Wi-Fi* pelo aplicativo de celular e *Web*, conforme demonstra

a figura 50 – Protótipo x Interface, validando e comprovando a eficiência do projeto desenvolvido de automação e controle de silo aplicando internet das coisas.

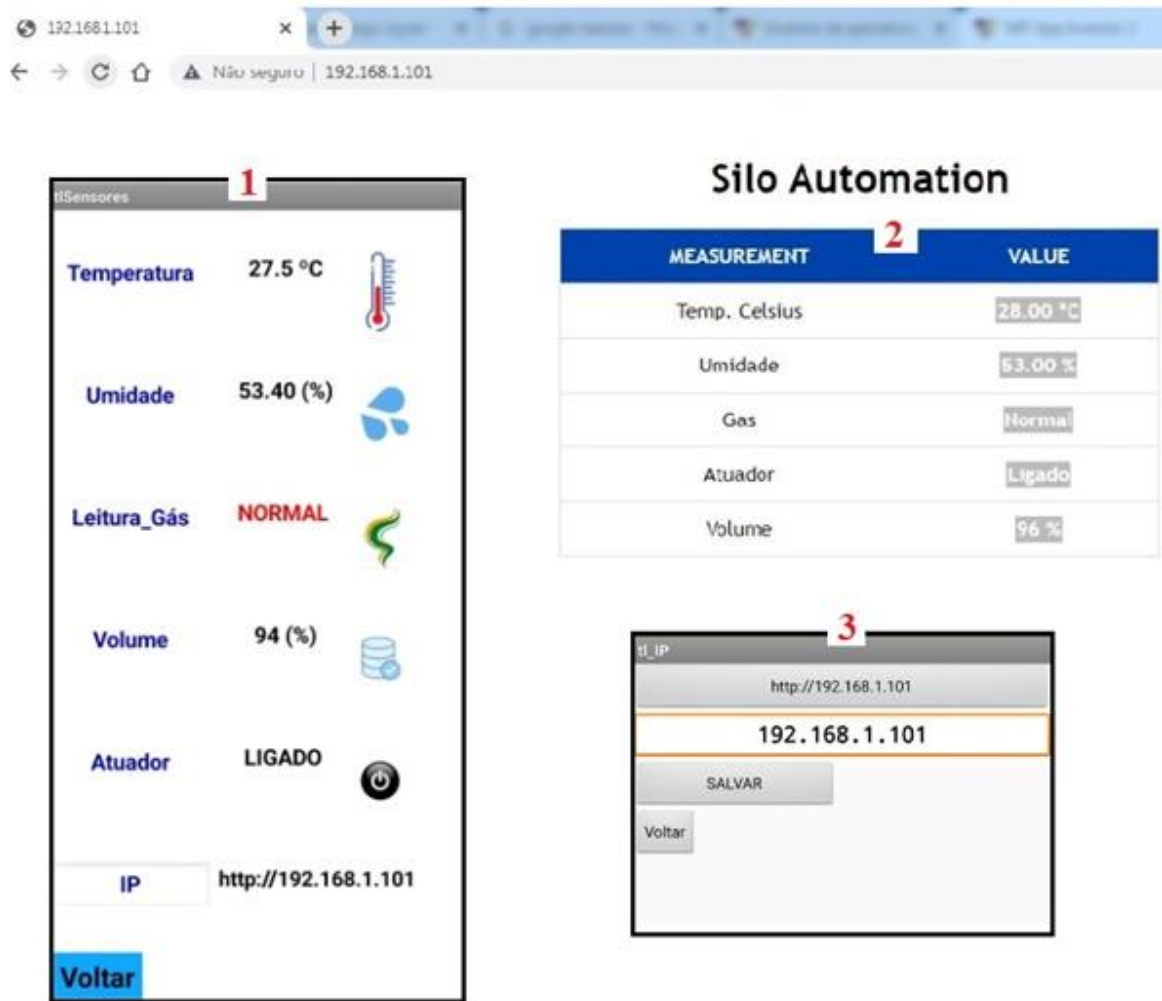
Figura 50 - Protótipo x Interface



Fonte: O autor (2022).

Na figura 50 está demonstrado a realização do teste do protótipo no momento em que o silo está com ração dentro, no qual a automação desenvolvida mostra-se eficiente, porque os sensores estão funcionando de forma simultânea, o sistema embarcado está coletando as informações dos sensores e enviando via *Wi-Fi* para o aplicativo de celular e Web, que monitora em tempo real as alterações das leituras dos sensores, conforme demonstra a figura 51 Interface x Protótipo

Figura 51 - Interface x Protótipo



Fonte: O autor (2022).

A figura 51, representada com o número 1 é a tela do App com as leituras dos sensores e o IP conectado, o número 2 demonstra a página Web com as leituras dos sensores e o número 3 a tela do IP selecionado e salvo para esta ambiência.

5 CONCLUSÃO

O trabalho exposto propôs o estudo e desenvolvimento para automação de silos de ração, embasado na revisão da literatura.

O estudo do projeto iniciou com a coleta de informações in-loco do processo a ser automatizado, realizando um levantamento das dimensões do silo para dimensionamento dos sensores e construção do protótipo de escala reduzida.

Em seguida, foram definidas as variáveis a serem monitoradas e os tipos dos sensores e suas características adequados ao cenário de aplicação, considerando sensores e atuadores para testes em protótipo e para futura aplicação real.

Logo após, definiu-se a interface eletrônica microcontrolada, para que o sistema embarcado em conjunto com a plataforma de desenvolvimento dos códigos, resultasse na interface com o microcontrolador, objetivando a visualização das leituras dos sensores e atuadores no monitor serial da IDE Arduino.

Posteriormente, iniciou-se o desenvolvimento do aplicativo de celular com interface gráfica, para monitoramento em tempo real das leituras dos sensores de forma simultânea via Wi-Fi, através do sistema embarcado instalado em placa de circuito impresso desenvolvida para junção do microcontrolador com os sensores e atuadores.

Por fim, foram realizados os testes de interface com o protótipo, depositando ração dentro do silo e monitorando as leituras das variáveis pelos sensores, através da interface do sistema embarcado via *Wi-Fi* com aplicativo de celular e *Web* em tempo real, validando e comprovando a eficiência do projeto desenvolvido de automação e controle de silo aplicando internet das coisas.

Nesta aplicação, os dois sensores ultrassônicos instalados verificam a variação de altura da ração e demonstram em porcentagem qual a quantidade de ração que há dentro do silo, sendo que, se a variação de altura passar dos 500mm, aciona-se os atuadores vibracall 1027, para que a ração fique homogênea no silo. O sensor de gás quando detectar níveis de gases prejudiciais a saúde humana, irá atuar e aparecerá perigo no App.

Diante das testagens e estudos realizados é notória a capacidade de melhoria no controle e monitoramento do processo de armazenamento de ração, empregando uma automação eficiente que resultará no melhor desempenho operacional e na qualidade final do produto armazenado.

A aplicação de um sistema de instrumentação que proporcionará um panorama de produção instantâneo, impede situações em que o operador desconheça a quantidade de ração

dentro do silo, melhorando a qualidade da estocagem por reconhecer as variáveis internas, como temperatura, umidade, gás e distância.

Além disso, possibilita a promoção de segurança para o ser humano no acesso ao silo pelo controle do monitoramento de gases, agilizando e flexibilizando a produção pela interface homem-máquina para tomada de decisões e possibilitando a redução de custos, a prevenção de riscos e de transtornos do processo produtivo.

Ademais, alcançados resultados satisfatórios para esta pesquisa e constatada a importância para o segmento industrial, propõe-se ainda um aprimoramento a continuidade deste estudo para o desenvolvimento de um projeto com implantação de células de carga em cada silo de ração, havendo a necessidade de modificar a estrutura do silo.

Desta forma, para que haja além do monitoramento das variáveis e a verificação da porcentagem de ração dentro do silo, um controle de quantos kilos de ração há dentro de cada silo, facilitando ainda mais a programação e a expedição da ração.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE. **Cai o abate de frangos e cresce o de bovinos e suínos no 1º trimestre de 2022**. [S. l.]: Agência de Notícias IBGE, 2022a. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/33994-cai-o-abate-de-frangos-e-cresce-o-de-bovinos-e-suinos-no-1-trimestre-de-2022>. Acesso em: 27 mai. 2022.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE. **No 3º trimestre, abate de suínos é recorde da série histórica**. [S. l.]: Agência de Notícias IBGE, 2022b. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32467-no-3-trimestre-abate-de-suinos-e-recorde-da-serie-historica>. Acesso em: 27 mai. 2022.

ALEGRIA, F. A. C. **Sensores e atuadores**. Lisboa: IST Press, 2021. Disponível em: <https://www.fnac.pt/Sensores-e-Atuadores-Francisco-A-C-Alegria/a8543685>. Acesso em: 08 jul. 2022.

ALMEIDA, R. M. A.; MORAES, C. H. V.; SERAPHIM, T. F. P. **Programação de sistemas embarcados: desenvolvendo software para microcontroladores em linguagem C**. 1 ed. Rio de Janeiro (Município): Grupo GEN, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595156371/>. Acesso em: 02 jul. 2022.

AOSONG ELECTRONICS. **Temperature and humidity module: AM2302 product manual**. Guangzhou: Aosong, [2022?]. Disponível em: https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_DHT22_AM2302.pdf. Acesso em: 02 jul. 2022.

ARDUINO E CIA. **Alarme sensor de gás com o módulo MQ-2**. [S. l.]: Arduino, 2015. Disponível em: <https://www.arduinoecia.com.br/alarme-sensor-de-gas-modulo-mq-2/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS (ABCS). **Manual brasileiro de boas práticas agropecuárias na produção de suínos**. 1 ed. Brasília: ABCS; Brasília: MAPA, Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. Disponível em: <https://abcs.org.br/wp-content/uploads/2021/02/MANUAL-BRASILEIRO-DE-BOAS-PRATICAS-AGROPECUARIAS-NA-PRODUCAO-DE-SUINOS.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS (ABCS). **Produção de suínos: teoria e prática**. 1 ed. Brasília: ABCS, 2014. Disponível em: http://www.abcs.org.br/images/pdf/livro_producao_bloq.pdf. Acesso em: 28 mai. 2022.

BARROS, E.; CAVALCANTE, S. **Introdução aos sistemas embarcados**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2010. Disponível em: <https://www.cin.ufpe.br/~vba/periodos/8th/s.e/aulas/STP%20-%20Intro%20Sist%20Embarcados.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2022.

BRITO, Fábio. **Sensores e atuadores**. 1 ed. São Paulo (Município): Érica; São Paulo (Município): Editora Saraiva, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536531953/>. Acesso em: 15 jun. 2022.

BRITO, Samuel Henrique Bucke. **IPv6: o novo protocolo da internet**. São Paulo (Município): Novatec Editora, 2013. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=1hlQAwAAQBAJ&lpg=PA145&hl=pt-BR&pg=PA145#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 16 jun. 2022.

CAMARGO, V. L. A. **Elementos de automação**. 1 ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518411/>. Acesso em: 09 jul. 2022.

CASA DA ROBÓTICA. **2x motor de vibração vibracall 1027 3v**. Vitória da Conquista: Casa da Robótica, [2022?]. Disponível em: <https://www.casadarobotica.com/robotica/atuadores/motores-dc/2x-motor-de-vibracao-vibracall-1027-3v?parceiro=3259>. Acesso em: 18 jun. 2022.

CERQUEIRA, M. V. B. *et. al.* **Sistemas Operacionais Embarcados**. Porto Alegre: Grupo A, 2021. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556902616/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

CHASE, O.. **Sistemas embarcados**. [S. l.]: SBA Jovem, 2007. Disponível em: http://www.maxpezzin.com.br/aulas/6_EAC_Sistemas_Embarcados/1_SE_Introducao.pdf. Acesso em: 01 jul. 2022.

COUTINHO, L. **A terceira revolução industrial e tecnológica: as grandes tendências das mudanças**. Campinas: Economia e Sociedade, 2016, v. 1, n. 1, p. 69–87. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8643306>. Acesso em: 9 jun. 2022.

ECIL. **Termopares Tipo K**. [S. l.]: Ecil, [2022?]. Disponível em: <https://ecil.com.br/pirometria-2/termopares/termopar-tipo-k/>. Acesso em: 25 jun. 2022.

ELETROGATE. **Módulo relé 2 canais 5V com optoacoplador**. [S. l.]: Eletrogate, [2022?]. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-rele-2-canais-5v>. Acesso em: 18 jun. 2022.

ELETROGATE. **Módulo com 2 relés**. [S. l.]: Eletrogate, 2022. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-rele-2-canais-5v>. Acesso em: 18 jun. 2022.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Sonho, desafio e tecnologia: 35 anos de contribuições da Embrapa Suínos e Aves**. 1 ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105259/1/publicacao-1z33f2s.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2022.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP 32 datasheet**. [S. l.]: Espressif Systems, 2016, v. 1. Disponível em: https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_ESP8266_esp32_en.pdf. Acesso em: 04 mai. 2022.

FACHINI, M. P.; MESQUITA, N. P.; OLIVEIRA, R. P.; FRANÇA, P. G. **Internet das Coisas: uma breve revisão bibliográfica**. [S. l.]: Conexões – Ciência e Tecnologia, 2017, v. 11, n. 6, p. 85-90. Disponível em: <http://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/1007/1096>. Acesso em: 04 jun. 2022.

FERRAO, M.; XAVIER, A. C. H.; BULSING, K. P.; PAZ, F. J. **A Internet das Coisas**. [S.l.]: Congrega Urcamp, 2016. 11ª Mostra de iniciação científica Jr. Disponível em: <http://revista.urcamp.tche.br/index.php/congregaanaismic/article/view/1951>. Acesso em: 04 jun. 2022.

FILIPEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS. **Sensor de distância ultrassônico HCSR04**. Florianópolis: Filipeflop, [2022?]. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/>. Acesso em: 09 jun. 2022.

FILIPEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS. **Sensor de temperatura DS18B20 a prova d'água**. Florianópolis: Filipeflop, [2022?]. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

FILIPEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS. **Termopar tipo K com módulo MAX6675**. Florianópolis: Filipeflop, [2022?]. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/termopar-tipo-k-com-modulo-max6675/>. Acesso em: 11 jun. 2022.

FORBES AGRO. **Produção de ração animal sobe 4,5% em 2021 no país, com destaque para suínos e aves**. [S. l.]: Forbes, 2021. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2021/12/producao-de-racao-animal-sobe-45-em-2021-no-pais-com-destaque-para-suinos-e-aves>. Acesso em: 29 abr. 2022.

IBGE. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. [S. l.]: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21119-primeiros-resultados-2abate.html?=&t=resultados>. Acesso em: 29 jun. 2022.

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática**. Tradução: Márcio José da Cunha. Porto Alegre: Grupo A, 2015. Título original: Industrial automation hands-on. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555141/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. DS18B20: **Programmable resolution, 1-wire digital thermometer**. [S. l.]: Maxim Integrated Products, 2019. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2022.

MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. **MAX6675**: Cold-Junction-Compensated K-Thermocoupleto-Digital Converter (0°C to +1024°C). [S. l.]: Maxim, 2021. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022.

MICHELL INSTRUMENTS BRASIL LTDA. **XZR200**: Analisador de oxigênio. Rio de Janeiro (Município): Michell Instruments Brasil Ltda, 2021. Disponível em:

http://www.michell.com/br/documents/XZR200_97338_BR_Datasheet_v4-2.pdf. Acesso em: 16 jun. 2022.

MORAES, C. C. D.; CASTRUCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. 2 ed. São Paulo (Município): Grupo GEN, 2006. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1976-5/>. Acesso em: 02 mai. 2022.

NAKATANI, A. M.; GUIMARÃES, A. V.; NETO, V. M. **Medição com sensor ultrassônico HC-SR04**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014. Disponível em: http://www.energiapura.net.br/Trabalhos%20Publicados/2014/sensor_ultrassom_arduino_cim_mec_2014.pdf. Acesso em: 01 mai. 2022.

NETO, G. S. **Controle e automação industrial: avanço e surgimento de novas tecnologias**. Eunápolis: Universidade Norte do Paraná, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pgsskroton.com/bitstream/123456789/39617/1/GABRIEL%20DOS%20SANTOS%20NETO.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2022.

OLIVEIRA, A. S.; ANDRADE, F. S. **Sistemas embarcados: hardware e firmware na prática**. 2 ed. São Paulo (município): Editora Saraiva; São Paulo (município): Editora Érica, 2010. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520346/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

OLIVEIRA, E. M. **Transformações no mundo do trabalho, da revolução industrial aos nossos dias**. [S. l.]: Caminhos De Geografia, 2006. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15327>. Acesso em: 12 abr 2022.

PARRA, D. P. **Desenvolvimento de um sensor de fibra óptica para determinar mudanças de fase do dióxido de carbono (CO₂)**. Orientador: Marcos Sebastião de Paula Gomes. 2010. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Técnico Científico da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Município), 2010. Acesso em: 08 jul. 2022.

PORTELA, C. A. **Fabricação de rações para suínos**. Orientador: Germano Augusto Jerônimo do Nascimento. 2016. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Acesso em: 15 abr. 2022.

PATSKO, L. F. **Tutorial aplicações, funcionamento e utilização de sensores**. [S. l.]: Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica, 2006. Disponível em: https://ia601608.us.archive.org/35/items/materialdeestudo_introducaoarobotica/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf. Acesso em: 22 mai. 2022.

QUISTE, F. A. S. **Processo produtivo e controle de qualidade em fábrica de ração**. Orientadora: Jéssika Mara Martins Ribeiro. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Verde, 2019. Acesso em: 13 abr. 2022.

RASIA, L. A. **Estudo e aplicação das propriedades elétricas, térmicas e mecânicas de materiais amorfos piezoresistivos em transdutores de pressão**. Orientador: Ronaldo

Domingues Mansano. 2009. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica: Microeletrônica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (Município), 2009. Acesso em: 19 mai. 2022.

ROCKWELL AUTOMATION. **873P Ultrasonic Sensors**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2021. Disponível em: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/873p-pp001_-en-p.pdf. Acesso em: 16 jun. 2022.

ROCKWELL AUTOMATION. **Installation Instructions: Ultrasonic Sensors**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2020, Disponível em: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/873p-in006_-en-p.pdf. Acesso em: 16 jun. 2022.

ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial**. 1 ed. São Paulo (Município): Baraúna, 2009. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=YsUHLcHdbh4C&lpg=PA9&lr&pg=PA4#v=onepage&q&f=true>. Acesso em: 30 abr. 2022.

SACOMANO, J. B. *et. al.* **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. 1 ed. São Paulo (Município): Editora Blucher, 2018. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=PNCuDwAAQBAJ&lpg=PP1&hl=pt-BR&pg=PA17#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 17 mai. 2022.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. **As revoluções industriais até a indústria 4.0**. [S. l.]: Revista Interface Tecnológica, 2018, v. 15, n. 2, p. 480–491. DOI: 10.31510/infa.v15i2.386. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/386>. Acesso em: 8 jun. 2022.

SANTOS, B. P. *et al.* **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.

SANTOS, B. P. *et. al.* **Industry 4.0: challenges and opportunities**. [S. l.]: Revista Produção E Desenvolvimento, 2018, v. 4, n. 1, p. 111-124. Disponível em: <https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesarrollo/article/view/e316/193>. Acesso em: 23 mai. 2022.

SCHWAB, K.; DAVIS, N. **Aplicando a quarta revolução industrial**. São Paulo (Município): Edipro, 2019. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=W5SWDwAAQBAJ&lpg=PP1&hl=pt-BR&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 24 mai. 2022.

SILVA, P. S. M. **Processo produtivo e boas práticas em fábrica de ração**. Orientadora: Mônica Maria de Almeida Brainer. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Instituto Federal Goiano, Goiânia, 2022. Acesso em: 28 abr. 2022.

SILVEIRA, L.; LIMA, W. Q.. **Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes para automação industrial**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003. Disponível em:

https://www.academia.edu/23391791/Um_breve_hist%C3%B3rico_conceitual_da_Automa%C3%A7%C3%A3o_Industrial_e_Redes_para_Automa%C3%A7%C3%A3o_Industrial?bulkDownload=thisPaper-topRelated-sameAuthor-citingThis-citedByThis-secondOrderCitations&from=cover_page. Acesso em: 02 mai. 2022.

SINDIRAÇÕES. **Sindirações divulga o resultado final do setor de alimentação animal em 2021**. [S. l.]: Sindirações, 2022. Disponível em: <https://sindiracoes.org.br/sindiracoes-divulga-o-resultado-final-do-setor-de-alimentacao-animal-em-2021/>. Acesso em: 04 mai. 2022.

SMART KITS. **Sensor Termopar Tipo K - 0 a 400°C**. [S. l.]: Smart Kits, [2022?]. Disponível em: <https://www.smartkits.com.br/sensor-termopar-tipo-k-0-a-400-c>. Acesso em: 10 jun. 2022.

SOLOMAN, S. **Sensores e sistemas de controle na indústria**. 2 ed. Rio de Janeiro (Município): Grupo GEN, 2012. Tradução e revisão técnica Sérgio Gilberto Taboada. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2807-1/>. Acesso em: 25 jun. 2022.

SUNDMAEKER, H.; GUILLEMIN, P.; FRIESS, P.; WOELFFLÉ, S. **Vision and challenges for realising the Internet of Things**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. Disponível em: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Clusterbook_March_2010.pdf. Acesso em: 31 mai. 2022.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. D. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 9 ed. São Paulo (município): Editora Érica; São Paulo (município): Editora Saraiva, 2020. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788536533247>. Acesso em: 08 jul. 2022.

USINAINFO ELETRÔNICA E ROBÓTICA. **ESP32 display OLED: programando o display do NODEMCU ESP32**. [S. l.]: Usinainfo, 2019. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/programando-o-display-do-nodemcu-esp32-oled/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

VAISALA. **Transmissor de umidade e temperatura HMT310**. [S. l.]: Vaisala, 2020. Disponível em: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/HMT310-Datasheet-B210769PT.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022.

VERSÁTIL AUTOMAÇÃO. **Válvula solenoide mola 3/2 vias rosca ¼ 24vCC**. [S. l.]: Versátil Automação, [2022?]. Disponível em: <https://www.versatilautomacao.com/ft54w73bs-valvula-solenoide-mola-32-vias-rosca-18-12v-24v-110v-e-220v>. Acesso em: 20 jun. 2022.

VIBRAMAX MAQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Vibradores pneumáticos de esfera vibraball**. São Paulo (Município): Vibramax Máquinas e Equipamentos, [2022?]. Disponível em: <https://www.vibramax.com.br/vibradores-pneumaticos-esfera-vibraball>. Acesso em: 17 jun. 2022.

WENDLING, M. **Sensores**. Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista, 2010, v. 2. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2022.

YAMAZOE, N. **Toward innovations of gas sensor technology:** sensors and actuators B: chemical. [S. l.]: Science Direct, 2005, v. 108. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400505000286>. Acesso em: 08 jul. 2022.

YUNUSA, Z. *et. al.* **Gas sensors:** a review. Shah Alam: IFSA Publishing, 2014, v. 168. Disponível em: https://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/april_2014/Vol_168/P_1957.pdf. Acesso em: 08 jul. 2022.