

Sistema de aquisição de dados para apoio ao controlo de qualidade em linha de produção

Arthur Freitas Bastos - 57013

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientadores:

Prof. PhD. José Augusto Almeida Pinheiro de Carvalho

Prof. PhD. Carlos Henrique Illa Font

Prof. PhD. Paulo Leitão

Bragança

2023-2024

Sistema de aquisição de dados para apoio ao controlo de qualidade em linha de produção

Arthur Freitas Bastos - 57013

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientadores:

Prof. PhD. José Augusto Almeida Pinheiro de Carvalho

Prof. PhD. Carlos Henrique Illa Font

Prof. PhD. Paulo Leitão

Bragança

2023-2024

Dedicatória

Eu dedico este projeto aos meus familiares e amigos que, distantes ou não, fizeram parte nesta jornada e acompanharam-me nas decisões e momentos mais importantes da minha vida.

Abstract

Data acquisition is a branch of engineering used to collect analog information and convert it into digital signals. The Data Acquisition System (DAS) is fundamental for analyzing and controlling processes in an industrial environment, making it a technology that many companies aim to adopt for improvement. In this context, this project focuses on developing a DAS adaptable to different industrial environments, aiming to develop a multipoint data collection system architecture and create a prototype to collect pressure and temperature data from a hydraulic press, as well as implement a visual interface for monitoring the acquired information. The results demonstrated that the system is capable of providing an effective solution for monitoring physical quantities involved in manufacturing processes and is a good solution for real-time data collection and transmission.

Keywords: data aquisition, monitoring, multipoints.

Resumo

A aquisição de dados é uma derivação da engenharia no qual é utilizada para coletar informações analógicas e converte-la em sinais digitais. O sistema de aquisição de dados (SAD) é fundamental para a análise e controle dos processos envolvidos em um ambiente industrial, dessa forma, muitas empresas pretendem utilizar desse tipo de tecnologia como forma de melhoria. Nesse contexto, este projeto tem como foco desenvolver um SAD adaptável a diferentes ambientes industriais, com objetivo de desenvolver uma arquitetura de sistema multipontos de coleta de dados e criar um protótipo para coletar pressão e temperatura de uma prensa e implementar uma interface visual para o monitoramento da informação adquirida. Os resultados demonstraram que o sistema é capaz de apresentar uma boa solução para o monitoramento de grandezas físicas envolvidas em processos fabris e é uma boa solução para coleta e transmissão de dados em tempo real.

Palavras-chave: Aquisição de dados, monitoramento, multipontos.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivos	3
1.3	Estrutura do documento	3
2	Estado da arte	5
2.1	Projeto On-Surf	6
2.1.1	Condicionamento de sinal para sistema de aquisição de dados em superfícies metálicas finas	7
2.1.2	Sistema de aquisição de dados para processo de monitoramento em superfície fina	7
2.1.3	Protocolo Não Orientado À Conexão Para Rede De Sensores Distribuídos	9
2.2	Síntese do capítulo	11
3	Solução Proposta	13
3.1	Problema	13
3.2	Proposta de solução	16
4	Desenvolvimento	19
4.1	Condicionamento de sinal	19
4.2	Conversão Analógica Digital	21

4.3	Protocolos de comunicação	26
4.4	Transmissão de dados	26
4.5	Visualização	28
5	Resultados e discussões	29
5.1	Aquisição de sinal	29
5.2	Transmissão de dados	32
6	Conclusões	37

Lista de Figuras

2.1	Arquitetura do projeto. Adaptado de [5]	7
2.2	Placa de aquisição Projeto On-Surf	8
2.3	Arquitetura com comunicação sem fio. [6]	9
3.1	Partes constituintes de uma máquina de estampagem	14
3.2	Defeitos em copos de metal. [8]	15
3.3	Galling em uma matriz. [9]	15
3.4	Topologia do sistema proposto	17
3.5	Arquitetura do sistema de aquisição de dados multipontos	17
3.6	Fluxograma do setup do módulo de aquisição de sinais	18
4.1	Circuito equivalente ponte de Wheatstone com sensor	19
4.2	Disposição dos sensores no cilindro de alumínio	20
4.3	Captura de tela da configuração do CI ZSSC 4151	21
4.4	Lógica para interpretação de dados	28
5.1	Calibração do sensor de filme fino para medir pressão em peça de metal	30
5.2	Configuração final do sistema de aquisição de dados	31
5.3	Tela de monitoramento de pressão e temperatura de prensa	32
5.4	Análise de transmissão de dados	33
5.5	Comportamento da taxa de transferência de dados por segundo	35
5.6	Composição de mensagem enviada pelo microcontrolador	36

Capítulo 1

Introdução

A aquisição de dados é uma ramificação do ramo da engenharia que é responsável por coletar informações analógicas e convertê-los para sinais digitais [1]. Um sistema de aquisição de dados (SAD) engloba vários elementos, como sensores, condicionadores de sinais e processadores, que são utilizados para desempenhar funções como mensurar as grandezas analógicas até o posterior tratamento dessa informação, que resulta em dados responsáveis pelas análises de um determinado processo.

Ao tratar-se de ambientes industriais, o sistema de aquisição de dados é parte fundamental de controle dos processos envolvidos, pois o sistema de controle opera com apoio das informações provenientes do SAD para realizar as tomadas de decisões. Dessa forma, a obtenção de dados relevantes para os processos possibilita a melhoria contínua e a otimização dos recursos utilizados na cadeia produtiva.

Segundo uma pesquisa realizada em 2021 pela Confederação Nacional de Indústrias do Brasil (CNI), apenas 69% das grandes e médias indústrias brasileiras adotam alguma tecnologia digital em seus processos, sendo que apenas 46% são utilizando automação digital com sensores para controle de processo [2]. Enquanto isso, ao avaliar a maturidade da indústria 4.0 em Portugal, Ferreira [3] percebeu que as empresas portuguesas, em média, encontram-se entre o nível 2 e 3 de maturidade de industrialização, ou seja, entre o nível de integração da tecnologia e a digitalização implementada.

Para uma adequação melhor do sistema é necessário analisar as condições de utilização,

ambiente em que será implementado, robustez do sistema, além de um elevado conhecimento sobre o processo como um todo, com estas condições bem estabelecidas, simplifica-se o processo de elaboração do sistema de aquisição de dados.

Pesquisas relacionadas ao tema já ocorrem há décadas, muitas delas visando aprimorar o processo já realizado na empresa, diminuindo custos relacionados a manutenção e aumentando a segurança dos operadores e a disponibilidade do sistema.

1.1 Motivação

Com a evolução dos processos fabris e maior a complexidade num ecossistema industrial, faz-se necessário o monitoramento e análise de toda a cadeia de produção, de modo a evitar perdas e otimizar a produção da empresa, seja diminuindo o tempo de manutenção de máquinas, aumentando a produção ou vida útil dos equipamentos e maquinários. A partir disso, utiliza-se de sistemas para adquirir tais informações que serão úteis para o monitoramento e otimização dos recursos.

A utilização de sistemas antiquados de monitorização de informações como pressão das máquinas ou temperatura, dispondo-se de medidores analógicos para visualização de informações críticas da fábrica, podem comprometer a produção e segurança dos operadores. Em vista disso, é proposto uma alternativa mais sofisticada, que possibilita o monitoramento do sistema em tempo real e permite o armazenamento dos dados obtidos para posterior análise.

Essa dissertação tem como base de estudo o maquinário da empresa Catraport situada em Bragança, Portugal, na qual pretende-se aprimorar a tecnologia empregada nos equipamentos para uma análise mais atenuada do funcionamento das máquinas e as características críticas em seu processo de produção de peças automotivas.

1.2 Objetivos

O presente projeto tem como proposta desenvolver um sistema de aquisição de dados que possa ser adaptável a diversos ambientes industriais e implementá-lo para uma prensa hidráulica.

Como objetivos específicos, este trabalho apresenta:

- Desenvolvimento de uma arquitetura de múltiplos pontos de aquisição de dados responsável por coletar pressão e temperatura de uma prensa hidráulica;
- Desenvolvimento de um protótipo do sistema de aquisição de dados que colete informações de pressão e temperatura para prensas;
- Criação de uma interface visual para o monitoramento dos dados adquiridos.

1.3 Estrutura do documento

Este documento está distribuído em 6 capítulos, no qual o primeiro é realizado uma abordagem introdutória aos problemas e definidos os objetivos do projeto. O capítulo 2 apresenta o estado da arte, contendo as literaturas relacionadas ao tema abordado. No capítulo 3, é mostrado uma descrição detalhada do problema investigado e a metodologia utilizada para propor uma solução. Já o capítulo 4 descreve o desenvolvimento do trabalho, mostrando os processos e os métodos empregados para a elaboração do projeto. Por fim, os capítulos 5 e 6 apresentam os resultados obtidos a partir da implementação proposta e as considerações finais obtidas com o desenvolvimento da tese.

Capítulo 2

Estado da arte

Diversos projetos tem explorado a área de aquisição de dados como uma forma de otimização de processos industriais e desenvolvimento de técnicas de manutenção.

A aquisição de dados está presente em diversas áreas e sua gama de utilização é ampla, dentre elas podemos citar:

- Monitoramento de transformadores de distribuição: Utiliza sensores de corrente, tensão e temperatura, que, ao converter os sinais para o microcontrolador possibilita o monitoramento contínuo dos transformadores de forma remota.
- Indústria automobilística: Produção de ar comprimido para identificar possíveis falhas a fim de entender a relação de causa-consequência do processo.
- Inovações tecnológicas: Avanço da tecnologia a partir da indústria 4.0, reduzindo custos de retrabalho e de manutenção corretiva enquanto aumenta a produção.

Ao correlacionarmos as informações mencionadas acima observa-se a relação em que o sistema de aquisição de dados apresenta com a área de manutenção da indústria, e a

relevância de dados precisos das condições das máquinas para a tomada de decisão dos analistas. Os itens mencionados contam com as mais diversas tecnologias para os diversos ramos da indústria, desde, sistema de distribuição de energia com os transformadores até a produção automobilística.

A partir das pesquisas já realizadas, existem alguns projetos de suma importância para o desenvolvimento dessa dissertação, sendo ele o sistema de aquisição de dados idealizado pelo projeto On-Surf e o desenvolvimento do protocolo de comunicação desenvolvido por Sampaio.

2.1 Projeto On-Surf

O projeto On-Surf representa uma iniciativa inovadora no campo da aquisição de dados e monitoramento de máquinas e superfícies industriais. Em um cenário onde a precisão e a agilidade na análise de informações são cruciais para o sucesso operacional, projetos como o On-Surf emergem como resposta à crescente demanda por soluções avançadas de coleta e interpretação de dados.

Concebido com o propósito de desenvolver soluções tecnológicas de ponta, o projeto visa atender às necessidades específicas de setores industriais diversos, oferecendo ferramentas e sistemas capazes de capturar e processar dados em tempo real, fornecendo insights valiosos para a tomada de decisões estratégicas.

Através disso, o Centro de Investigação em Digitalização e Robótica (CeDRI) do Instituto Politécnico de Bragança em conjunto com outras instituições de ensino superior e empresas nacionais de diferentes setores de atividade e entidades não empresariais do SI&I, deu-se início a esse projeto para se encarregar de concluir os objetivos designados, dentre eles, o condicionamento de sinal e a placa de aquisição de dados.

2.1.1 Condicionamento de sinal para sistema de aquisição de dados em superfícies metálicas finas

A partir da pesquisa feita por Bussmann [4], podemos definir o condicionamento de sinais como: o processo de manipulação de um sinal elétrico de um sensor para adequá-lo ao sistema de aquisição de dados, assim, é possível utilizar o condicionamento de sinal proveniente do circuito integrado ZSSC4151 para a linearização do sinal de entrada analógico do sistema, e com isso, utilizá-lo para qualquer tipo de medição analógica a partir de sua calibração.

2.1.2 Sistema de aquisição de dados para processo de monitoramento em superfície fina

Tendo como objetivo criar uma topologia de sistema de aquisição de dados modular e escalável Nonato [5], nos apresenta em sua arquitetura um módulo de aquisição interligado com os equipamentos necessários para realizar a comunicação entre todos os dispositivos envolvidos, como podemos observar na figura 2.1.

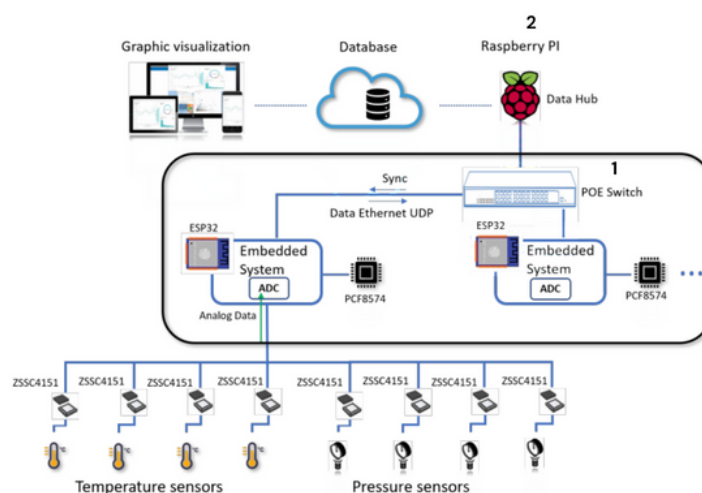


Figura 2.1: Arquitetura do projeto. Adaptado de [5]

Em síntese, podemos observar que suas principais características são os circuitos relacionados ao condicionamento de sinal e a placa de aquisição de dados, com as funções de leitura de sinais analógicos como pressão e temperatura.

A figura 2.2 apresenta o resultado do desenvolvimento do projeto, nela encontra-se a placa de aquisição de dados, sendo este o microcontrolador ESP32-PoE-ISO, no qual apresenta além das portas GPIOs necessárias, uma entrada para cabo de rede que possibilita a troca de mensagens por rede cabeada Ethernet. Também é característica dessa placa o processador de 240MHz, 12 bit SAR ADCs com 18 canais e suporta comunicação I2C, I2S e SPI.



Figura 2.2: Placa de aquisição Projeto On-Surf

A figura 2.2 ainda apresenta as entradas dos sensores, que utiliza o circuito integrado CMOS ZSSC4151 para condicionamento do sinal. Este CI apresenta características como precisão do sinal, amplificação e correções específicas para sensores em ponte, além da comunicação por protocolo I2C, necessária para o envio de dados para o ESP32.

2.1.3 Protocolo Não Orientado À Conexão Para Rede De Sensores Distribuídos

Com o objetivo de trabalhar com um sistema modular, escalável e sem fio, Sampaio [6] desenvolveu uma topologia de aquisição de dados mais simplificada, onde, após o módulo de aquisição, os dados são enviados por internet por meio de protocolo UDP multicast para a rede. Dessa forma, o projeto transpõe limitações físicas delimitadas e evita a necessidade de um broker como concentrador de dados. A figura 2.3 apresenta a arquitetura do projeto desenvolvido.

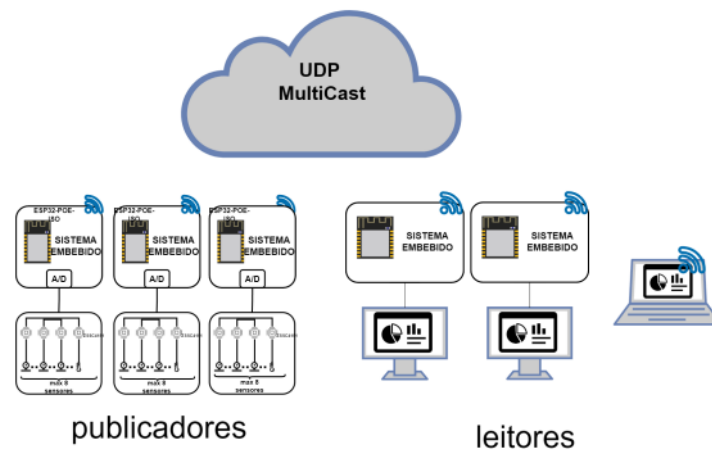


Figura 2.3: Arquitetura com comunicação sem fio. [6]

O autor também desenvolveu um protocolo de mensagem para padronizar os dados obtidos pelo módulo de aquisição de dados, garantindo a escalabilidade do projeto e aumentando o número de sensores que podem ser colocados em uma única placa. Definiram-se algumas características gerais relacionadas a vários setores da indústria para que seja possível adaptar o protocolo independente do ambiente industrial em que seja feita a leitura dos dados.

A estrutura do protocolo é feita para enviar várias informações dos sensores para cada

dado que foi recebido, como: tipo de pedido, identificação do equipamento, identificação do sensor, grandeza física mensurada, tamanho da informação em bits e o valor de leitura do sensor. Como pode ser observado na tabela 2.1

TIPO DE PEDIDO	EQUIP. ID	SENSOR ID	GRANDEZA FÍSICA	TAMANHO	LEITURA SENSOR
UU	VVVV	WWWW	XX	YY	ZZ...
1 Byte	2 Bytes	2 Bytes	1 Byte	1 Byte	X bytes

Tabela 2.1: Topologia geral - Adaptado de [6]

O tipo de pedido é uma informação de apenas um byte, relacionado ao envio de mensagem, pode ter dois valores distintos. O primeiro é relacionado ao envio de mensagens ordinárias, enviadas de acordo com a programação do microcontrolador sobre o tempo de leitura de cada um dos dados. O segundo caso está relacionado a uma solicitação não programada de publicação de variáveis de um sensor, requisitando um dado fora do tempo padrão de leitura do microcontrolador sobre o sensor.

A identificação do sensor é obtida através de dois bytes que referenciam em primeiro lugar o tipo de equipamento e depois qual seu número. Com o primeiro byte é possível saber qual o tipo de equipamento, podendo ser uma máquina de estampagem ou um motor elétrico por exemplo. O segundo byte identifica qual o número do equipamento, podendo diferenciar máquinas do mesmo tipo.

Seguindo uma lógica semelhante, a identificação do sensor tem dois bytes e é necessária para saber a característica do sensor e qual é a posição do sensor caso haja mais de um sensor do mesmo tipo na mesma máquina. Dessa forma, pode-se diferenciar os sensores indutivos, capacitivos, fotoelétricos, pressão e etc. enquanto é possível identificar a posição do sensor.

O campo de grandeza física faz-se necessário para facilitar detalhes sobre o dado a ser

mensurado, podendo ser medição de deformação, temperatura, pressão atmosférica, ruído, luminosidade, umidade e outros fenômenos físicos, tem um byte.

O tamanho da informação é uma estrutura de um byte necessária para saber quantos bytes serão necessários analisar a seguir. Essa informação torna-se útil no sentido de *softwares* serem capaz de analisar apenas a informação pertinente, sem correr o risco de coletar dados não relacionados ao valor desejado e diminuindo riscos de eventuais erros de leitura.

Por fim, a leitura do sensor com tamanho já especificado anteriormente, nela contém a informação de interesse para os usuários. Toda a estrutura é necessária para padronizar a mensagem e facilitar a visualização dos dados obtidos, há a possibilidade de tratar e trabalhar estes dados para a criação de gráficos e outras estruturas que possibilitem a análise do processo dos dados que os sensores estão coletando.

2.2 Síntese do capítulo

A aquisição de dados surge para suprir as necessidades que os processos industriais demandam de informações sobre suas máquinas e produtos. Para isso, é utilizado equipamentos para coletar dados analógicos e transformá-los em digitais, essas informações são processadas e utilizadas para monitoramento e análise dos resultados.

Ao analisar os estudos de Nonato, verifica-se que a mesma utilizou de uma topologia que necessita de mais equipamentos para transmitir os dados no processo de monitoramento de uma máquina de estampagem. Observa-se na figura 2.1(1) o switch para transmissão de mensagens e fonte de alimentação dos módulos de aquisição de dados, e (2) o RaspberryPI como concentrador de dados. Seu projeto possui propostas de melhoria relacionadas a testes práticos utilizando sensores para coletar dados relacionados a estampagem de metais e um ambiente gráfico para monitoramento dos dados.

Enquanto isso, o projeto de Sampaio possui como maior vantagem sua estrutura mais

flexível, sem a necessidade de trabalhar com um sistema que utiliza um *broker* como concentrador de dados, diminuindo a complexidade do sistema ao utilizar o microcontrolador para enviar os dados por multicast. Entretanto, a transmissão de dados por wi-fi tem riscos relacionados a interferências eletromagnéticas provindas dos ruídos das máquinas e obstáculos físicos que podem limitar o sinal.

Capítulo 3

Solução Proposta

3.1 Problema

A utilização de máquinas de estampagem é muito recorrente para a produção de diversos bens de consumo e podem ser utilizadas para moldar diferentes tipos de materiais, desde peças de plásticos utilizados na produção de produtos estéticos até chapas metálicas para produção de peças automotivas.

As máquinas de estampagem de forma geral, tem uma mesma estrutura que podem ser divididas em algumas partes relacionadas com a função que desempenham. A figura 3.1 apresenta as principais partes de uma máquina de estampagem, suas funcionalidades são: a chapa metálica é a peça que deve ser moldada no formato específico ao equipamento que será produzido, o molde, ou matriz, parte fixa da máquina onde será exercido uma força mecânica que irá deformar a placa metálica e a deixará no formato da matriz, e a parte móvel, responsável por aplicar a força necessária para a deformação da placa.

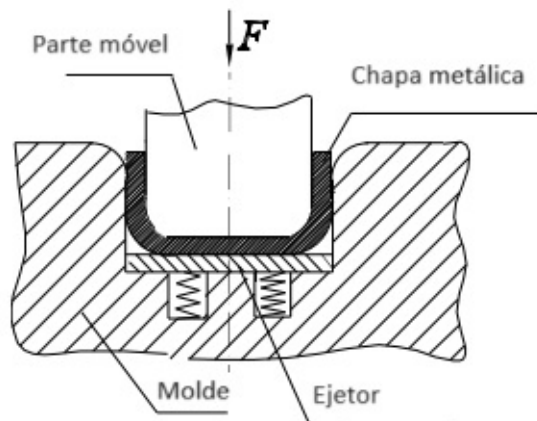


Figura 3.1: Partes constituintes de uma máquina de estampagem

Com o avanço da tecnologia e aprimoramento das ligas metálicas utilizadas, as chapas metálicas estão constantemente aumentando sua resistência enquanto diminui o seu peso, portanto, a produção em massa de peças produzidas por máquinas de estampagem implica em maior desgaste dos moldes dispostos até o momento em que é necessário a paragem da máquina para manutenção corretiva das ferramentas, além disso, por muitas vezes, os problemas da máquina causam defeitos nas peças produzidas, sendo necessário retrabalho ou descarte de material defeituoso.

Segundo a pesquisa de Shanbhag [7], para processos automotivos, o ferramental utilizado pode chegar a casa dos milhões de dólares, dependendo da complexidade da máquina utilizadas. As principais causas dos problemas de máquinas de estampagem estão relacionadas ao excesso de compressão e tensão.

O mau controle de algumas variáveis como pressão e temperatura nas máquinas de estampagem podem acarretar em defeitos das peças produzidas. Problemas ligados a formabilidade do material estão entre os mais comuns, o excesso de tensão aplicado a chapa metálica pode rompê-la em algum ponto específico, esse efeito é chamado de *tearing* e pode ser observado na figura 3.2(a). O excesso de força de compressão da máquina pode deixar a peça com várias áreas de rugosidade, como é mostrado na figura 3.2(b), efeito denominado de *wrinkling*. Existe também o *galling*, representado na figura 3.3, fenômeno relacionado ao atrito de pequenas partículas remanescentes da interação das placas com

o molde e a parte móvel da peça.

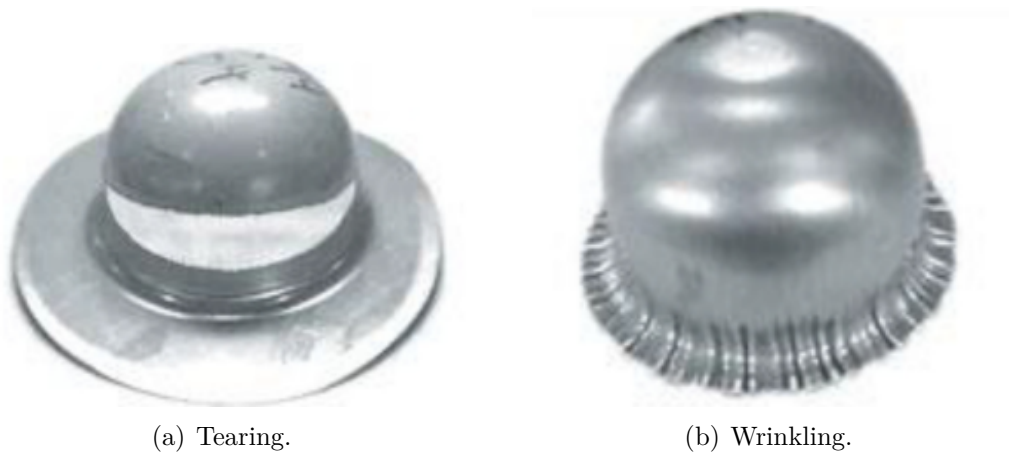


Figura 3.2: Defeitos em copos de metal. [8]

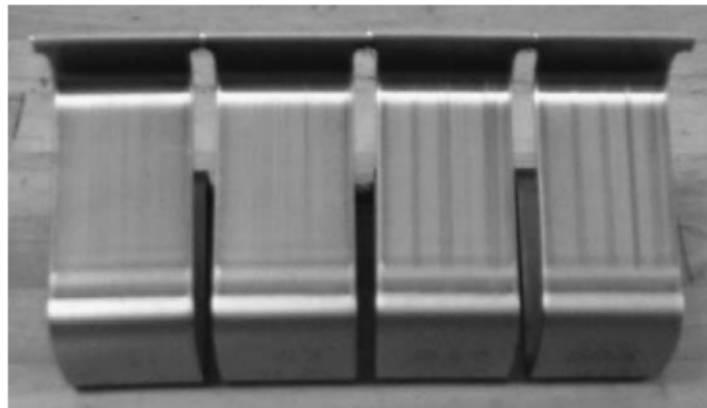


Figura 3.3: Galling em uma matriz. [9]

Como pode ser observado, os problemas ligados as máquinas de estampagem têm diversas causas provenientes principalmente da força exercida sobre a peça, a temperatura e o acúmulo de impurezas entre a matriz e o material a ser moldado. Dessa forma, o monitoramento das grandezas físicas ligadas a este processo é necessário para garantir boas condições de operação da máquina e conseqüentemente, alta produtividade e qualidade dos produtos.

3.2 Proposta de solução

A proposta deste projeto é produzir um módulo de aquisição de dados capaz de obter informações relevantes para o monitoramento em tempo real de uma máquina de estampagem. As informações como tempo de compressão, pico de pressão, pressão média e a temperatura serão as grandezas mensuradas.

Com o objetivo de monitorar e analisar o comportamento mecânico desses componentes em tempo real, serão utilizados o extensômetro MMF405199 e o sensor de temperatura PT100. O sensor de filme fino MMF405199 será utilizado para medir a deformação em estruturas metálicas.

Os sensores utilizados no projeto serão conectados em ponte de Wheatstone, circuito utilizado para amplificar variações pequenas das tensões captadas pelos sensores. A ponte de Wheatstone consiste na associação de resistores e sensores, que, ao aplicar uma tensão de entrada, varia a tensão de saída proporcionalmente a resistência do circuito.

Após a etapa de sensorização, estes dispositivos serão conectados a um CI responsável pelo condicionamento do sinal para atenuar o sinal de entrada e enviar os dados ao microcontrolador, neste caso, o CI ZSSC 4151 será utilizado para esta função. Esse circuito integrado tem como principal funcionalidade amplificar e realizar correções específicas para medidas realizadas por sensores em ponte de Wheatstone e enviará os sinais dos sensores de forma analógica para o módulo de aquisição de sinais.

Como módulo de aquisição de dados, deve ser utilizado um microcontrolador para digitalizar e quantificar as medidas adquiridas e, posteriormente, transmiti-los para disponibilizar os dados em um ambiente gráfico. Deste modo, foi utilizado o microcontrolador ESP32-PoE-ISO, pois tem como característica uma estrutura capaz de se comunicar em diversos protocolos de comunicação, tal qual, TCP/IP, Wi-Fi Direct, e Bluetooth.

A figura 3.4 apresenta a topologia completa proposta no desenvolvimento deste projeto para realizar o sistema de aquisição de dados para uma máquina de estampagem. Neste sentido, é pensado no sistema de sensorização da máquina, o módulo de sistema de aquisição de dados e o envio de informações para a rede por meio de um protocolo de rede.

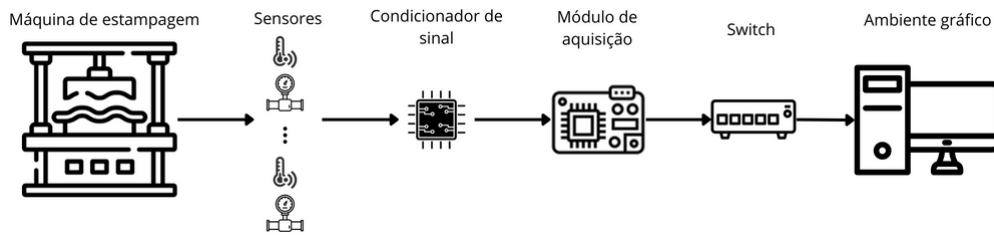


Figura 3.4: Topologia do sistema proposto

De forma a garantir detalhes de diversos pontos da máquina de estampagem, é idealizado uma topologia com múltiplos pontos de aquisição, dessa forma, cada módulo de aquisição fica responsável por um ponto específico da máquina, e o envio de seus dados serão enviados separadamente para a rede por meio de um switch, que será a ponte de comunicação entre os módulos de aquisição e o sistema de monitoramento.

A figura 3.5 representa esta arquitetura, apresentando um módulo de aquisição de sinais para cada matriz existente numa máquina de estampagem.

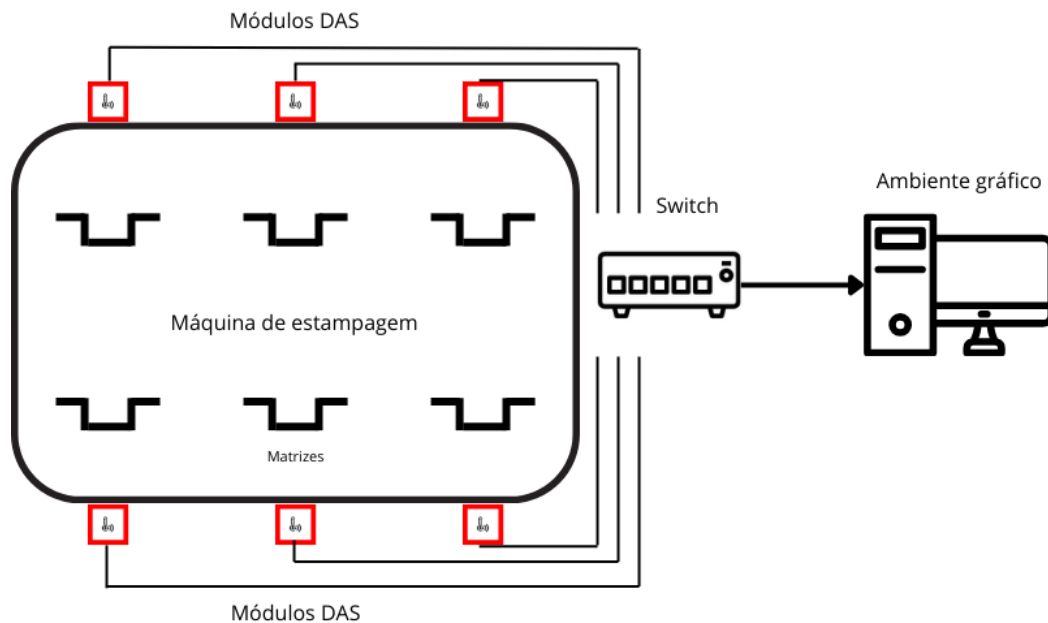


Figura 3.5: Arquitetura do sistema de aquisição de dados multipontos

Além das partes físicas apresentadas, é necessário projetar o *software* capaz de satisfazer tais condições no módulo de aquisição de sinais. A figura 3.6 apresenta o fluxograma relacionado ao código que deverá ser desenvolvido para que o microcontrolador seja capaz de tratar os dados adquiridos e transmiti-los para as máquinas responsáveis pelo ambiente gráfico e base de dados.

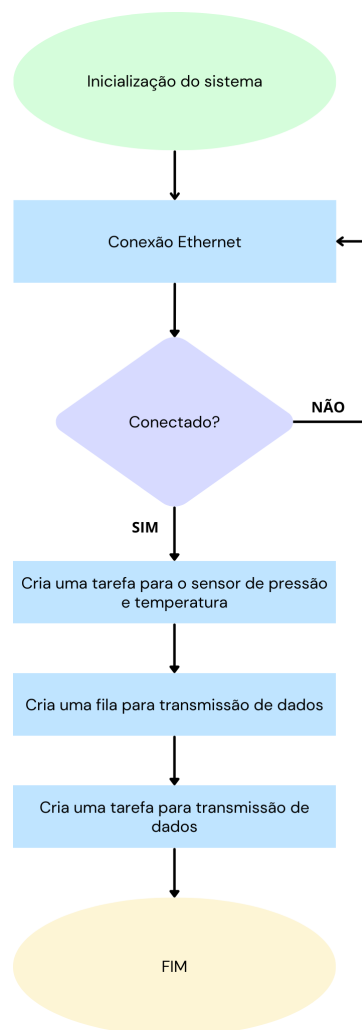


Figura 3.6: Fluxograma do setup do módulo de aquisição de sinais

Capítulo 4

Desenvolvimento

4.1 Condicionamento de sinal

Como citado na seção anterior, para o funcionamento do condicionador de sinais ZSSC 4151 é necessário desenvolver um circuito de ponte de Wheatstone amplificar a medida de tensão recebida dos sensores. Projetou-se um circuito com ponte de Wheatstone de um quarto como pode ser observado na figura 4.1.

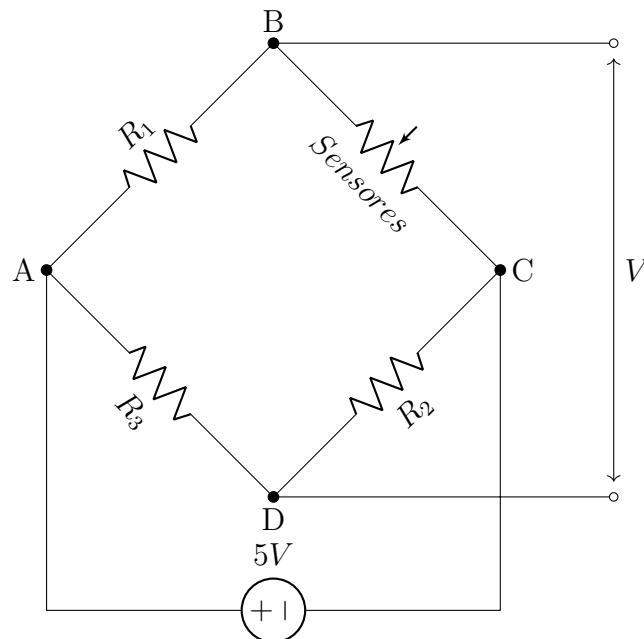


Figura 4.1: Circuito equivalente ponte de Wheatstone com sensor

A ponte de Wheatstone está projetada para operar de forma que a resistência dos sensores somadas seja de valor igual aos valores das resistências R_1 , R_2 e R_3 . A utilização dos sensores extensômetros somadas foi necessário para obter maiores diferenças de resistências entre diferentes pressões aplicadas ao bloco de metal utilizado, garantindo uma precisão maior do valor medido.

A resistência dos sensores MMF405199 é de $350\ \Omega$, dessa forma, a associação em série desses três sensores tem resistência de $1050\ \Omega$, os demais resistores foram utilizados para ter essa mesma resistência. A tensão V representa a tensão de saída será enviada para o condicionador de sinais do CI ZSSC 4151.

Os sensores foram colados em uma barra cilíndrica de alumínio em contato com a prensa hidráulica a fim de realizar os testes de calibração dos sensores em laboratório. Os sensores foram posicionados na lateral da peça de metal para medir a compressão do material como pode ser observado na figura 4.2.

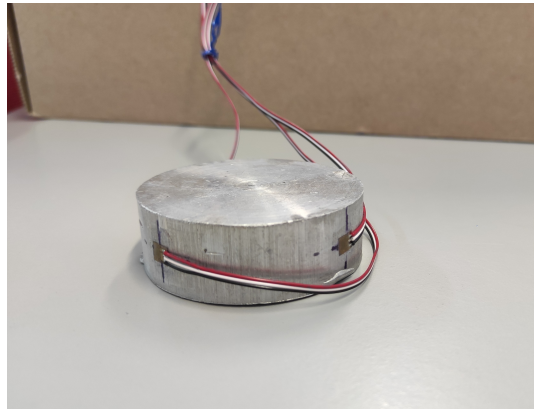


Figura 4.2: Disposição dos sensores no cilindro de alumínio

Após projetar o circuito em ponte, é necessário utilizar a placa de desenvolvimento e o software disponibilizado pela Renesas, fabricante do CI ZSSC 4151, para configurar a memória e registradores do condicionador de sinais, e assim, disponibilizar uma saída de 0 a 3.3 volts do sinal identificado da tensão provinda da ponte de Wheatstone. A figura 4.3 apresenta a tela de configuração do condicionador de sinais para o sensor.

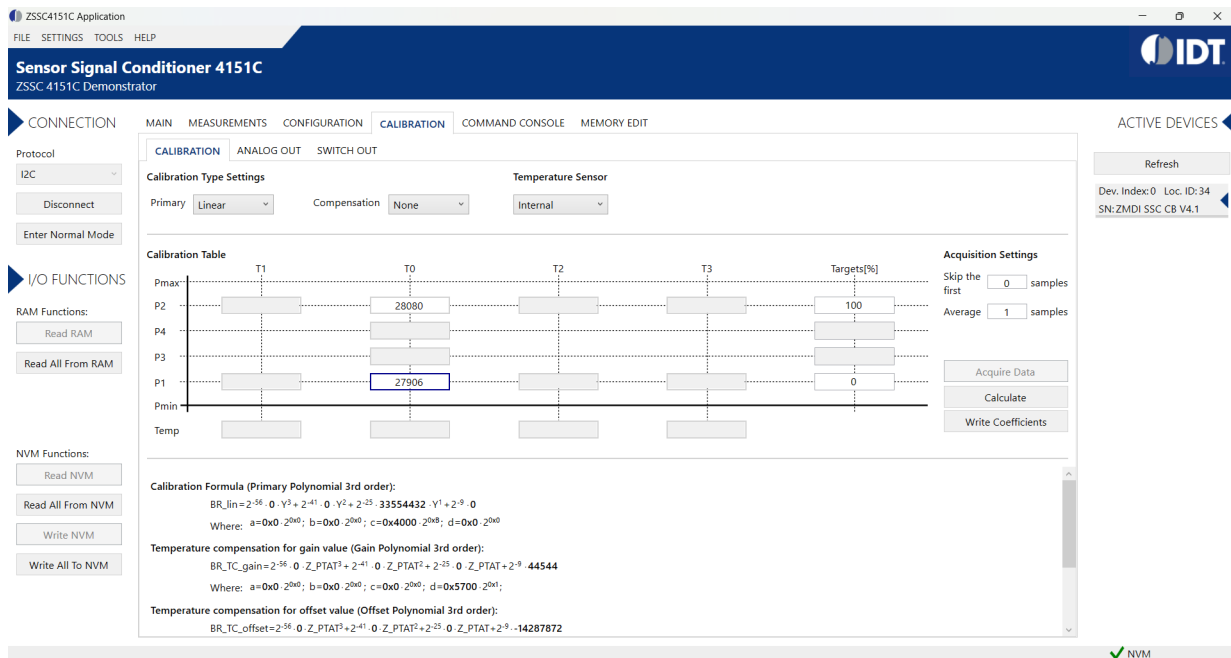


Figura 4.3: Captura de tela da configuração do CI ZSSC 4151

4.2 Conversão Analógica Digital

O microcontrolador, por sua vez, tem uma resolução para sinais analógicos de 12 bits, recebendo a variação de tensão do condicionador de sinal utilizado. O trabalho do microcontrolador de coletar, analisar e enviar os dados a rede foi uma das maiores preocupações do projeto, e observando que a sobrecarga no envio de várias mensagens poderia representar, foi adotado uma estratégia para reduzir o tráfego de mensagens na rede.

A abordagem baseou-se no envio de informações chaves ao projeto, e, ao invés de enviar dados da pressão em tempo real, o sistema envia apenas a pressão máxima e média do sinal adquirido. Enquanto a pressão for maior que um limite estabelecido o microcontrolador coleciona os valores de pressão adquiridos, e após retornar a um valor abaixo do limite, realiza os cálculos de pressão média, duração de compressão e envia os dados a rede resultando em um sistema mais eficaz e responsivo, essa estratégia pode ser observada a

partir do código fonte 4.1 .

```
1  adc_raw[0][POT_CH] = adc1_get_raw(estensometro);
2
3  if (cali_enable)
4  {
5      last_pressure = esp_adc_cal_raw_to_voltage(adc_raw[0][POT_CH], &
6          adc1_chars);
7  }
8
9  else
10 {
11     last_pressure = adc_raw[0][POT_CH];
12 }
13
14 last_pressure = ((120 - 85) / 4096) * last_pressure + 85; //
15     Conversão DA
16
17 if (last_pressure > punch_pressure_threshold)
18 {
19     if (rep == 0)
20     {
21         start_count = xTaskGetTickCount();
22     }
23     sum = sum + last_pressure;
24     rep++;
25     if (last_pressure > max_pressure)
26     {
27         max_pressure = last_pressure;
28     }
29 }
```

```

27 }
28
29 else if (last_pressure <= punch_pressure_threshold)
30 {
31     if (rep > 0)
32     {
33         media = sum / rep;
34         stop_count = xTaskGetTickCount() - start_count;
35         time_ms = (stop_count * 1000) / configTICK_RATE_HZ;
36
37         lockVariableStamping_1();
38         stamping.medium_pressure = media;
39         stamping.sensor_number = sensor_number;
40         unlockVariableStamping_1();
41
42         lockVariableReqBroadcast();
43         store_broadcast_req(STAMPING_1_MEDIUM_PRESSURE);
44         unlockVariableReqBroadcast();
45
46         // envia a pressão máxima
47         lockVariableStamping_1();
48         stamping.max_pressure = max_pressure;
49         stamping.sensor_number = sensor_number;
50         unlockVariableStamping_1();
51
52         lockVariableReqBroadcast();
53         store_broadcast_req(STAMPING_1_MAX_PRESSURE);
54         unlockVariableReqBroadcast();
55
56         // envia o tempo de duração da prensa

```

```

57     lockVariableStamping_1();
58     stamping.time_stamping = time_ms;
59     stamping.sensor_number = sensor_number;
60     unlockVariableStamping_1();
61
62     lockVariableReqBroadcast();
63     store_broadcast_req(STAMPING_1_TIME);
64     unlockVariableReqBroadcast();
65 }
66 }

```

Código fonte 4.1: Coleta de dados de pressão

De forma análoga, foi produzido uma função para adquirir dados da temperatura da máquina, que recebe os dados analógicos e converte-os para sinais digitais. O monitoramento da temperatura se preocupa em observar temperaturas maiores que um limite estabelecido, e, neste caso, mandar um sinal que sirva de alarme de sobreaquecimento. A partir do código 4.2, é possível adquirir os dados de temperatura e enviar um alarme caso a temperatura nominal seja excedida.

```

1  adc_raw[0][PT100_CH] = adc1_get_raw(canal_temperature);
2
3  if (cali_enable)
4  {
5      last_temperature = esp_adc_cal_raw_to_voltage(adc_raw[0][PT100_CH
6          ], &adc1_chars);
7  }
8  else
9  {
10     last_temperature = adc_raw[0][PT100_CH];
11 }

```

```

11 lockVariableStamping_1();
12 stamping.oil_temperature = last_temperature;
13 stamping.sensor_number = sensor_number;
14 unlockVariableStamping_1();
15
16 lockVariableReqBroadcast();
17 store_broadcast_req(STAMPING_1_OIL_TEMPERATURE);
18 unlockVariableReqBroadcast();
19
20 if (last_temperature > temperature_alarm_threshold &&
    temperature_alarm_state == TEMP_ALARM_OFF)
21 {
22     lockVariableStamping_1();
23     stamping.oil_temp_alarm = 1;
24     stamping.sensor_number = sensor_number;
25     unlockVariableStamping_1();
26
27     temperature_alarm_state = TEMP_ALARM_ON;
28     lockVariableReqBroadcast();
29     store_broadcast_req(STAMPING_1_OIL_TEMP_ALARM);
30     unlockVariableReqBroadcast();
31 }
32 else if (last_temperature < temperature_alarm_relese_threshold &&
    temperature_alarm_state == TEMP_ALARM_ON)
33 {
34     lockVariableStamping_1();
35     stamping.oil_temp_alarm = 0;
36     stamping.sensor_number = sensor_number;
37     unlockVariableStamping_1();
38

```

```
39     temperature_alarm_state = TEMP_ALARM_OFF;
40     lockVariableReqBroadcast();
41     store_broadcast_req(STAMPING_1_OIL_TEMP_ALARM);
42     unlockVariableReqBroadcast();
43 }
```

Código fonte 4.2: Coleta de dados de temperatura

4.3 Protocolos de comunicação

Para a comunicação entre a placa de aquisição de dados e os processadores, foram utilizados dois protocolos. O primeiro, foi o protocolo de internet (IP), que padroniza o endereçamento entre os vários dispositivos de uma rede. O segundo foi o protocolo de datagrama do usuário (UDP), que é baseado em datagramas, este protocolo não tem requisitos definidos quanto a conexão, chegada correta e sequenciada dos dados ao destino, entretanto, a conexão se torna mais rápida por não ter checagem de dados e fragmentação e recuperação das mensagens.

4.4 Transmissão de dados

Ao adaptar o protocolo de transmissão de dados criado por Sampaio [6] para utilizá-lo no problema proposto neste projeto, foi necessário adicionar algumas variáveis que são indispensáveis para este trabalho, sendo elas os dados ligados ao tempo de prensagem, pico e média de pressão. Dessa forma, foi desenvolvida uma lógica de *switch case* para cada tipo de sensor, e a partir da grandeza física enviada para esta função, é criado um buffer que armazena os bytes com a informação pretendida e os envia. Essa lógica aplicada pode ser vista no código fonte 4.3.

```

1  switch (com_service)
2      {
3      case STAMPING_1_PRESSURE:
4          lockVariableStamping_1();
5          sendbuf[0] = PUBLISH;
6          sendbuf[1] = stamping.machineID_high;
7          sendbuf[2] = stamping.machineID_low;
8          sendbuf[3] = PRESSURE;
9          sendbuf[4] = stamping.sensor_number;
10         sendbuf[5] = NORMAL;
11         sendbuf[6] = OIL_PRESSURE;
12         convert_16.word = 4;
13         sendbuf[7] = convert_16.byte[1];
14         sendbuf[8] = convert_16.byte[0];
15         convert_32.dword = stamping.oil_pressure;
16         sendbuf[9] = convert_32.byte[3];
17         sendbuf[10] = convert_32.byte[2];
18         sendbuf[11] = convert_32.byte[1];
19         sendbuf[12] = convert_32.byte[0];
20
21         unlockVariableStamping_1();
22         len = 13;
23         ((struct sockaddr_in *)res->ai_addr)->sin_port =
                htons(UDP_PORT);
24         inet_ntoa_r(((struct sockaddr_in *)res->ai_addr)
                ->sin_addr, addrbuf, sizeof(addrbuf) - 1);
25         break;

```

Código fonte 4.3: Transmissão de dados

4.5 Visualização

O software LABVIEW foi empregado para desenvolver o ambiente gráfico de visualização dos dados adquiridos. A Figura 4.4 apresenta a lógica de interpretação dos dados que são coletados a partir do protocolo UDP, utilizou-se de blocos lógicos para processar a mensagem enviada pelo protocolo e gerar os gráficos desejados.

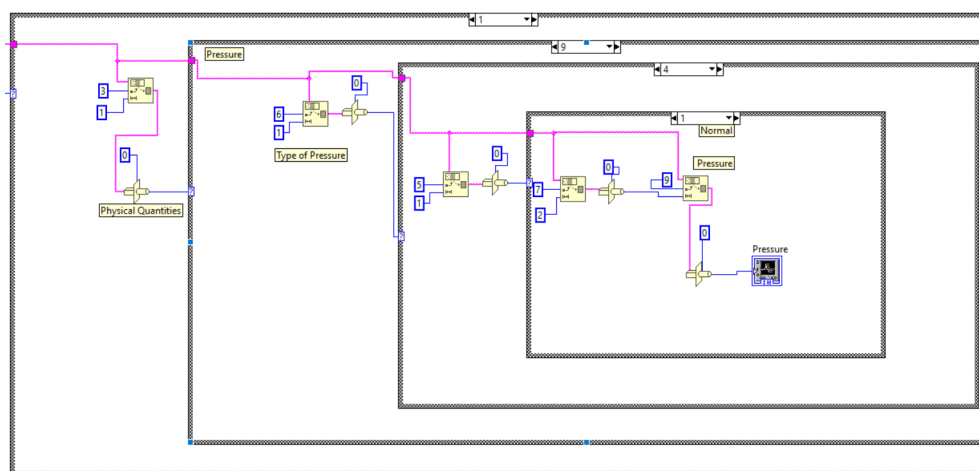


Figura 4.4: Lógica para interpretação de dados

Capítulo 5

Resultados e discussões

5.1 Aquisição de sinal

Os resultados da pesquisa de condicionamento de sinal foram obtidos através da análise dos limites de força que o extensômetro poderia medir. A figura 5.1 apresenta os testes em bancada para a calibração do extensômetro. Nela, pode ser observado o módulo de aquisição de sinais, a placa de desenvolvimento do CI ZSSC 4151, o circuito em ponte de Wheatstone montado numa *protoboard*, e ao fundo, a prensa hidráulica contendo a barra de alumínio onde foram conectados os sensores.

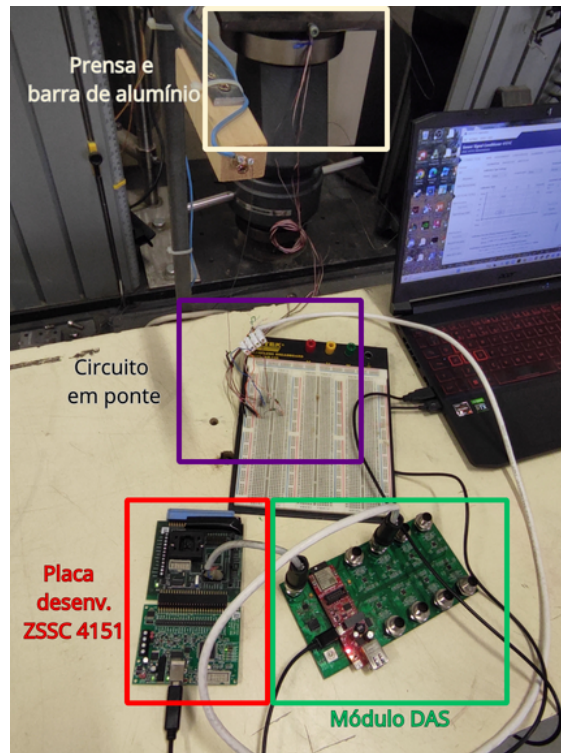


Figura 5.1: Calibração do sensor de filme fino para medir pressão em peça de metal

Após a realização dos testes, constatou-se que os sensores apresentaram uma boa resolução para forças exercidas no intervalo de 80 a 120 KN sobre a barra metálica. Variações inferiores a 80 KN não foram detectadas pelos sensores de filme finos conectados a barra metálica, enquanto o mesmo não consegue suportar compressões superiores a 120 KN. Para adequar o condicionador de sinal ZSSC 4151 aos requisitos do experimento, foram configurados valores que asseguraram uma tensão mínima de 0.65 volts quando a prensa estava sujeita a uma força de 80 KN, e uma tensão máxima de 3.3 volts quando a força atingia 120 KN.

Após a conclusão da calibração dos sensores, foi montada a arquitetura completa para o sistema de aquisição de dados proposto, conforme ilustrado na figura 3.4. Esta arquitetura inclui todos os dispositivos necessários para a comunicação entre os sensores e a interface de monitoramento do sinal. Os testes realizados seguiram os mesmos procedimentos utilizados na calibração do sensor de filme fino, utilizando a prensa hidráulica para observar

o comportamento do sistema, como é possível observar na figura 5.2.

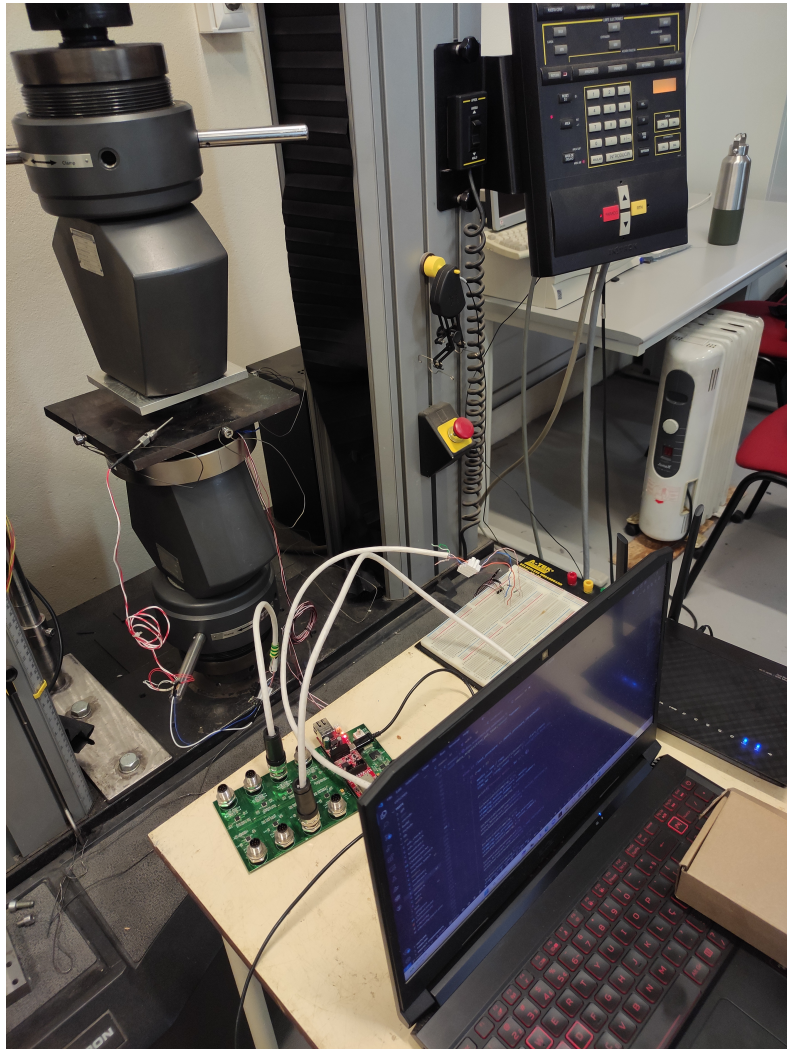


Figura 5.2: Configuração final do sistema de aquisição de dados

Os resultados obtidos são apresentados na figura 5.3, onde encontra-se a interface de monitoramento da prensa. A imagem mostra os três gráficos que são atualizados continuamente, sendo eles: compressão média e máxima e a temperatura. Existem outras informações que são apresentadas neste gráfico em formato de string, sendo elas: o endereço de IP da rede, a última mensagem enviada, o tempo de compressão da prensa e um LED sinalizando o alarme de temperatura.

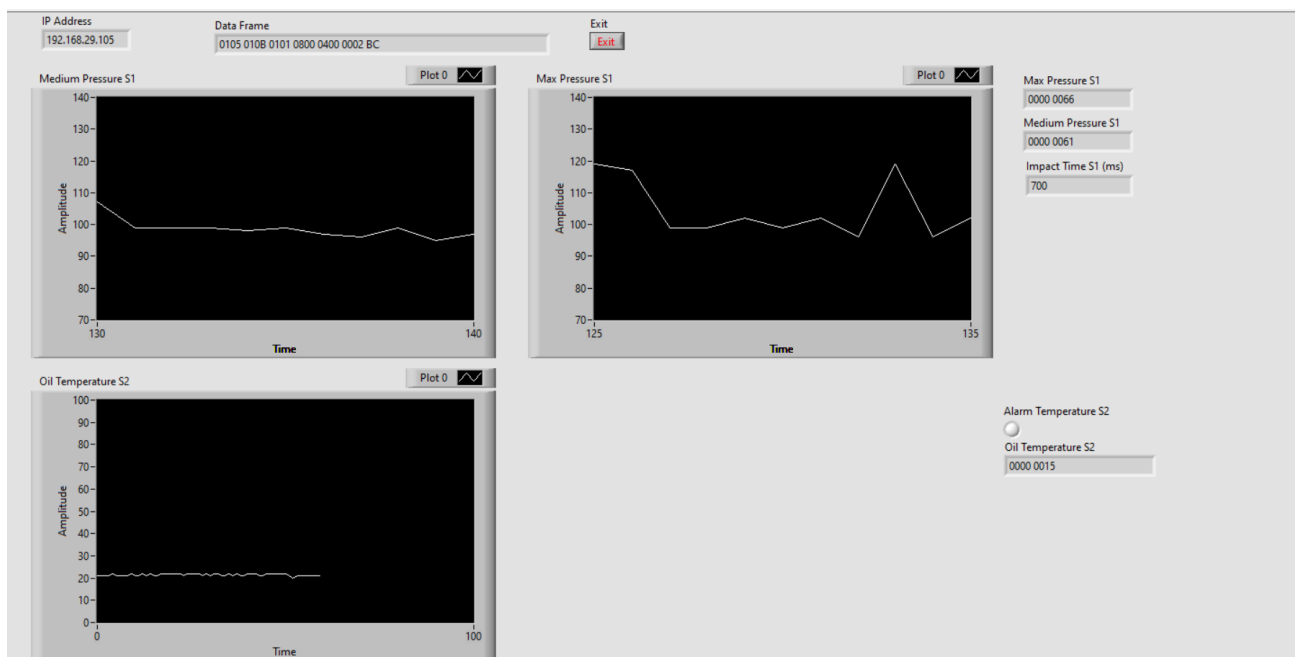


Figura 5.3: Tela de monitoramento de pressão e temperatura de prensa

A prensa do laboratório apresenta uma tela com a força exercida no material e foi utilizada como referência ao valor correto da compressão no material. Os resultados obtidos mostram-se satisfatórios, os gráficos de pressão na tela de monitoramento apresentadas na figura 5.3 estão de acordo com a variação da força que era ajustada na máquina e o gráfico de temperatura reflete a temperatura ambiente, uma vez que a prensa utilizada não possuía capacidade de aquecimento.

5.2 Transmissão de dados

A transmissão de informação do módulo de aquisição de sinais para rede é parte fundamental do sistema desenvolvido. Para isso, é necessário o monitoramento das informações como taxa de transferência dos dados recebidos e média de informação com relação ao tempo. Neste sentido, foi utilizado o *software* Wireshark para monitorar e analisar a

transmissão de dados entre o módulo de aquisição e o computador.

Os testes de transmissão de dados foram feitos alternando a velocidade em que o microcontrolador colhia os dados de pressão e verificava seu comportamento. Seguindo essa lógica, diminuiu-se gradativamente o intervalo de atualizações, começando com 50 milissegundos entre a leitura dos dados do extensômetro até 5 milissegundos.

A figura a seguir 5.4 apresenta o resultado das estatísticas realizadas a partir de diferentes intervalos de transmissão do microcontrolador. Ao observar a média de pacotes por segundo, *average packets per second*, é possível concluir que a mesma tem sua maior taxa no intervalo de 12 milissegundos, indicando uma conjunção entre velocidade de coleta de dados e eficiência na transmissão de dados. Também é possível concluir que, operando com intervalo de 12 ms, o sistema transmite cerca de 2,06 MB por hora.

Statistics

<u>Measurement</u>	<u>Captured</u>
Packets	226
Time span, s	185.852
Average pps	1.2
Average packet size, B	186
Bytes	42114
Average bytes/s	226
Average bits/s	1812

(a) Estatísticas 5ms.

Statistics

<u>Measurement</u>	<u>Captured</u>
Packets	1511
Time span, s	186.914
Average pps	8.1
Average packet size, B	61
Bytes	92272
Average bytes/s	493
Average bits/s	3949

(b) Estatísticas 10ms.

Statistics

<u>Measurement</u>	<u>Captured</u>
Packets	1658
Time span, s	183.548
Average pps	9.0
Average packet size, B	63
Bytes	104946
Average bytes/s	571
Average bits/s	4574

(c) Estatísticas 12ms.

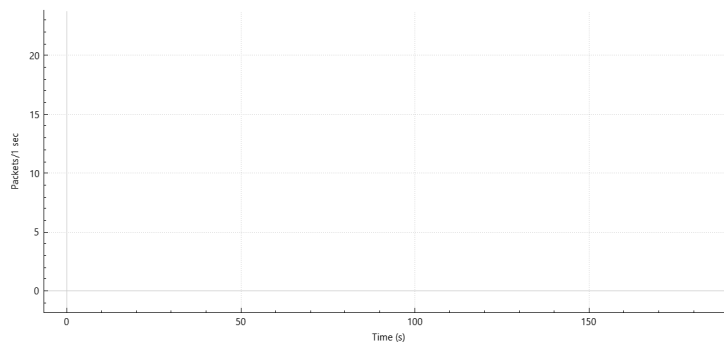
Statistics

<u>Measurement</u>	<u>Captured</u>
Packets	1028
Time span, s	177.021
Average pps	5.8
Average packet size, B	73
Bytes	75189
Average bytes/s	424
Average bits/s	3397

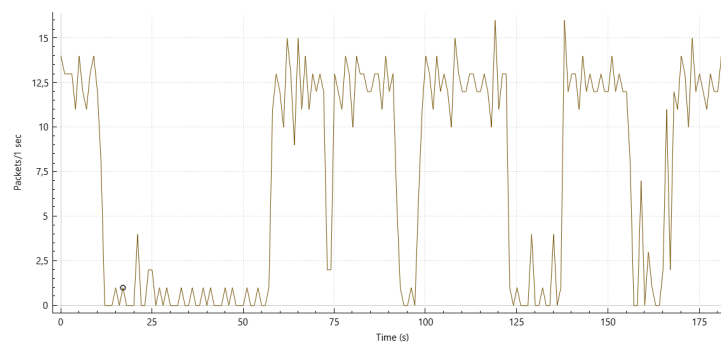
(d) Estatísticas 50ms.

Figura 5.4: Análise de transmissão de dados

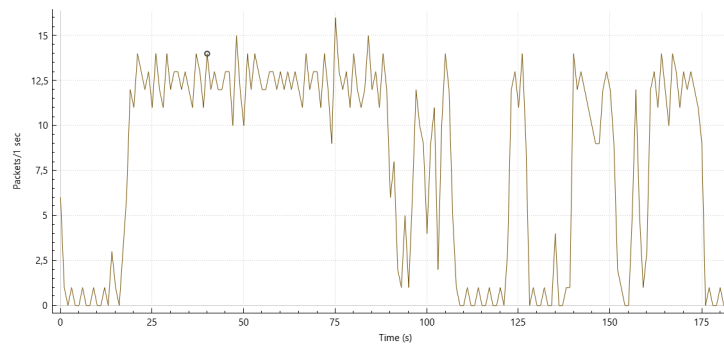
Os gráficos da figura 5.5 apresenta o comportamento da taxa de transferência das leituras dos sensores para a rede durante os testes. Os dados são enviados continuamente e tem uma maior taxa de transferência de dados em momentos em que a prensa está variando a força de compressão na peça metálica.



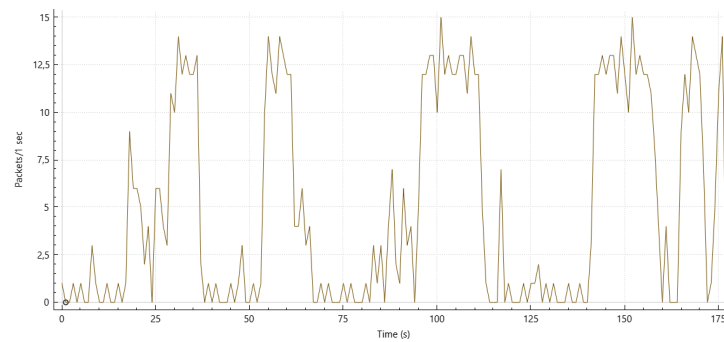
(a) Comportamento a 5ms.



(b) Comportamento a 10ms.



(c) Comportamento a 12ms.

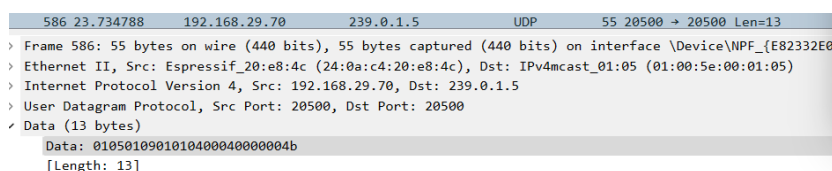


(d) Comportamento a 50ms.

Figura 5.5: Comportamento da taxa de transferência de dados por segundo

Analisando os gráficos da figura 5.5 e com o auxílio de um monitor serial para observar o comportamento do microcontrolador, foi possível concluir que no intervalo de 5 ms o sistema de aquisição de dados conseguia ler os valores dos sensores, entretanto, era incapaz de transmitir os dados para o computador, enquanto isso, nos demais intervalos, os dados eram lidos e enviados continuamente para a rede.

A figura 5.6 mostra com mais detalhes a captura de uma mensagem recebida pelo computador referente a transmissão de uma leitura do microcontrolador. Nesta mensagem, é possível observar dados relevantes como o endereço IP da fonte e do destinatário, o protocolo, a porta utilizada para enviar a mensagem e a própria mensagem, estruturada como planejada no capítulo 3.



```

586 23.734788 192.168.29.70 239.0.1.5 UDP 55 20500 → 20500 Len=13
> Frame 586: 55 bytes on wire (440 bits), 55 bytes captured (440 bits) on interface \Device\NPF_{E82332E0-...}
> Ethernet II, Src: Espressif_20:e8:4c (24:0a:c4:20:e8:4c), Dst: IPv4mcast_01:05 (01:00:5e:00:01:05)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.29.70, Dst: 239.0.1.5
> User Datagram Protocol, Src Port: 20500, Dst Port: 20500
> Data (13 bytes)
  Data: 0105010901010400040000004b
  [Length: 13]

```

Figura 5.6: Composição de mensagem enviada pelo microcontrolador

Os resultados dos testes apresentados foram satisfatórios, demonstrando que a topologia do sistema de aquisição de dados proposto é capaz de alcançar os objetivos estabelecidos. Destaca-se que a eficiência do projeto foi maximizada quando o microcontrolador operava com um intervalo de 12 milissegundos, permitindo tempo adequado para a leitura do sensor e a transmissão das informações para a rede. A padronização da mensagem por meio de um protocolo possibilita uma análise mais eficiente das informações enviadas para a rede, facilitando a aplicação de algoritmos de processamento dos dados. A abordagem de enviar apenas a compressão média e máxima da prensa mostrou-se eficiente, de forma a evitar o envio constante da pressão instantânea. Isso resulta em uma redução significativa do tráfego de informações na rede, sem comprometer a integridade das informações essenciais para o monitoramento da prensa.

Capítulo 6

Conclusões

Como considerações finais do projeto desenvolvido, pode-se dizer que o objetivo de desenvolver um sistema de aquisição de dados capaz de funcionar em uma variedade de ambientes industriais foi plenamente realizado e foi possível construir a estrutura para um sistema de coleta de dados de vários pontos, em conjunto com um protótipo para coletar informação sobre pressão e temperatura para uma prensa, e criar uma interface visual para monitorar a coleta de dados.

Os gráficos adquiridos a partir da tela de monitoramento criada para o projeto mostram que o sistema funcionou adequadamente e apresentava as mudanças em tempo real da variação de pressão e temperatura da prensa utilizada em laboratório, mostrando um sistema preciso e útil para o acompanhamento do processo.

Os resultados dos testes foram igualmente otimistas em relação à transmissão de dados. As condições em que o microcontrolador operava a intervalos de doze milissegundos demonstraram que a topologia do sistema sugerida foi eficaz na consecução dos objetivos estabelecidos. Esse intervalo permitiu tempo suficiente para sensores lerem e enviar dados para a rede, maximizando a eficiência do projeto. A estratégia de enviar apenas a pressão média e máxima ajudou a reduzir o tráfego de informação na rede, sem comprometer a entrega de dados úteis ao sistema de monitoramento, enquanto isso, o protocolo utilizado para padronização das mensagens facilitou a análise e processamento das informações obtidas.

Finalmente, os resultados deste projeto mostram que o sistema de aquisição de dados desenvolvido é capaz de atender às necessidades de monitoramento em ambientes industriais, oferecendo uma eficiente e confiável opção para a coleta e transmissão de informações cruciais em tempo real.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se verificar a aplicabilidade e performance desse sistema em condições de operações reais. Ademais, é interessante promover o desenvolvimento de um sistema capaz de armazenar os resultados coletados pelo módulo de aquisição de sinais, de tal forma a obter um histórico de informação para posterior análise e identificação do comportamento no decorrer do tempo.

Bibliografia

- [1] H. Taylor, *Data Acquisition for Sensor Systems*, 1st. London, UK: Springer US, 1997, ISBN: 9781475749052.
- [2] C. N. da Indústria, «Sondagem Especial 83 - Indústria 4.0 cinco anos depois,» Confederação Nacional da Indústria, rel. téc., 2022.
- [3] R. M. D. S. FERREIRA, *INDÚSTRIA 4.0 - ESTUDO DA PERCEÇÃO NA INDÚSTRIA PORTUGUESA*, 2022.
- [4] M. A. Bussmann, *Condicionamento de sinal para sistema de aquisição de dados em superfícies metálicas finas*, 2020.
- [5] N. Nonato, *Data acquisition system for fine surface process monitoring*, 2020.
- [6] I. V. F. Sampaio, *Desenvolvimento de um Sistema de Aquisição de Dados Modular e Escalável com Comunicação sem Fio para Aplicações Industriais*, 2023.
- [7] V. V. Shanbhag, B. F. Rolfe, N. Arunachalam e M. P. Pereirab, «Investigating galling wear behaviour in sheet metal stamping using acoustic emissions,» *Wear*, 2018.
- [8] O. M. Ikumapayi, S. A. Afolalu, J. F. Kayode, R. A. Kazeem e S. Akande, «A concise overview of deep drawing in the metal forming operation,» *Material Today: Proceedings*, 2022.
- [9] T. Skåre e F. Krantz, «Wear and frictional behaviour of high strength steel in stamping monitored by acoustic emission technique,» *Elsevier Science*, 2003.

- [10] N. S. S. M. da Fonsêca, *SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MONITORAMENTO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO*, 2015.
- [11] Nunes, Marcílio e Larissa, *Sensores e Transdutores*, Notas de aula, Universidade de São Paulo.
- [12] E. C. Ferreira, *Sensores, Condicionamento e Aquisição de Dados*, Notas de aula, Universidade de Campinas.
- [13] *SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS*, Notas de aula, Escola Superior de Tecnologia de Viseu.
- [14] T. Instruments. «Principles of Data Acquisition and Conversion.» Acessado em: 22/01/2024. (1994), URL: <https://www.ti.com/lit/an/sbaa051a/sbaa051a.pdf>.
- [15] J. F. Kurose e K. W. Ross, *Computer networking: a top-down approach*, 6st. Pearson, 2013, ISBN: 978-85-430-1443-2.
- [16] G. V. BOCHMANN e C. A. SUNSHINE, «Formal Methods in Communication Protocol Design,» *IEEE*, 1980.
- [17] A. B. Cosmi e V. F. S. Mota, «Uma Analise dos Protocolos de Comunicação para Internet ~ das Coisas,» *Universidade Federal do Espírito Santo*, 2019.
- [18] C. J. Kalkman, «LabVIEW: A SOFTWARE SYSTEM FOR DATA ACQUISITION, DATA ANALYSIS, AND INSTRUMENT CONTROL,» *Journal of Clinical Monitoring*, 1995.
- [19] A. Krauß, U. Weimar e W. Goëpel, «LabView for sensor data acquisition,» *Trends in Analytical Chemistry*, 1999.
- [20] G. Faraco e L. Gabriele, «Using LabVIEW for applying mathematical models in representing phenomena,» *Computers & Education* 49, 2007.
- [21] A. Maier, A. Sharp e Y. Vagapov, «Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things,» *IEEE*, 2017.

- [22] M. Babiuch, P. Foltýnek e P. Smutný, «Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing,» *IEEE*, 2019.
- [23] P. M. da Silva Oliveira Pinto, *Projeto de um sistema de aquisição de dados para a manutenção preditiva de uma unidade embarcada de produção de ar comprimido*, 2019.
- [24] H. Kagermann, W. Wahlster e J. Helbig, «Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0,» Tech. Rep. 2013.
- [25] C.-W. Hsu, A. Ulsoy e M. Demeri, «Development of process control in sheet metal forming,» *Journal of Materials Processing Technology*, 2002.
- [26] J. B. Roeber, S. K. Pitla, R. M. Hoy, J. D. Luck e M. F. Kocher, «DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A TRACTOR DRAWBAR FORCE MEASUREMENT AND DATA ACQUISITION SYSTEM (DAQ),» *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2017.
- [27] D. J. A. Borlido, *Indústria 4.0 – Aplicação a Sistemas de Manutenção*, 2017.