



Equipamento de ensaio de durabilidade para válvulas a GN e GPL.

Luís Filipe Lopes Moreira

Relatório Final de Estágio apresentado na Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador:

Prof. Doutor João Ribeiro

Supervisor de empresa

Eng. Carlos Barbosa

Fevereiro de 2025



Equipamento de ensaio de durabilidade para válvulas a GN e GPL.

Luís Filipe Lopes Moreira

Relatório Final de Estágio apresentado na Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador:

Prof. Doutor João Ribeiro

Supervisor de empresa

Eng. Carlos Barbosa

Este Relatório Final de Estágio inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri

Fevereiro de 2025

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças ao contributo de várias pessoas e instituições, a quem estarei eternamente grato.

Um grande obrigado ao meu supervisor da empresa Carlos Barbosa pela proposta desafiadora para fazer este projeto. Ao meu Professor João Ribeiro pela orientação ao longo do período deste projeto. Aos meus professores que sempre que tive dúvidas ajudaram fora de horas. Sem qualquer problema, o Tiago Ribeiro ajudou-me sempre que precisei a respeito do cálculo matemático para determinar os ciclos por minuto.

Quero agradecer ao CATIM por ser muito bem-vindo com portas abertas e flexíveis para tudo. Aos meus colegas de trabalho que com dicas sempre abriram-me caminhos para melhorias, um principal ao Bruno Frontoura que apesar de ocupado com o telemóvel a tocar ajudava-me com grande vontade.

Um grande agradecimento especial aos meus pais que sempre me apoiaram com tudo para estar aqui a mostrar as minhas habilidades, a eles tenho um obrigado eterno.

Resumo

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um equipamento de ensaios de durabilidade para válvulas de GN e GPL, com o cumprimento de requisitos da norma EN331 e do CATIM.

O equipamento foi projetado para ser ergonómico, preciso, robusto, modular, intuitivo e de fácil utilização. Foram escolhidos os materiais e componentes para a estrutura, e desenhada em software CAD. O Arduino é responsável pelo controlo dos sensores e atuadores.

Finalizado a montagem, foram realizados ensaios de teste, a validação dos sensores e atuadores com ferramentas certificadas, e uma comparação do custo final com outros equipamentos.

Com todos os requisitos finalizados e validados, o equipamento foi desenvolvido com sucesso.

Palavras-chaves: Ensaios de durabilidade, válvulas de gás, EN331, CATIM, automação, GN, GPL.

Abstract

This work describes the development of a durability testing device for NG and LPG gas valves, compliant with the requirements of the EN331 standard and CATIM.

The equipment was designed to be ergonomic, precise, robust, modular, intuitive, and easy to use. Materials and components were selected for the structure and designed using CAD software. Arduino is responsible for controlling the sensors and actuators.

After assembly, testing trials were conducted, validating the sensors and actuators with certified tools, and comparing the final cost with other equipment.

With all requirements completed and validated, the equipment was successfully developed.

Keywords: Durability tests, gas valves, EN331, CATIM, automation, NG, LPG.

1. Índice

Agradecimentos	III
Resumo	IV
Abstract.....	V
1. Índice	1
2. Índice de Figuras	4
3. Índice de tabelas	7
4. Simbologia.....	8
5. Introdução.....	9
5.1. Objetivos.....	9
5.2. Organização do relatório	10
5.3. CATIM.....	10
6. Equipamentos existentes no mercado.....	12
6.1. Equipamento de ensaio Instron.....	12
6.2. Equipamento de ensaio BESMAK	13
6.3. Equipamento de ensaio ZwickRoell	13
6.4. Equipamento de ensaio do CATIM existente atualmente.....	14
6.4.1. Características e Funcionamento	14
6.4.2. Problemas de Funcionamento.....	17
7. Fundamentação teórica	18
7.1. Norma EN331 para Válvulas de Gás.....	18
7.1.1. Descrição dos parâmetros de teste.....	18
7.2. Válvulas de gás.....	20
7.3. Aplicações e Relevância dos Ensaio de Durabilidade	21
7.4. Estrutura do equipamento de ensaio de durabilidade	21

7.5.	Componentes Mecânicos e Eletrônicos do Equipamento.....	22
7.5.1.	Motor de Passo e Encoder	22
7.5.2.	Caixa de transmissão	22
7.5.3.	Célula de carga	24
7.5.4.	Arduino e Esp-01	24
7.5.5.	Display Nextion.....	25
7.6.	Princípios de Medição e Registro de Dados	25
8.	Metodologia.....	27
8.1.	Desenho e Planeamento do Equipamento	27
8.1.1.	Definição dos Requisitos Técnicos.....	27
8.1.2.	Desenho da estrutura e da caixa CATIM.....	28
8.1.3.	Ergonomia, funcionalidade e segurança do equipamento	30
8.1.4.	Seleção dos Componentes Eletrônicos e Mecânicos.....	33
8.2.	Montagem do Equipamento	37
8.2.1.	Estrutura e caixa CATIM.....	37
8.2.2.	Instalação dos Componentes Eletrônicos	39
8.3.	Programação	41
8.3.1.	Desenvolvimento do código	41
8.3.2.	Configuração do Display Nextion	43
8.3.3.	Comunicação e Registo de Dados	46
8.4.	Esquema elétrico.....	50
8.5.	Calibração	52
9.	Resultados e Discussões	55
9.1.	Ensaio	55
9.2.	Binário	56
9.3.	Posição.....	57

9.4.	Ciclos por minuto	60
9.5.	Custo e comparação do equipamento	62
10.	Conclusão	63
10.1.	Conclusão do trabalho	63
10.2.	Trabalhos Futuros	63
11.	Bibliografia.....	64
12.	Anexo A - Esquema e instalação elétrica completa.....	66
13.	Anexo B – Verificações de calibração	68
13.1.	Binário	68
13.2.	Posição da válvula	71
14.	Anexo C - Certificados de calibração.....	74
14.1.	Chaves dinamométricas.....	74
14.2.	Suta.....	76
15.	Anexo D – Código Arduino IDE	77
15.1.	Código inserido no Arduino	77
15.2.	Código inserido no ESP-01	85
16.	Anexo E – Desenhos Cotados	88

2. Índice de Figuras

Figura 1- Equipamento de durabilidade CATIM.....	14
Figura 2 - Solenoides pneumáticos com manómetro de pressão.....	15
Figura 3 - Pistão pneumático rotativo.....	15
Figura 4- Rodas dentadas e correia do pistão pneumático rotativo.....	16
Figura 5 - Chave dinamométrica para regular o binário de manobra máximo.....	16
Figura 6 – Fixação da válvula no equipamento atual	17
Figura 7 - Representação de uma válvula de gás cortada. Fonte: (BonGas, 2024).....	20
Figura 8 - Ponte de Wheatstone.....	24
Figura 9 - Desenho em SolidWorks da estrutura modelo 1	28
Figura 10 - Desenho em SolidWorks da estrutura modelo 2 com alteração do armário e sistema de elevação da válvula.....	28
Figura 11- Desenho em SolidWorks da caixa CATIM modelo 1	29
Figura 12 - Desenho em SolidWorks da caixa CATIM modelo 2 com novos suportes para o Esp-01 e o amplificador de sinal do transdutor de binário	29
Figura 13 - Posição ergonómica do display.....	30
Figura 14- Posição ergonómica da válvula.....	30
Figura 15 - Armário para arrumos	31
Figura 16 - Botoneira de emergência	32
Figura 17 - Sistema eléctrico aplicado em calhas e abraçadeiras.....	32
Figura 18 - Motor acoplado à caixa redutora	34
Figura 19 - Encoder	34
Figura 20 - Transdutor de binário	35
Figura 21 - Arduino Mega usado no projeto	35
Figura 22 - Esp-01 usado no projeto	36
Figura 23 - Display Nextion usado no projeto	36
Figura 24 - Estrutura montada pela empresa especialista.....	37
Figura 25 - Impressão da caixa CATIM	38
Figura 26 - Montagem do motor com a caixa redutora	39
Figura 27 - Roda dentada e adaptador para transdutor de binário.....	39
Figura 28 - Montagem do encoder e transdutor de binário	40

Figura 29 - Fixação da válvula na posição aberta	41
Figura 30 - Fixação da válvula na posição fechada.....	41
Figura 31 - Código do movimento do motor passo	42
Figura 32 - Página 0 do display Nextion	44
Figura 33 - Página 1 do display Nextion	45
Figura 34 - Página 2 do display Nextion	45
Figura 35 - Diagrama da comunicação.....	46
Figura 36 - Dados imprimidos no Serial Monitor do Arduino	46
Figura 37 - Leitura dos dados pelo Esp-01 enviados pelo Arduino.....	47
Figura 38- Endereço HTTP enviado para o Google Sheets.....	47
Figura 39 - Código Apps Script no Google Sheets.....	48
Figura 40 - Esquema elétrico do motor passo e do encoder	50
Figura 41- Esquema elétrico do Esp-01 e do display Nextion	51
Figura 42 - Esquema elétrico do transdutor de binário com o amplificador de sinal.....	51
Figura 43- Fixação do transdutor à estrutura.....	52
Figura 44 - Braço de 250 mm com massas.....	53
Figura 45 - Equação da reta do transdutor de binário.....	54
Figura 46 - Confirmação do binário de 4Nm no sentido anti-horário	56
Figura 47 - Confirmação do binário de 10 Nm no sentido horário	57
Figura 48 - Transferidor impresso para medir a posição já centrado	57
Figura 49 - Posição 0°.....	58
Figura 50 – Valor da Posição a 0° mostrado pelo display	58
Figura 51 - Posição 45°.....	59
Figura 52 – Valor da posição a 45° mostrado pelo display.....	59
Figura 53 - Verificação com uma suta calibrada para a validação do valor de 45°	60
Figura 54 - Configurar a velocidade do ensaio de 5 ciclos por minuto.....	60
Figura 55 - Contabilização de número de ciclos em 1 minuto de ensaio	61
Figura 56 - Contabilização de número de ciclos em 10 minuto de ensaio	61
Figura 57 - Esquema elétrico completo	66
Figura 58 - Organização da instalação elétrica.....	67
Figura 59 - Organização da instalação elétrica na caixa CATIM	67
Figura 60 - Confirmação do binário de 15 Nm no sentido anti-horário	68

Figura 61 - Confirmação do binário de 10 Nm no sentido anti-horário	68
Figura 62 - Confirmação do binário de 6 Nm no sentido anti-horário	68
Figura 63 - Confirmação do binário de 4 Nm no sentido anti-horário	69
Figura 64 - Confirmação do binário de 2 Nm no sentido anti-horário	69
Figura 65 - Confirmação do binário de 2 Nm no sentido horário	69
Figura 66 - Confirmação do binário de 4 Nm no sentido horário	70
Figura 67 - Confirmação do binário de 6 Nm no sentido horário	70
Figura 68 - Confirmação do binário de 10 Nm no sentido horário	70
Figura 69 - Confirmação do binário de 15 Nm no sentido horário	71
Figura 70 - Posição 90°	71
Figura 71 - Valor da posição a 90° mostrado pelo display	72
Figura 72 - Verificação com uma suta calibrada para a validação do valor de 90°	72
Figura 73 - Posição 120°	73
Figura 74 - Valor da posição a 120° mostrado pelo display	73
Figura 75 - Verificação com uma suta calibrada para a validação do valor de 120°	73

3. Índice de tabelas

Tabela 1 - Número de operações para cada diâmetro nominal.....	18
Tabela 2 - Binário máximo extipulado pelo diâmetro nominal.....	19
Tabela 3 - Caudal nominal estipulado	19
Tabela 4 - Delay do movimento do motor passo	42
Tabela 5- Exemplo de um registo de dados no Google Sheets.....	49
Tabela 6 - Valores de binário registados pela calibração.....	54
Tabela 7- Verificação do binário máximo definido	55
Tabela 8 - Preço de todo o material usado no equipamento	62
Tabela 9 - Preço dos equipamentos	62

4. Simbologia

α	Ângulo de inclinação	°
m	Massa	kg
T	Temperatura	°C
τ	Binário	N·m
Ω	Resistência	ohm

5. Introdução

O desenvolvimento de equipamentos de ensaio de durabilidade para válvulas de GN e GPL é uma área de grande importância na indústria de componentes de gás, especialmente, para garantir a conformidade com normas de segurança, como a EN 331. As válvulas de gás desempenham um papel essencial no controle de fluxo nos sistemas, por isso, a sua durabilidade, eficiência e segurança são cruciais para evitar riscos de falhas operacionais. Os ensaios de durabilidade são realizados para testar a resistência dessas válvulas ao longo da vida útil, simulando condições reais de operação com cargas repetitivas.

Foi desenvolvido um equipamento de ensaio de durabilidade de válvulas de gás no CATIM. Este equipamento também integra algumas inovações tecnológicas que proporcionam uma interface intuitiva e com monitoração remota em tempo-real. Estas características representam melhorias significativas sobre o equipamento atualmente disponível.

5.1. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento de ensaio de durabilidade para válvulas de gás que atenda às exigências da norma EN 331, oferecendo melhorias em relação ao sistema atual do CATIM em termos de precisão, ergonomia e automação. Mais especificamente, o equipamento deve:

- Realizar ciclos de manobra estipulados entre 0 e 5000 ciclos;
- Medir o binário exercido pela válvula e interromper o ensaio caso o binário máximo seja excedido;
- Definir a velocidade para 5 ciclos por minuto;
- A estrutura deve permitir acesso à entrada e saída do fluxo de gás da válvula;
- Registrar os parâmetros do ensaio;
- Proporcionar uma estrutura ergonômica ao operador.

5.2. Organização do relatório

Este relatório está estruturado em diversas secções que abordam os principais aspetos do projeto.

A primeira secção apresenta o estado da arte, incluindo uma revisão detalhada dos equipamentos de ensaio de durabilidade disponíveis no mercado, dando destaque às suas características e limitações.

Na segunda secção descreve, a fundamentação teórica discute a norma EN 331, nomeadamente os requisitos do ensaio de durabilidade para garantir a conformidade das válvulas de gás.

A secção de metodologia descreve o processo de “*design*” e planeamento do novo equipamento, e inclui a seleção de componentes eletrónicos e mecânicos, o desenvolvimento da interface gráfica, assim como a implementação do sistema de monitorização remota. Também está detalhada a montagem do equipamento, nomeadamente a fabricação e instalação dos componentes.

Por fim, a secção de resultados e discussão apresenta a avaliação do desempenho do equipamento desenvolvido, discutindo as suas capacidades em comparação com os equipamentos analisados no estado da arte. O trabalho conclui com as considerações finais, destacando as contribuições do projeto e possíveis melhorias futuras.

5.3. CATIM

Em 1980, a AIMMAP (Associação dos Industriais Metalúrgicos, Metalomecânicos e Afins de Portugal) estabeleceu um protocolo com a DGQ (Direção Geral da Qualidade), o IAPMEI (Instituto de Apoio à Pequenas e Medias Empresas e ao Investimento) e o LNETI (Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial), para criar o CATIM (Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica). Em 1983, o Decreto-Lei nº 461/83 enquadrou formalmente os centros tecnológicos como estruturas de apoio técnico e tecnológico à indústria nacional. No mesmo ano, com o apoio das empresas fabricantes de aparelhos a gás, foi criado o Laboratório de Material de Queima, dedicado à realização de ensaios de conformidade de produtos, com normas aplicáveis em diversos mercados (NP, NF, DIN, BS, etc.). Em 1986, o CATIM foi oficialmente instituído pelo

Decreto-Lei n.º 249/86, a 25 de Agosto, tendo como sócios fundadores a AIMMAP, o IAPMEI e o INETI. Desde então, o CATIM expandiu suas atividades, desenvolvendo novos laboratórios e unidades funcionais. Atualmente, o CATIM possui instalações no Porto, Lisboa e Braga, contando com cerca de 100 colaboradores, 720 associados e 3500 clientes ativos. (CATIM, História, 2024)

O CATIM é uma instituição privada de utilidade pública sem fins lucrativos, criada para promover a inovação e competitividade das indústrias nacionais da metalomecânica e setores afins. Fundado ao abrigo do Decreto-Lei n.º 249/86 e alterado pelo Decreto-Lei n.º 312/95, é registado como Instituição de Utilidade Pública e sua missão é apoiar tecnicamente as indústrias metalomecânicas portuguesas (CATIM, Missão, 2024).

Entre os serviços prestados pelo CATIM (CATIM, CATIM Academy, 2024), destacam-se:

- Ensaaios a materiais e produtos: Realização de testes para garantir a sua qualidade e conformidade;
- Metrologia aplicada e legal: Serviços de calibração de instrumentos de medição, de forma a assegurar a sua precisão e conformidade, com os padrões legais;
- Certificação de produtos: Atribuição da marcação CE, comprovando que os produtos atendem aos requisitos das diretivas europeias;
- Formação: Programas capacitados a desenvolvimento profissional, abrangendo diversas áreas técnicas e de gestão.

6. Equipamentos existentes no mercado

Existem poucos equipamentos no mercado para realização deste tipo de ensaio, tendo em conta a sua especificidade. Todavia, existem equipamentos capazes de serem adaptados para este ensaio tais como: o ElectroPuls® E3000 da Instron, o BESMAK BMT-T Series Rotary Bending Fatigue Test Machine e o ZwickiLine da ZwickRoell; este último, utilizado, atualmente, no CATIM. Estes equipamentos são projetados para realizar ensaios que avaliam a durabilidade de componentes submetidos a forças cíclicas, e podem ser adaptados para realizar ensaios de durabilidade em válvulas de gás.

6.1. Equipamento de ensaio Instron

O ElectroPuls® E3000 Linear-Torsion (Instron, 2024) é um equipamento de testes mecânicos desenvolvido pela empresa Instron, e foi projetado para realizar ensaios aplicando força axial e binário. Tem capacidade para aplicar esforços axiais até 3 kN e binários até 25 N·m. Este equipamento foi projetado para realizar uma ampla gama de ensaios mecânicos estáticos e dinâmicos, desde ensaios de torção até ensaios de fadiga, com elevada versatilidade e precisão.

Com uma velocidade máxima de deslocamento linear de 2 m/s, e um curso de deslocamento linear até 60 mm, proporciona flexibilidade em ensaios que exigem variações significativas de deformação. No modo de rotação única o curso de rotação varia até 135°, e é utilizado quando há a necessidade de movimentos limitados e controlados de torção. Enquanto no modo de rotação contínua, pode realizar um curso de rotação até 5760°, correspondente a 16 rotações. Este modo é utilizado usualmente em ensaios que requerem várias rotações completas ou ciclos repetitivos, para a avaliação da resistência e durabilidade a ciclos de torção.

Este equipamento é uma opção para a realização de ensaios de durabilidade de válvulas de gás, no entanto, é necessário adaptá-lo com alguns acessórios.

6.2. Equipamento de ensaio BESMAK

A empresa BESMAK (BESMAK, 2024) é uma empresa especializada na fabricação de equipamentos de testes e medição. A BESMAK desenvolveu o equipamento BMT-T Series Rotary Bending Fatigue Test Machine especializado em testes de fadiga.

Para realizar o ensaio, aplica-se uma carga à amostra, e amplitude da flexão rotativa pode ser ajustada automaticamente com auxílio de um sistema de parafuso e engrenagem. O sistema de teste é composto por um suporte, sistema de medição de carga, um servo motor, uma unidade de controle eletrônico e software de teste dinâmico. Possui um sistema que permite a adaptação de amostras com diferentes comprimentos. A unidade de controle eletrônico possui 4 canais, sendo 2 internos, 2 externos, 1 canal RS232-485 e é capaz de controlar 7 sensores. O sistema opera com uma taxa de amostragem de 1000 dados por segundo, e exporta os dados dos resultados em forma de relatório ou em formato Excel.

Este modelo da BESMAK apresenta características para a realização de ensaios de durabilidade de válvulas de gás.

6.3. Equipamento de ensaio ZwickRoell

O ZwickiLine da ZwickRoell (ZwickRoell, 2024) foi projetado principalmente para ensaios de tração, compressão e flexão. No entanto, pode ser configurado para realizar ensaios de torção com o uso de acessórios específicos. O binário aplicável pode variar entre 0,2 N·m a 20 N·m, por isso, é, normalmente, utilizado para testar componentes com baixa resistência ao binário como fios elétricos, veios e polímeros. Além de torção estática, o ZwickiLine pode ser configurado para realizar ensaios cíclicos de torção, através de binários repetitivos para avaliar a resistência à fadiga de um material ou componente.

Este equipamento, também apresenta características compatíveis para a realização de ensaios de durabilidade de válvulas de gás.

6.4. Equipamento de ensaio do CATIM existente atualmente

O equipamento atualmente utilizado no CATIM, representado na Figura 1, data de 1992 (CATIM, Máquina de durabilidade de válvulas de gás, 1992), e foi desenvolvido para realizar ensaios a válvulas de gás enquadrados nas seguintes normas: NF E 29-135; NF E29-138; NF M 88-771; NP 1036; ISO 9012; EN331. Todavia, este equipamento, apesar de funcional, já se encontra obsoleto.



Figura 1- Equipamento de durabilidade CATIM

6.4.1. Características e Funcionamento

Como podemos ver na Figura 1, o equipamento é composto por:

- Três unidade de acionamento: permitem realizar ensaios a três válvulas ao mesmo tempo;
- Uma estufa com controlo de temperatura entre 20°C a 200°C;
- Uma consola de programação controlado por um autómato.

O equipamento utiliza acionamento pneumático (Figura 2) com a pressão sendo controlada por um redutor na entrada e dois manômetros que permitem visualizar as pressões de entrada e do circuito. Os solenoides pneumáticos são controlados pelo autômato.



Figura 2 - Solenoides pneumáticos com manômetro de pressão

O acionamento é executado por um pistão pneumático rotativo representado na Figura 3, incorporando dois batentes limitadores, que permitem ajustar o ângulo de abertura e fecho da válvula.

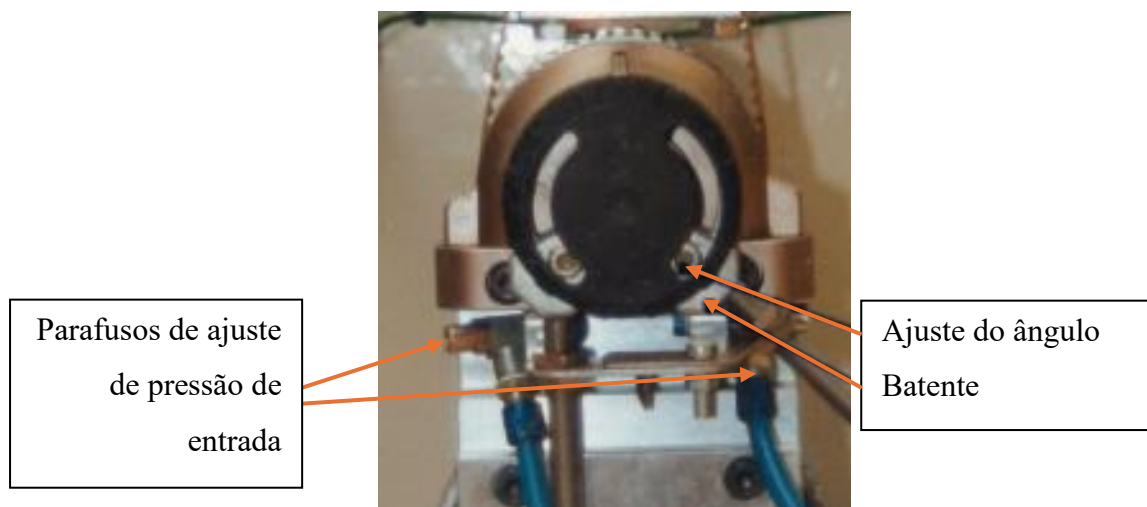


Figura 3 - Pistão pneumático rotativo

O sentido de rotação do pistão rotativo pode ser trocado através da inversão das entradas/saídas pneumáticas. Nessas conexões um parafuso regulador que permite ajustar o caudal de ar comprimido, permitindo um ajuste fino do binário e velocidade aplicados.

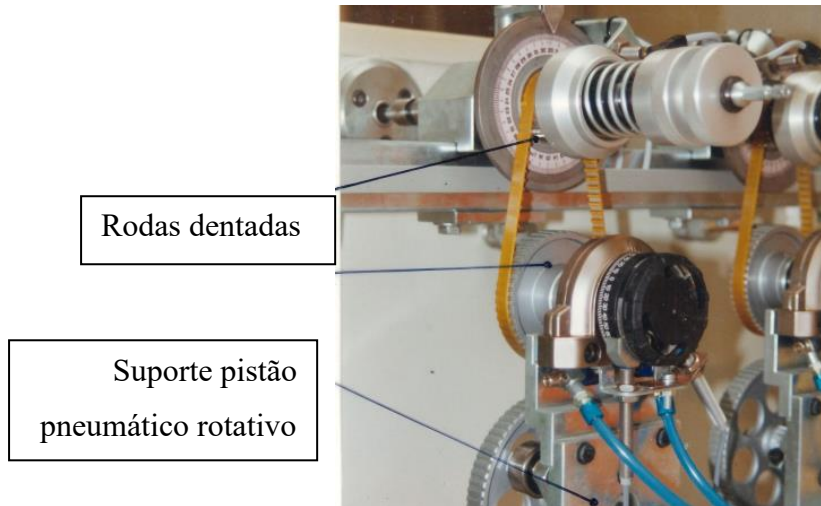


Figura 4-Rodas dentadas e correia do pistão pneumático rotativo

A Figura 4 apresenta o sistema de acionamento da válvula, constituído pelo pistão pneumático rotativo e o sistema de transferência do momento, composto por um conjunto de correias e rodas dentadas.

O binário máximo é ajustado manualmente através de uma mola comprimida, sendo, no entanto, necessária a confirmação com chave dinamométrica (Figura 5). O objetivo deste sistema é desacoplar o momento exercido pelo pistão à válvula, assim que exceda o binário máximo estipulado.



Figura 5 - Chave dinamométrica para regular o binário de manobra máximo

A Figura 6 mostra a válvula instalada na estufa, assim como, os suportes especiais e ajustes de excentricidade para evitar possíveis desalinhamentos.

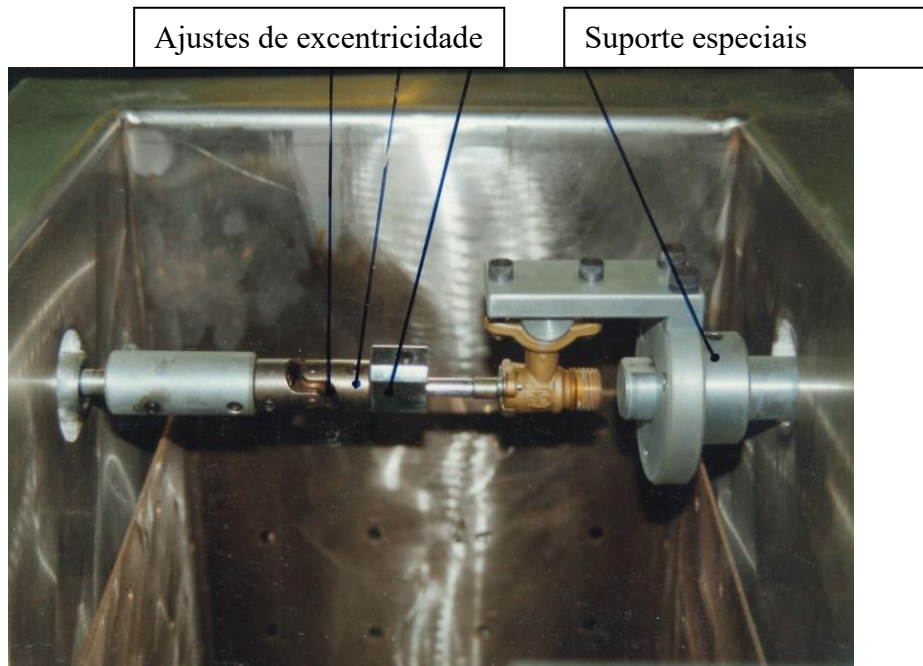


Figura 6 – Fixação da válvula no equipamento atual

6.4.2. Problemas de Funcionamento

Por ser um equipamento antigo e com muitas horas em funcionamento, apresenta, atualmente, alguma falhas de funcionamento, tais como:

- O autômato, não realiza o comando dos solenoides;
- Devido às folgas, o controlo do binário de manobra máximo quando excede o binário definido não faz a paragem correta;
- O tempo e a velocidade de um ciclo não estão sincronizados. Desta forma, a solenoide abre e fecha no tempo certo do ciclo, mas como a velocidade de acionamento é sempre superior, a válvula fica em repouso a aguardar que a solenoide inverta o sentido.

7. Fundamentação teórica

7.1. Norma EN331 para Válvulas de Gás

A norma EN 331 é uma norma europeia que estabelece requisitos para válvulas de machos esférico e cónico com fundo plano destinadas à utilização em instalações de gás dos edifícios.

7.1.1. Descrição dos parâmetros de teste

As válvulas e os seus componentes (vedantes, obturadores, manípulos, etc.) são sujeitos a requisitos técnicos da norma EN 331, a qual obriga à realização de vários ensaios, de entre os quais, o ensaio da durabilidade e de estanquidade. Neste ensaio de durabilidade, o órgão de manobra manual da válvula deve resistir a uma série de ciclos de funcionamento à temperatura ambiente. Os ciclos de funcionamento são estipulados consoante o tamanho nominal da válvula conforma a Tabela 1 (NP EN 331, 2016).

Tabela 1 - Número de operações para cada diâmetro nominal

Diâmetro nominal (DN)	Número de operações
≤ 15	5000
20 – 25	2500
32 – 40 – 50	1000
65 – 80 – 100	500

Durante o ensaio, o binário de manobra deve cumprir os requisitos indicados na Tabela 2, que mais uma vez são estipulados consoante o seu diâmetro nominal (NP EN 331, 2016).

Tabela 2 - Binário máximo extipulado pelo diâmetro nominal

DN	Binário (N.m)	
	Temperatura ambiente °C	Baixa temperatura °C
< 15	4	6
15	7	11
20		
25		
32	14	21
40		
50		
65	35	52
80	45	68
100	65	98

A válvula inserida no equipamento não pode sofrer qualquer tipo de torção ou flexão, deve começar o ensaio na posição fechada para a aberta e voltar, realizando, assim, um ciclo. A velocidade desse ciclo é definida por 5 ± 1 ciclos por minuto. A válvula é submetida a um caudal de ar comprimido igual a 5% do caudal nominal, especificado na Tabela 3 (NP EN 331, 2016).

Tabela 3 - Caudal nominal estipulado

DN	Caudal nominal (m ³ /h)	
	Em linha reta	Angular
6	1	-
8	2	-
10	3	2
12	3,5	2,5
15	5	3,5
20	10	6
25	16	10
32	27	18
40	40	28
50	65	36

A conformidade do ensaio é confirmada, após a verificação do ensaio de estanquidade externa e interna à temperatura ambiente e a 60°C, e após a verificação do binário de funcionamento (NP EN 331, 2016).

7.2. Válvulas de gás

As válvulas de gás são componentes destinados a serem manobrados manualmente e utilizadas em instalações de gás dos edifícios. A sua função principal é abrir ou fechar o fluxo de gás num sistema, garantindo a segurança e a eficiência do mesmo. Na Figura 7 é possível visualizar o esquema de uma válvula de macho esférico em corte, assim como, observar detalhadamente os seus componentes internos.

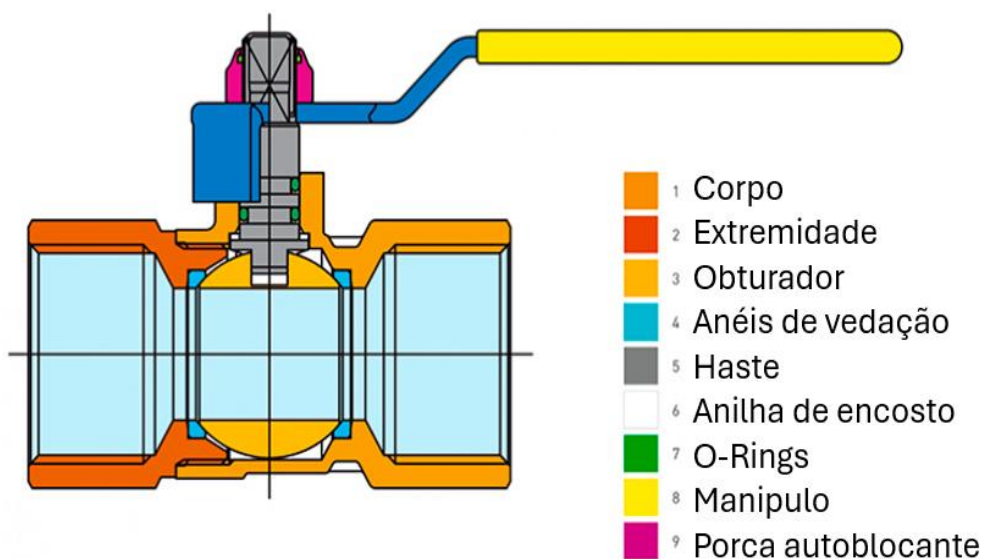


Figura 7 - Representação de uma válvula de gás cortada. Fonte: (BonGas, 2024)

As válvulas de macho esférico são constituídas, normalmente, pelos seguintes componentes:

1. **Corpo:** É a estrutura principal da válvula, responsável pela integridade estrutural dos componentes e ligação da entrada e saída do gás.
2. **Extremidade:** É a parte da válvula que liga à tubagem, permitindo a entrada e saída do gás. A extremidade deve ser bem vedada para evitar vazamentos.
3. **Obturador:** Tem o formato de uma esfera com um furo central, é o componente móvel dentro da válvula que abre ou fecha o fluxo do gás.
4. **Anéis de Vedação:** São componentes que asseguram a vedação entre o obturador e o corpo da válvula, prevenindo vazamentos quando a válvula está em posição fechada.

5. Haste: É o eixo que liga o obturador ao manipulador, permitindo o movimento do obturador para abrir ou fechar a válvula.
6. Anilha de Encosto: Suporta a haste e ajuda a manter a posição correta do obturador.
7. O-Rings: São vedações adicionais que evitam vazamentos ao longo da haste.
8. Manipulo: É a alavanca manual que o operador controla a posição do obturador, assim, permite abrir ou fechar a válvula manualmente.
9. Porca Autoblocante: Mantém a haste no lugar e impede o conjunto haste e manipulador de desapertarem durante a operação, garantindo a segurança.

O órgão de manobra de uma válvula é constituído pelo obturador, haste, o-rings, manipulador e porca autoblocante. Estes componentes trabalham em simultâneo para permitir que a válvula regule o fluxo de gás de forma segura e eficaz.

7.3. Aplicações e Relevância dos Ensaios de Durabilidade

Os ensaios de durabilidade desempenham um papel fundamental na indústria de válvulas de gás. O objetivo é garantir que as válvulas possam operar com segurança e eficácia ao longo da sua vida útil. Os ensaios são feitos de forma que ao fim de vários ciclos de funcionamento, simulando o desgaste cíclico de funcionamento, a válvula opere em condições normais sem qualquer alteração no seu funcionamento.

Estes ensaios são relevantes, uma vez que obrigam os fabricantes a certificar os seus produtos nos mercados onde é exigida a conformidade com normas europeias. Estes permitem identificar falhas nas válvulas, ajudando os fabricantes a aprimorarem as mesmas, garantindo o aumento da confiança do consumidor na sua segurança e durabilidade.

7.4. Estrutura do equipamento de ensaio de durabilidade

Os perfis de alumínio são muito utilizados na construção de estruturas de equipamentos devido à leveza, resistência à corrosão e modularidade. Existem perfis com

várias formas, que permite ser utilizados em diferentes tipos de aplicações, como na fabricação de máquinas, construção de bancas de trabalho, ou mesmo, equipamentos industriais. Adicionalmente, existem um conjunto alargado de acessórios, tais como: fechaduras, portas, divisórias, entre outros, que contribuem para uma grande modularidade.

Em comparação com outros materiais, como aços ou polímeros, têm várias vantagens na sua utilização. Os perfis de alumínio têm características que os tornam mais leves, fáceis de manusear, resistentes à corrosão e facilmente transportáveis em comparação com os perfis de aço; enquanto, que em relação aos polímeros, têm maior resistência mecânica (Kissell & Ferry, 2002).

7.5. Componentes Mecânicos e Eletrónicos do Equipamento

7.5.1. Motor de Passo e Encoder

O motor de passo é um motor elétrico que divide uma rotação completa (360°) num número de ângulos (vulgarmente designado por passos) iguais. Este tipo de motor é projetado para girar o eixo em incrementos precisos e controlados por pulsos elétricos, onde cada pulso elétrico é convertido num movimento mecânico de rotação vulgarmente designado de passo. Estes motores tem um controlo preciso da posição, e quando controlados por um sistema digital com microcontrolador têm a capacidade de replicar a posição de forma estável e precisa. Porém, neste método, designado por circuito aberto, não existe feedback da posição de rotação do motor, por isso, com cargas elevadas ou acelerações rápidas, há a possibilidade da perda de controlo da posição do veio. Para prevenir este tipo de erro, utiliza-se o método de circuito fechado, onde é utilizado um encoder acoplado ao veio do motor, que envia o feedback contínuo da posição e velocidade ao controlador. Assim, é possível fazer ajustes e correções existentes em tempo-real da posição desejada (Acarney, 2002). Este foi o método selecionado para realizar os ciclos de abertura e fecho das válvulas.

7.5.2. Caixa de transmissão

As caixas de transmissão permitem ajustar o movimento de rotação da fonte (motor), possibilitando aumento de binário e conseqüentemente redução na velocidade de rotação e vice-versa. Este efeito é alcançado através de um conjunto (ou vários) de

engrenagem, em particular pela relação entre número de dentes entre elas. A fórmula para determinar a relação de transmissão em função do número de dentes é (Equação 1):

$$\text{Relação de transmissão} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (1)$$

onde Z_1 é o número de dentes da engrenagem do momento aplicado, Z_2 é o número de dentes da engrenagem do momento de saída. Em função da velocidade angular é (Equação 2):

$$\text{Relação de transmissão} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (2)$$

onde ω_1 é a velocidade angular da engrenagem do momento aplicado e ω_2 é a velocidade angular da engrenagem do momento de saída. Em função do binário é (Equação 3):

$$\text{Relação de transmissão} = \frac{B_2}{B_1} \quad (3)$$

onde B_1 é o binário da engrenagem do momento aplicado e B_2 é o binário da engrenagem do momento de saída (Melconian, 2000).

7.5.3. Célula de carga

Célula de carga é composta por extensômetros que convertem uma deformação num sinal elétrico. Os extensômetros são acoplados num elemento elástico, que deforma sob a aplicação de uma força mecânica. Como representado na Figura 8, os extensômetros são conectados numa ponte de Wheatstone. Quando é aplicada uma força mecânica, a resistência R_g do extensómetro varia, variando o sinal elétrico. Devido à baixa variação de corrente da ponte, é necessário um amplificador de sinal, para garantir precisão e diminuir o ruído elétrico (Al-Dahiree, et al., 2022).

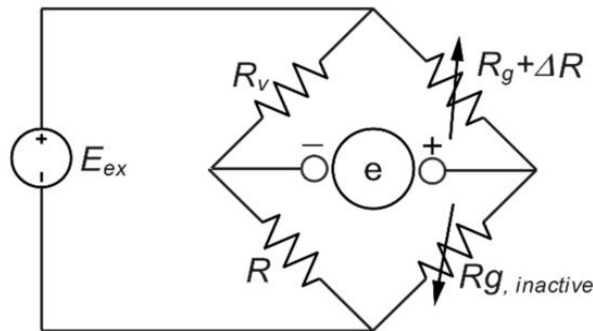


Figura 8 - Ponte de Wheatstone

7.5.4. Arduino e Esp-01

O Arduino é um microcontrolador com uma plataforma *hardware* e *software open source* que facilita a criação de projetos eletrônicos interativos. Ele é útil tanto para iniciantes quanto para profissionais, permitindo desde a leitura de sensores até a comunicação entre dispositivos. A principal linguagem de programação usada é baseada em C++, e o desenvolvimento é feito principalmente no software Arduino IDE. O arduino permite ler sinais digitais e analógicos, além de controlar dispositivos eletrônicos. Também suporta vários tipos de comunicação, como UART(RxTx), I2C e SPI. O Arduino tem um custo de aquisição reduzido, é fácil de programar e é compatível com vários sistemas operativos (Windows, Mac, Linux). Também permite extensões e modificações, fomentando a criatividade dos projetos. (Arduino, 2024).

O Arduino oferece uma ampla gama de modelos, sendo que a escolha adequada depende diretamente dos requisitos específicos do projeto, como a quantidade de entradas/saídas necessárias, a capacidade de processamento, o consumo de energia e as interfaces de comunicação.

O microcontrolador Arduino também pode enviar e receber dados através do Esp-01, que é uma placa de rede com um microcontrolador incorporado que permite conectar o Arduino à internet. Os microcontroladores Esp podem ser conectados a um servidor Wi-Fi ou mesmo atuar como um servidor Wi-Fi. Assim sendo, é possível registrar e monitorizar em tempo real toda a informação relevante numa base de dados. (Ismailov & Jo'rayev, 2022).

7.5.5. Display Nextion

O display Nextion é uma solução de interface gráfica homem-máquina (HMI) que combina um processador integrado e display de toque com memória. O Nextion Editor é o software de edição usado para desenvolver uma interface configurável com componentes como gráficos, textos, imagens, botões, páginas, etc. A conexão do display Nextion é feita através da conexão Serial TTL (5V, TX, RX, GND) para fornecer notificações nas quais o MCU (Microcontroller Unit) periférico pode atuar (Nextion, 2024). O display Nextion pode ser integrado com diversos MCUs, como Arduino, ESP32, PIC, STM32, entre outros (Bento, 2018).

A escolha do modelo do display Nextion depende diretamente dos requisitos específicos do projeto, como a capacidade de processamento, o consumo de energia e as dimensões necessárias do ecrã.

7.6. Princípios de Medição e Registro de Dados

A norma EN331 refere, que um dos requisitos para a sua conformidade é o binário operacional, que não deve exceder o estipulado na tabela 2. A medição do binário é realizada através de um transdutor de binário, acoplado ao sistema de acionamento, que converte a força aplicada na válvula num sinal elétrico.

Para garantir a integridade dos dados e a rastreabilidade dos testes, é necessário a implementação de um sistema automatizado de registo. Esse sistema, baseado na integração do Arduino Mega com um módulo Esp-01, permite armazenar os dados em tempo-real no Google Sheets. Essa abordagem tem como objetivo de facilitar a monitorização remota dos ensaios, e garantir o registo das variáveis críticas, tais como a data, a hora, número de ciclos realizados, o número de ciclos a realizar e o binário instantâneo; sendo possível a sua análise à posteriori. Além disso, o sistema de registo

automatizado elimina a possibilidade de erros humanos, aumentando a fiabilidade dos resultados obtidos.

O display Nextion, integrado ao sistema, oferece uma interface que exhibe os parâmetros de operação em tempo-real. Essa visualização imediata permite ao operador, analisar o ensaio e intervir rapidamente em caso de anomalias.

8. Metodologia

8.1. Desenho e Planeamento do Equipamento

8.1.1. Definição dos Requisitos Técnicos

Foram definidos os critérios dos requisitos funcionais que o equipamento de ensaios de válvulas deve cumprir. Para além dos requisitos dos ensaios de durabilidade definidos na norma EN331, o CATIM definiu, adicionalmente, outros requisitos no sentido de tornar o equipamento mais adequado às suas necessidades. Foram identificados os seguintes requisitos:

- Como o número de ciclos de manobra é dependente do diâmetro nominal da válvula, foi estabelecido um máximo de 5000 ciclos, assim como, a possibilidade de predefinir o número de ciclos a executar;
- Capacidade para ensaiar válvulas desde diâmetro nominal DN8 até DN50;
- O binário do órgão de manobra da válvula deve poder ser ajustado até um máximo de binário, sendo que se o binário do órgão de manobra da válvula for superior o ensaio é interrompido;
- A velocidade de um ciclo é definida como 5 ciclos por minuto, no entanto, é possível ajustar entre 5 a 15 ciclos por minuto;
- A estrutura deve ter acesso à entrada e saída do fluxo do gás da válvula, pois durante o ensaio é essencial a medição do caudal com um caudalímetro externo;
- O equipamento deve registar parâmetros do ensaio como a data, hora, número de ciclos predefinidos, número de ciclos realizados e binário;
- A estrutura deve ser ergonómica e fácil de movimentar, sem a necessidade de um computador para a realização do ensaio.

8.1.2. Desenho da estrutura e da caixa CATIM

O primeiro passo no desenvolvimento do desenho foi definir o material a usar para construir a estrutura. O perfil em alumínio 45mmx45mm foi o material escolhido por ser leve, resistente a solicitações mecânicas e resistente à corrosão. Oferece uma excelente relação resistência-peso, tornando-o adequado para a construção deste equipamento. Além disso, o perfil de alumínio facilita a montagem e desmontagem do equipamento, permitindo ajustes rápidos e manutenção simplificada.

Foi elaborado um primeiro desenho 3D detalhado com recurso a um software CAD 3D (*SolidWorks*), conforme a Figura 9. Este modelo inclui todas as partes principais do equipamento, como os suportes, motor de passo, caixa redutora, transdutor de binário, *encoder*, armário para acessórios, componentes eletrônicos e mecânicos. No decorrer do projeto, foram alterados alguns componentes como o armário e o sistema de elevação da base da válvula (Figura 10). Cada componente foi posicionado, estrategicamente, para garantir uma distribuição equilibrada de peso, e para minimizar vibrações e oscilações durante o funcionamento. As fixações e suportes são assegurados por parafusos e porcas, garantindo que a montagem pudesse resistir às cargas cíclicas aplicadas pelo motor durante o ensaio.

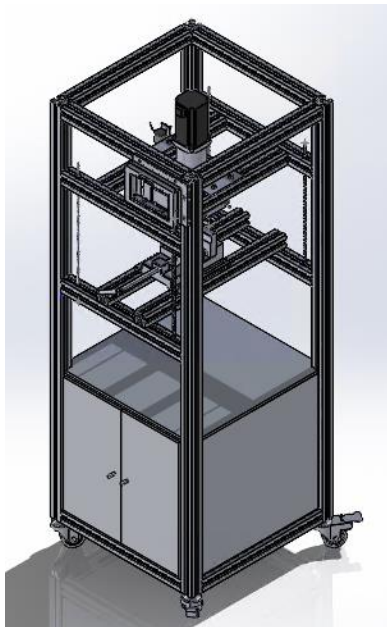


Figura 9 - Desenho em SolidWorks da estrutura modelo 1

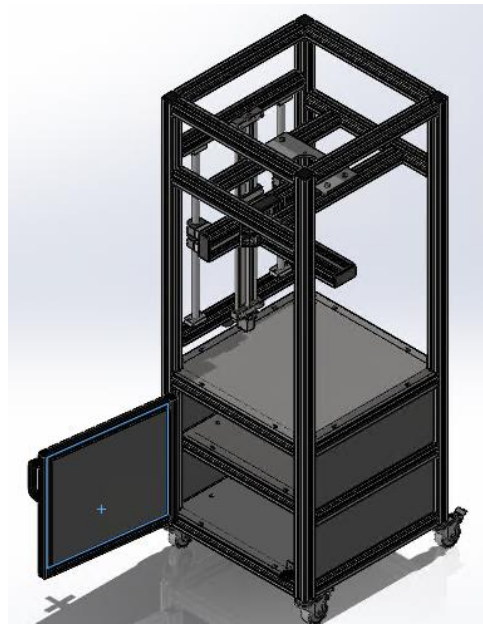


Figura 10 - Desenho em SolidWorks da estrutura modelo 2 com alteração do armário e sistema de elevação da válvula

Como mostra na Figura 11, a Caixa CATIM é dividida em duas partes, uma é responsável pela fixação do display Nextion, e a outra pela fixação do Arduino. Na Figura 12 é possível ver as alterações do modelo 2 com suportes para a placa Esp-01 e para o amplificador de sinal do transdutor de binário.

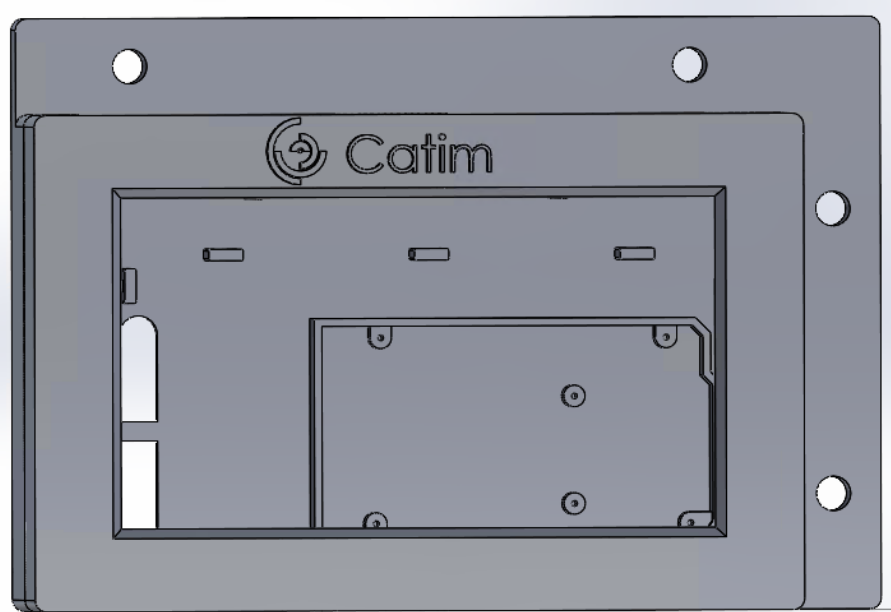


Figura 11- Desenho em SolidWorks da caixa CATIM modelo 1

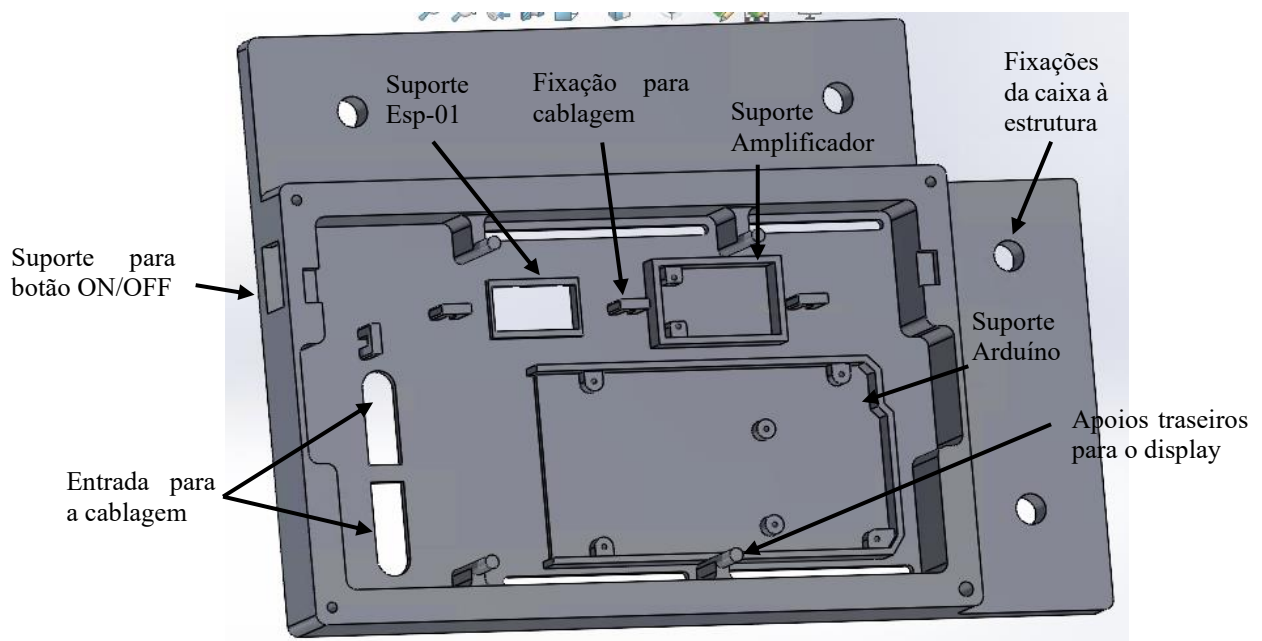


Figura 12 - Desenho em SolidWorks da caixa CATIM modelo 2 com novos suportes para o Esp-01 e o amplificador de sinal do transdutor de binário

Outro aspecto importante no desenvolvimento do desenho estrutural foi a integração dos sistemas de medição e controle. Os locais para a instalação do transdutor de binário e do *encoder*, foram cuidadosamente planejados e posicionados no veio principal que liga ao órgão de manobra da válvula ao motor, assim, garante medições precisas do binário e da sua posição.

8.1.3. Ergonomia, funcionalidade e segurança do equipamento

O desenho do equipamento de ensaio de durabilidade para válvulas de gás incorporou princípios ergonômicos para garantir uma operação segura, eficiente e confortável para os operadores. A ergonomia foi considerada no início do desenvolvimento, com o objetivo de minimizar o esforço físico, melhorar a acessibilidade e reduzir o risco de lesões durante a utilização do equipamento.

A Figura 13 mostra como o display foi posicionado à altura dos olhos e ao alcance das mãos do operador, cumprindo com o objetivo de visualizar e configurar o equipamento com uma postura correta. O mesmo acontece na zona do posicionamento e



Figura 13 - Posição ergonômica do display



Figura 14- Posição ergonômica da válvula

fixações da válvula (Figura 14), com o operado sentado, a válvula está ao nível do tronco, e é possível ter acesso a todos os elementos de fixação e ajuste facilmente, sempre com o objetivo de minimizar esforços do operador.

Incorporado na estrutura, Figura 15, foi adicionado um armário para armazenamento de acessórios para os diferentes tamanhos de válvulas, ou mesmo para outras ferramentas tal como o caudalímetro. O equipamento inclui rodas direcionais com travão para facilitar a sua movimentação e posterior imobilização.



Figura 15 - Armário para arrumos

Para garantir que a manutenção e os ajustes do equipamento possam ser realizados de forma segura e eficiente, o *layout* interno foi organizado de modo que os componentes, como o motor de passo, caixa redutora, e sensores, estejam facilmente acessíveis. Isso minimiza o tempo de inatividade e o esforço necessário para realizar reparações ou substituições de peças.

A segurança operacional também foi considerada, a Figura 16Figura 17 mostra o sistema de emergência facilmente acessível, que realiza o corte de alimentação ao motor. Esta característica protege o operador de acidentes e garante que o equipamento seja operado com segurança.



Figura 16 - Botoneira de emergência

A Figura 17 mostra um exemplo de como está organizado o sistema elétrico. Foram utilizadas calhas e braçadeiras de forma a manter afastados cabos e fios de áreas de passagem e das zonas de operação do equipamento.



Figura 17 - Sistema elétrico aplicado em calhas e abraçadeiras

Estas considerações estruturais asseguram que o equipamento não cumpre, apenas, a sua função técnica de ensaio, mas também proporciona um ambiente de trabalho seguro e confortável para os operadores, aumentando a eficiência e a segurança geral das operações.

8.1.4. Seleção dos Componentes Eletrônicos e Mecânicos

A seleção dos componentes eletrônicos e mecânicos para o equipamento de ensaio de durabilidade de válvulas de gás foi realizada com base nos requisitos técnicos definidos anteriormente.

Um dos requisitos funcionais do equipamento era a gama do atuador principal responsável pelos ciclos de abertura e fecho da válvula: entre 8 N·m a 28 N·m. Existem motores de passo no mercado que cumprem este requisito funcional, contudo, têm dimensões consideráveis, para além de terem um custo de aquisição bastante elevado. Por isso, optou-se por um motor de passo acoplado a uma caixa de transmissão, que em conjunto cumprem com a gama de binário desejada. O motor de passo NEMA 34 tem um binário máximo de 8 N·m e com uma resolução de 1,8 graus. No entanto, acoplado à caixa de transmissão de 5:1 o binário do motor é multiplicado por 5, sendo possível fornecer 40 N·m. A resolução de 1,8 graus do motor, transforma-se em 0,36 graus, o que significa maior precisão do equipamento, tornando o equipamento fiável e duradouro. A escolha deste motor também se justifica pela facilidade de integração com sistemas de controle com microcontroladores, como o Arduino. Na Figura 18 é possível ver o acoplamento do motor de passo à caixa redutora, este conjunto tornou-se a opção mais barata relativamente à solução composta somente por um motor. Uma das desvantagens inerentes à utilização do motor de passo acoplado a uma caixa de redução é a redução da velocidade de atuação. Porém, e no caso da aplicação em causa, essa desvantagem não é relevante, uma vez que as velocidades de acionamento são reduzidas.

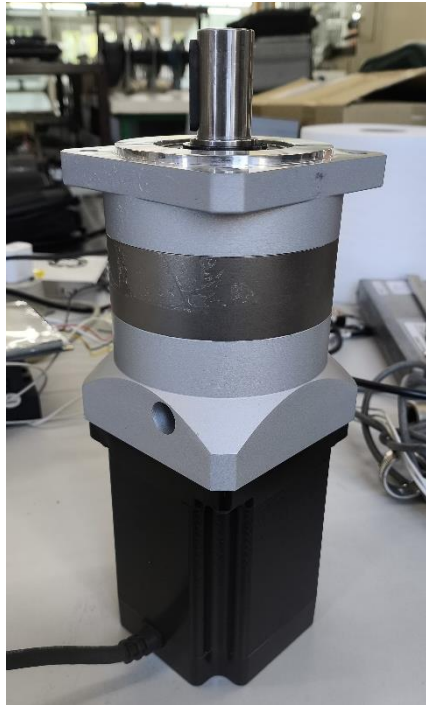


Figura 18 - Motor acoplado à caixa redutora

Para ler e confirmar a posição angular do motor de passo, foi integrado um *encoder* ótico com uma resolução de 1024 passos. O *encoder* (Figura 19) foi selecionado com base na sua capacidade de fornecer *feedback* contínuo com alta resolução, essencial para o controlo em malha fechada do sistema. Assim, fica assegurada a precisão e confiabilidade da posição do órgão de manobra da válvula.



Figura 19 - Encoder

A Figura 20 mostra o transdutor escolhido para monitorizar o binário aplicado durante cada ciclo de operação. Este transdutor possui uma gama de utilização entre

0 N·m a 50 N·m, garantindo por isso compatibilidade com os requisitos funcionais do equipamento. Todavia, este transdutor necessita de um amplificador de sinal para que o controlador (Arduino Mega) seja capaz de ler adequadamente os seus sinais. Nesse sentido, foi adicionado o amplificador de sinal, HX711, que converte o sinal analógico num sinal digital.



Figura 20 - Transdutor de binário

Tal como referido anteriormente, o Arduino Mega (Figura 21) foi escolhido como o microcontrolador principal devido às múltiplas entradas e saídas - necessárias para gerenciar o controle do motor, o processamento de sinais dos sensores, a interface com o display e o módulo de comunicação Esp-01 - sua flexibilidade e facilidade de programação que permitiram ajustes rápidos no sistema de controle e na própria

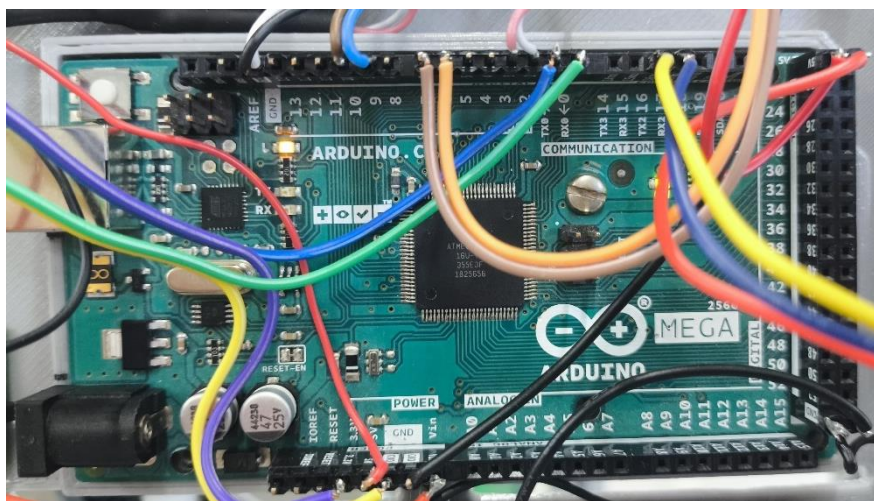


Figura 21 - Arduino Mega usado no projeto

programação. Com o Arduino a controlar toda a parte eletrônica, não existe a necessidade de um computador, tornando assim o equipamento prático e financeiramente mais econômico.

O registo e o monitorização remoto dos dados do ensaio, são feitos pelo módulo Esp-01 (Figura 22), que oferece conectividade Wi-Fi e permite o envio automático dos dados para o Google Sheets. Essa funcionalidade é essencial para a rastreabilidade dos ensaios e para a análise em tempo-real dos resultados, além de simplificar a documentação dos ensaios.

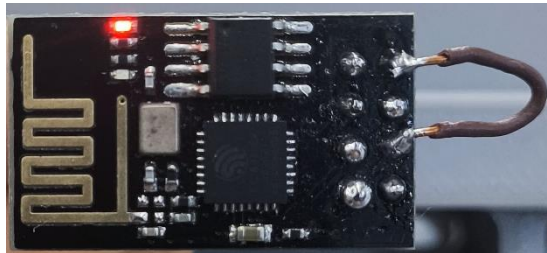


Figura 22 - Esp-01 usado no projeto

Para o operador inserir e configurar os dados necessários para a realização do ensaio foi instalado um display Nextion touch screen, modelo NX8048K070 com 7 polegadas de tamanho (Figura 23).

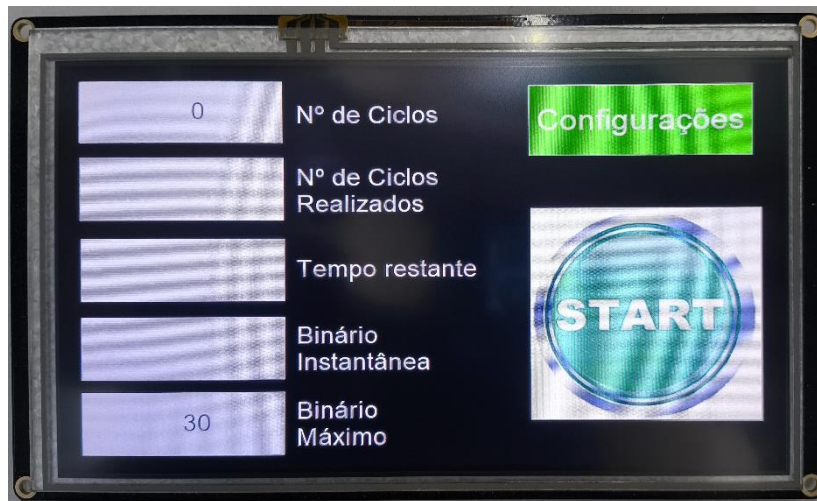


Figura 23 - Display Nextion usado no projeto

Ao contrário do display de cristal líquido usado inicialmente, o display Nextion possibilita a ausência de botões, libertando entradas no microcontrolador, diminuindo o número de fios e resistências, e consequentemente reduzindo o risco de avarias e ainda

assim tornando o equipamento mais ergonómico e intuitivo. A interface é totalmente configurável através do NextionEditor, permitindo alterações possíveis, sem qualquer modificação no *hardware*.

8.2. Montagem do Equipamento

8.2.1. Estrutura e caixa CATIM

Após o desenvolvimento do desenho estrutural do equipamento, o projeto foi enviado para uma empresa especializada em soluções industriais para proceder à fabricação e montagem. A escolha da empresa foi feita com base em serviços já realizados anteriormente para o CATIM, para garantir que fosse fabricada com precisão e cumprisse todos os requisitos do desenho. A Figura 24 mostra a estrutura recebida após a montagem.



Figura 24 - Estrutura montada pela empresa especialista

Ao contrário dos computadores e autómatos, o Arduíno não possui suporte físico para os componentes, desta forma, optou-se por construir uma caixa personalizada usando tecnologia de impressão de 3D disponível no CATIM. Foi desenvolvida com os seguintes requisitos:

- Ser fácil de produzir;
- Garantir um suporte estável e duradouro para o display Nextion;
- Garantir suporte para o Esp-01
- Ser fácil de montar e fazer manutenção;
- Garantir correta ventilação dos componentes;
- Ser visualmente apelativa;
- Ter identificação do CATIM;
- Otimizar a organização dos cabos internos e as entradas e saídas de sinal.

Tendo em conta os requisitos e dentro da gama de tipos de impressoras 3D disponíveis no CATIM, optou-se pela Sharebot XXL+(Figura 25), que usa tecnologia de filamento de ácido polilático (PLA). Apesar da precisão do equipamento, existiu a necessidade de limar algumas arestas e remover algum material em excesso. Adicionalmente, e para aumentar a robustez do equipamento, foram, para além dos suportes projetados na caixa, colocados parafusos de fixação no display.



Figura 25 - Impressão da caixa CATIM

8.2.2. Instalação dos Componentes Eletrônicos

Após a montagem da estrutura, foi necessário desenhar vários suportes de fixação para os componentes eletrônicos (Anexo E). Para construir essas fixações foram usados placas e perfis em L de alumínio e aço, com sítios estratégicos para aparafusar os componentes.

Na Figura 26 é possível ver o motor acoplado à caixa redutora, montado na placa em alumínio e a placa fixada por parafusos ao perfil de alumínio.



Figura 26 - Montagem do motor com a caixa redutora

Acoplado ao veio da caixa redutora, tem uma roda dentada para incorporar a leitura do *encoder* e um adaptador para encaixar ao transdutor de binário (Figura 27).



Figura 27 - Roda dentada e adaptador para transdutor de binário

A Figura 28 mostra o transdutor de binário, assim como a forma como foi integrado no equipamento. De forma a minimizar impactos e possíveis desalinhamentos, foi acoplado entre o veio do transdutor de binário e a garra de fixação ao atuador da válvula de gás um acoplamento mecânico.

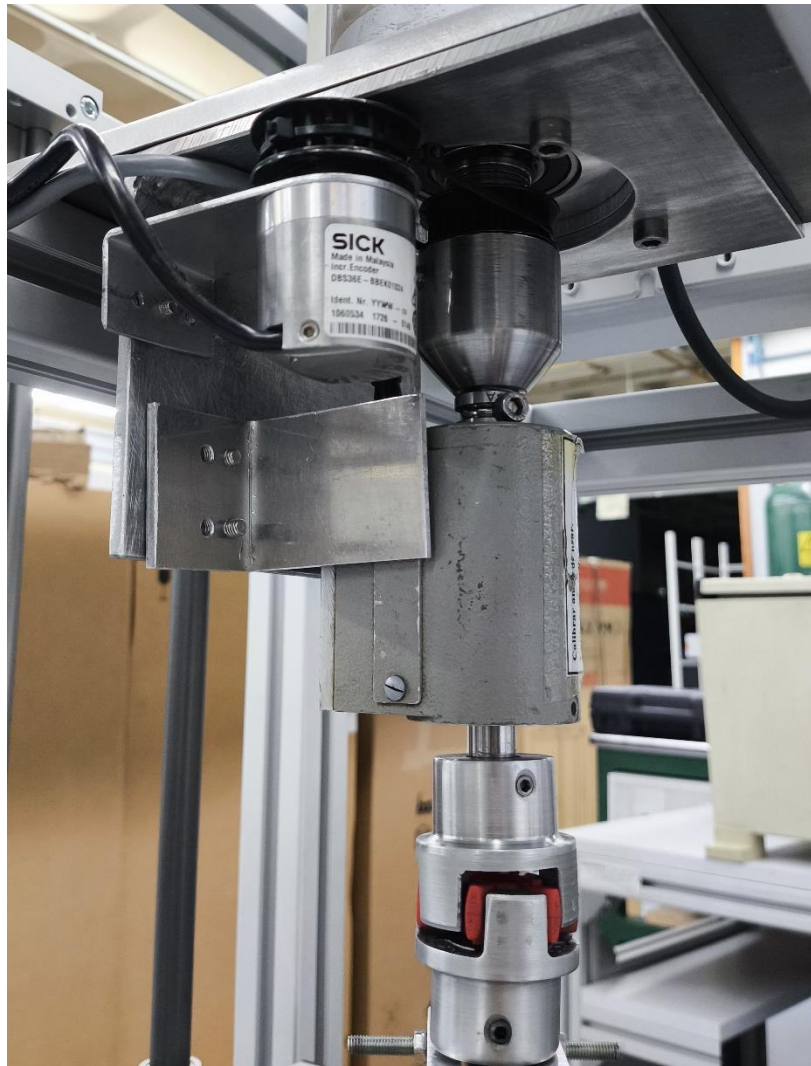


Figura 28 - Montagem do encoder e transdutor de binário

Nas Figuras 29 e 30 é possível visualizar o conjunto de placas com parafuso, pensado para abraçar todas as válvulas desde DN8 a DN50, que tem como função abraçar o manipulador da válvula, mantendo-a alinhada com o veio do acoplamento. De seguida, a válvula é abraçada com o torno através de dois blocos de alumínio, permitindo assim a fixação da mesma. Também é possível observar que a estrutura permite o acesso à entrada e saída do fluxo de gás para a aplicação de um caudalímetro.



Figura 29 - Fixação da válvula na posição aberta Figura 30 - Fixação da válvula na posição fechada

8.3. Programação

8.3.1. Desenvolvimento do código

O Arduino é responsável pelo controlo de toda a parte eletrónica do equipamento, recebe a informação inserida pelo operador e ordena as operações. O código foi escrito no Arduino IDE, programado em linguagem C++ e usa as seguintes bibliotecas para controlar os diferentes componentes:

- **Nextion.h:** Permite ter comandos de comunicação para a interface do display Nextion, proporcionando a leitura e envio de dados de informação, como botões e janelas de texto;
- **Encoder.h:** Permite ter comandos de leitura da posição do *encoder*.
- **HX711.h:** Permite ter comandos de leitura da célula de carga, possibilitando a leitura do transdutor de binário.

- **Thread.h e ThreadController.h:** Permite ter comandos para gerenciar tarefas simultaneamente no código, como a execução dos ciclos e a atualização de leituras em paralelo, melhorando a eficiência e a velocidade de processamento do código.

Estas bibliotecas permitem o desenvolvimento mais simples do código. O exemplo da Figura 31, é uma parte do código do movimento do motor, este é feito através de um ciclo de impulsos dependentes de variáveis de velocidade e posição do motor.

```

bt0.getValue(&dual_state);
while (newPosition < d || fim == 1) {
    starttime = micros();
    while ((micros() - starttime) < delay1 || fim == 1) {
        cpu.run();
        digitalWrite(DIR_PIN, HIGH);
        digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
    }
    digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
    newPosition = myEncoder.read();
}

```

Figura 31 - Código do movimento do motor passo

Ao longo do trabalho foi verificado, que a velocidade de rotação do motor teria de ser ajustável para cada ensaio, uma vez que depende do ângulo percorrido (diferença entre ângulos de abertura e fecho da válvula) e do número de ciclos por minuto pretendidos; traduzidos em três parâmetros de entrada do ensaio: posição DIREITA (válvula aberta), posição ESQUERDA (válvula fechada) e CICLOS POR MINUTO.

Na Tabela 4, foi contabilizado o *delay* de cada ciclo por minuto correspondente a cada ângulo através de um cronómetro.

Tabela 4 - Delay do movimento do motor passo

5 ciclos por minuto		10 ciclos por minuto		15 ciclos por minuto	
Delay (µs)	Ângulo	Delay (µs)	Ângulo	Delay (µs)	Ângulo
2900	360°	1450	360°	950	360°
5850	180°	2900	180°	1900	180°
11950	90°	5800	90°	3900	90°
23900	45°	11600	45°	7900	45°

Através destes dados fornecidos é possível encontrar qualquer *delay* entre 5 e 15 ciclos por minuto e entre 45° a 360°. A função da interpolação bilinear (Press, Teukolsky, Vetterling, & Flannery, 1992) pode ser utilizada para encontrar valores intermédios. Assumindo que $x = \text{ângulo}$ e $y = \text{ciclos por minuto}$ é calculado o $f(x, y_1)$ (Equação 4) e o $f(x, y_2)$ (Equação 5),

$$f(x, y_1) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(x_1, y_1) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(x_2, y_1), \quad (4)$$

$$f(x, y_2) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(x_1, y_2) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(x_2, y_2). \quad (5)$$

No fim pode determina-se o $f(x, y)$ (Equação 6), definido no código como *delay1* (Figura 30),

$$f(x, y) = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(x, y_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(x, y_2) \quad (6)$$

8.3.2. Configuração do Display Nextion

O display Nextion foi configurado através do software Nextion Editor. Foi necessário criar um projeto, seleccionar o modelo do ecrã NX8048K070_011. Este software permite personalizar o display apresentado ao utilizador possibilitando a introdução de vários itens tais como botões, janelas de texto, *slider*, imagens, entre outros. A Figura 32 mostra a interface da página 0 que é responsável por informar ao operador:

- O número de ciclos predefinido pelo operador (t5);
- O número de ciclos realizados pelo ensaio (t6);
- O tempo restante do ensaio (t7);
- O binário instantâneo realizado pelo órgão de manobra da válvula (t8);
- O binário máximo predefinido pelo operador (t9);
- O botão que permite entrar nas configurações do ensaio (b0);

- O botão start/stop é responsável por dar início ao ensaio, e se necessário, parar o ensaio para fazer algum ajuste (bt0).

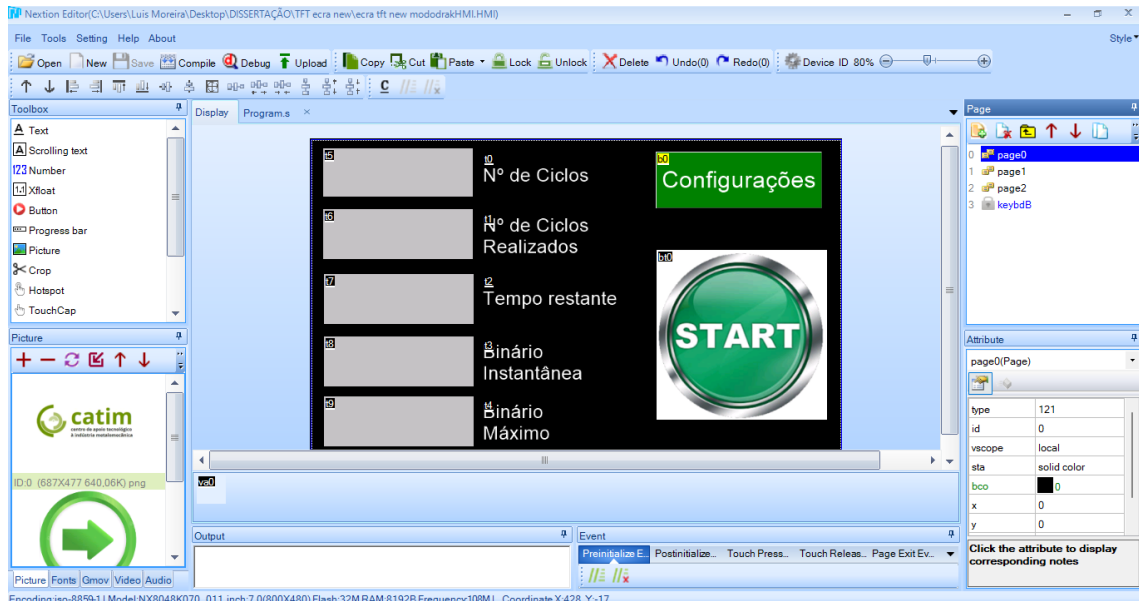


Figura 32 - Página 0 do display Nextion

Na Figura 33 está representado a página 1, onde são feitas as configurações do ensaio pelo operador e são definidos:

- O número total de ciclos a realizar (t10);
- A velocidade em ciclos por minuto (t11);
- O binário máximo do órgão de manobra da válvula (t12).
- O botão “Página Principal” para a trocar de página para a página 0 (b1).
- O botão “Posição da válvula” para a trocar de página para a página 2 (b2).



Figura 33 - Página 1 do display Nextion

Após as configurações do ensaio, é necessário posicionar o ângulo de manobra da válvula, posto isto, na Figura 34, é representado a página 2 que permite o posicionamento da válvula entre dois pontos:

- Os botões bt1 e bt2 são responsáveis pelo movimento do motor;
- A caixa de texto t17 e t18 informa os graus da posição 1 e posição 2;
- Os botões bt5 e bt6 gravam a posição correspondente.

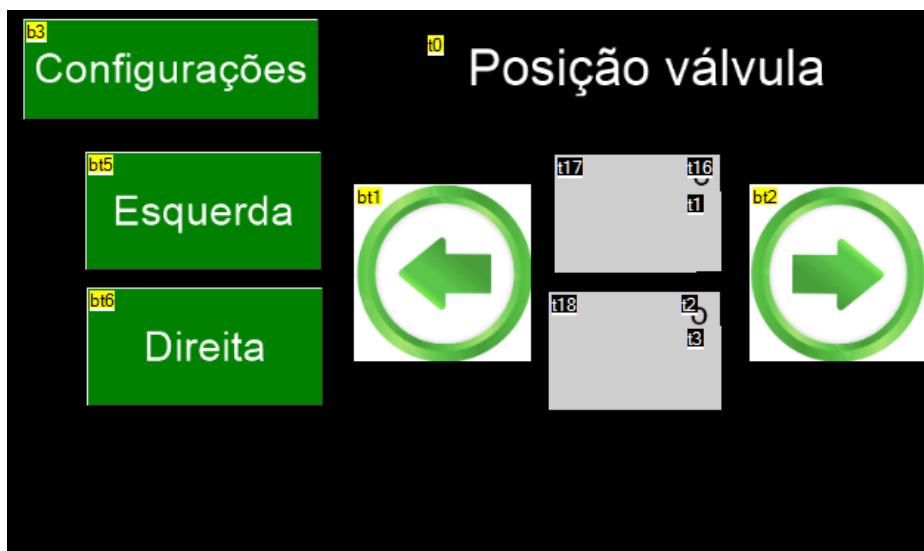


Figura 34 - Página 2 do display Nextion

8.3.3. Comunicação e Registo de Dados

A monitorização e registo do ensaio é essencial para o controlo de dados em caso de auditoria. O registo é feito com todos os parâmetros essenciais do ensaio ao longo do tempo. Os dados são enviados por WiFi, do Arduino para o Google Sheets, e permite a visualização em tempo-real do ensaio em qualquer computador ou smartphone. O diagrama (Figura 35) permite compreender os passos de toda a comunicação de dados do Arduino até ao registo.

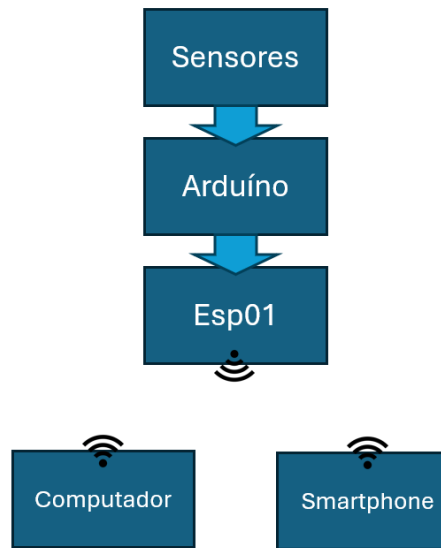


Figura 35 - Diagrama da comunicação

O número de ciclos, os ciclos realizados pela válvula, o binário exercido pelo órgão de manobra da válvula ao longo do ensaio, a data e a hora são as informações registadas durante o ensaio. O Arduino envia de dois em dois segundos a informação tratada dos sensores para o “Serial Monitor” através do código da Figura 36.

```
void SerialMonitor(){  
  Serial.print ("Ciclos: "); Serial.print (c);  
  Serial.print ("  NCiclos: "); Serial.print (ciclos);  
  Serial.print("  Binario: "); Serial.print(((scale.read()-10290)/-92882));  
  Serial.println("");  
}
```

Figura 36 - Dados imprimidos no Serial Monitor do Arduino

Assim que o Arduino imprime os dados, o Esp-01 lê “Serial Monitor” do Arduino (Figura 37), cria um endereço HTTP e envia os valores lidos (Figura 38) para o Google Sheets.

```
if (receivedData.startsWith("Ciclos: ")) {
  Serial.println("Data starts with 'Ciclos: '");

  // Encontrar o índice após "Ciclos: "
  int ciclosIndex = receivedData.indexOf("Ciclos: ") + 8;
  int ciclosEndIndex = receivedData.indexOf(" ", ciclosIndex);
  int numeroCiclosIndex = receivedData.indexOf("NCiclos: ") + 9;
  int numeroCiclosEndIndex = receivedData.indexOf(" ", numeroCiclosIndex);
  int binarioIndex = receivedData.indexOf("Binario: ") + 9;
```

Figura 37 - Leitura dos dados pelo Esp-01 enviados pelo Arduino

```
String GAS_ID = "AKfycbw9i1vvtMt7zo-OcDZMBNudDwGMOYix7nC7Q40PrBR2WvKLYvKHok35mffXRFNj3g8E";
String string_ciclos = String(ciclos);
String string_numeroCiclos = String(numeroCiclos);
String string_binario = String(binario);
String url = "/macros/s/" + GAS_ID + "/exec?ciclos=" + string_ciclos + "&numeroCiclos=" + string_numeroCiclos + "&binario=" + string_binario;
Serial.print("requesting URL: ");
Serial.println(url);

client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
  "Host: " + host + "\r\n" +
  "User-Agent: BuildFailureDetectorESP8266\r\n" +
  "Connection: close\r\n\r\n");
```

Figura 38- Endereço HTTP enviado para o Google Sheets

No Google Sheets foi criado um código em Apps Script, baseado em Java Script, para receber e processar os dados recebidos pelo Esp-01. Ambos foram criados com o mesmo ID, definido como GAS_ID (Figura 38), para ser possível a comunicação entre eles. O código da Figura 39 permite escrever os dados recebidos numa folha de cálculo específica, determinada por sheets_id, onde escreve a data, a hora, o binário, os ciclos definidos e o número de ciclos realizados nas colunas correspondentes.

```

function doGet(e) {
  Logger.log( JSON.stringify(e) );
  var result = 'Ok';
  if (e.parameter == 'undefined') {
    result = 'No Parameters';
  }
  else {
    var sheet_id = '1Bhpwxw2EvXXK09dC5l7cVAKZrUiJv4sLEnlxkq5_6yk'; // Spreadsheet ID
    var sheet = SpreadsheetApp.openById(sheet_id).getActiveSheet();
    var newRow = sheet.getLastRow() + 1;
    var rowData = [];
    var Curr_Date = new Date();
    rowData[0] = Curr_Date; // Date in column A
    var Curr_Time = Utilities.formatDate(Curr_Date, "Europe/Lisbon", 'HH:mm:ss');
    rowData[1] = Curr_Time; // Time in column B
    for (var param in e.parameter) {
      Logger.log('In for loop, param=' + param);
      var value = stripQuotes(e.parameter[param]);
      Logger.log(param + ':' + e.parameter[param]);
      switch (param) {
        case 'ciclos':
          rowData[2] = value; // Temperature in column C
          result = 'ciclos Written on column C';
          break;
        case 'numeroCiclos':
          rowData[3] = value; // Humidity in column D
          result += ' ,numeroCiclos Written on column D';
          break;
        case 'binario':
          rowData[4] = value; // ciclos in column E
          result += ' ,binario Written on column E';
          break;
      }
    }
    Logger.log(JSON.stringify(rowData));
    var newRange = sheet.getRange(newRow, 1, 1, rowData.length);
    newRange.setValues([rowData]);
  }
  return ContentService.createTextOutput(result);
}

```

Figura 39 - Código Apps Script no Google Sheets

A folha está estruturada com cinco colunas e cada linha é uma atualização dos dados recebidos. A Tabela 5 é um exemplo de registo do início de um ensaio, onde mostra todos os dados introduzidos. Com estes dados, é possível obter várias informações como:

- Em que sentido de rotação a válvula se encontra através do sinal do binário;
- Os ciclos por minuto;
- O binário instantâneo exercido pela válvula (coluna E);
- A data (coluna A);
- A hora (coluna B);

- Os ciclos predefinidos pelo operador (coluna D);
- O número de ciclos já realizados (coluna C).

Tabela 5- Exemplo de um registo de dados no Google Sheets

	A	B	C	D	E
1	Data	Hora	Ciclos realizados	Nº ciclos	Binario Instantâneo
2	2024/10/11	11:31:53	0	5 000	-0.25
3	2024/10/11	11:31:57	0	5 000	-0.24
4	2024/10/11	11:32:00	0	5 000	-0.50
5	2024/10/11	11:32:03	0	5 000	-0.19
6	2024/10/11	11:32:06	1	5 000	0.21
7	2024/10/11	11:32:09	1	5 000	0.15
8	2024/10/11	11:32:12	1	5 000	0.12
9	2024/10/11	11:32:15	1	5 000	1.70
10	2024/10/11	11:32:18	2	5 000	-2.55
11	2024/10/11	11:32:21	2	5 000	-0.93
12	2024/10/11	11:32:24	2	5 000	-3.12
13	2024/10/11	11:32:27	2	5 000	-0.76
14	2024/10/11	11:32:30	3	5 000	0.78
15	2024/10/11	11:32:33	3	5 000	0.78
16	2024/10/11	11:32:38	3	5 000	0.77
17	2024/10/11	11:32:41	3	5 000	0.76

8.4. Esquema elétrico

O equipamento tem incorporado um sistema elétrico composto por componentes eletrônicos e uma cablagem correspondente. O esquema elétrico é responsável por facilitar a compreensão do sistema, a sua montagem e futuras manutenções. Na Figura 40 está representado o esquema elétrico composto por um Arduino Mega, um motor passo NEMA34, um driver DM860T, uma fonte de alimentação AC responsável pela alimentação do driver do motor passo, um encoder com duas resistências de $1k\Omega$ e as respectivas ligações.

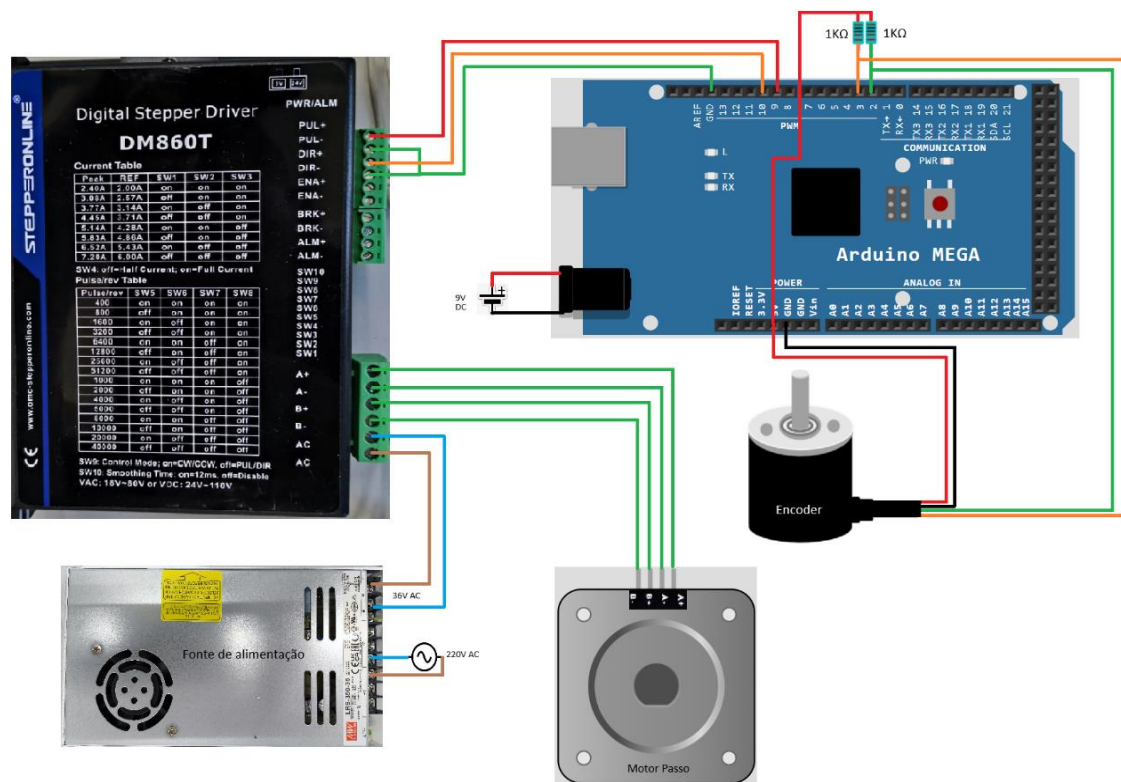


Figura 40 - Esquema elétrico do motor passo e do encoder

Na Figura 41 está representado o esquema elétrico com as ligações do *display* Nextion e do Esp01 ao Arduino Mega.

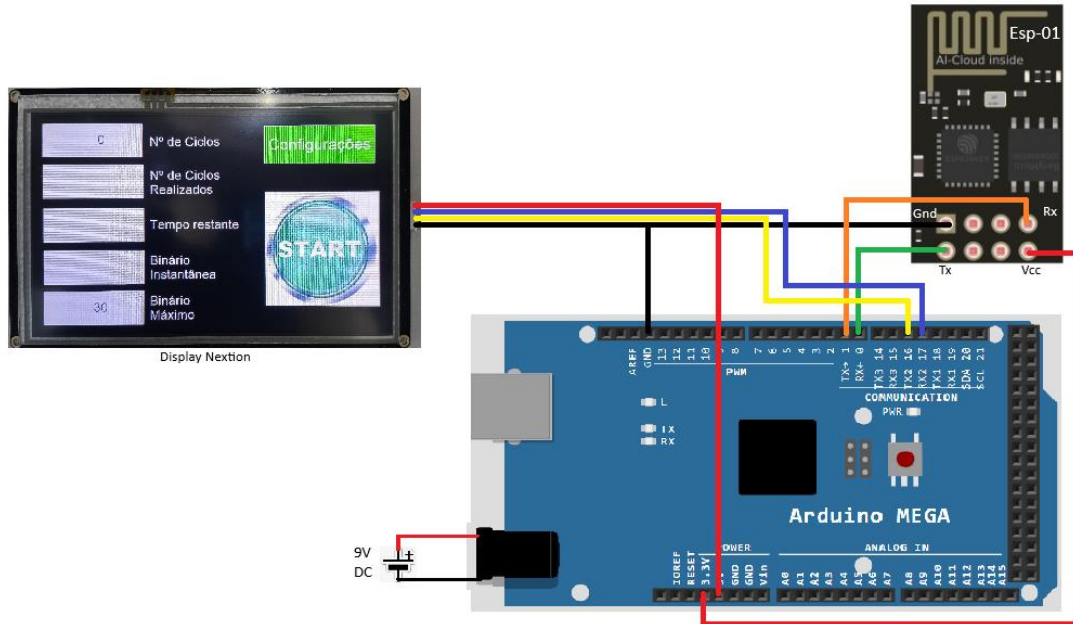


Figura 41- Esquema elétrico do Esp-01 e do display Nextion

Na Figura 42 esta representado o esquema elétrico com as ligações do transdutor de binário e o amplificador de sinal HX711.

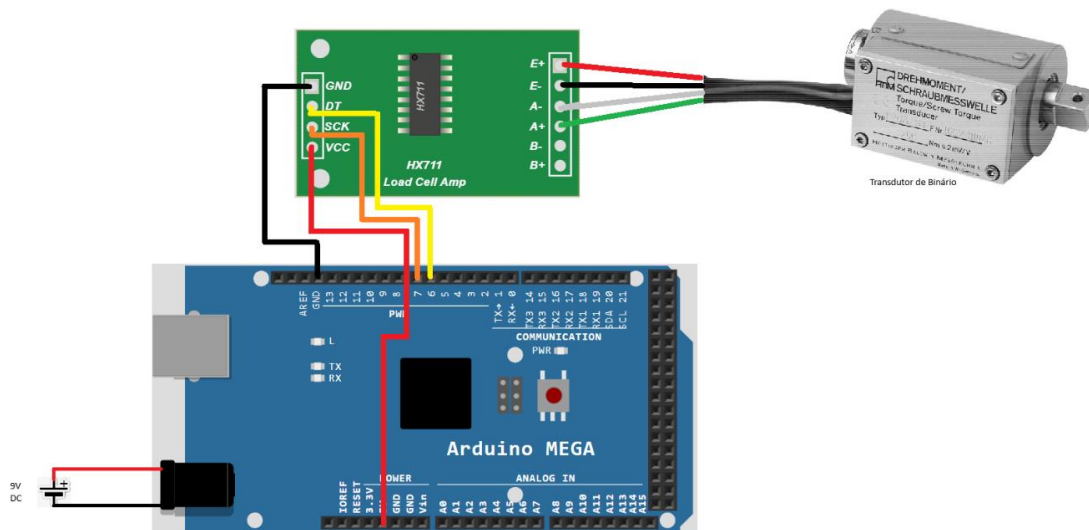


Figura 42 - Esquema elétrico do transdutor de binário com o amplificador de sinal

No anexo A está representado o esquema completo com o conjunto de componentes eletrônicos e respectivas ligações, também na Figura 57 e Figura 58 a organização da instalação elétrica

8.5. Calibração

A calibração de um equipamento é fundamental para garantir a precisão das medições realizadas e validar os resultados obtidos no ensaio. Por isso, foi necessário proceder à calibração do transdutor de binário, pois é ele que verifica o valor do binário do órgão de manobra da válvula.

Primeiro passo, é fixado o transdutor com um grampo à estrutura (Figura 43) para evitar movimento. De seguida, uns dos lados do veio do transdutor é fixado à estrutura usando um roquete.



Figura 43- Fixação do transdutor à estrutura

Do outro lado do veio, é colocado um braço de 250 mm com várias massas (Figura 44), e é aplicado incrementos de 1 kg de cada vez, começando de 0 kg até 8kg, no sentido horário e anti-horário, e são registados os valores fornecidos pelo sensor.



Figura 44 - Braço de 250 mm com massas

Na Tabela 6 foram registados os valores da massa colocada durante a calibração, com a conversão para N·m através da equação 7 e os valores fornecidos pelo transdutor.

$$T = m \cdot 9,81 \cdot 0,25 \quad (7)$$

Tabela 6 - Valores de binário registados pela calibração

Massa (kg)	N.m	Valores do Arduino
8	19,6	1715600
7	17,2	1501100
6	14,7	1286500
5	12,3	1072100
4	9,8	858200
3	7,4	643800
2	4,9	429500
1	2,5	215500
0	0	-5500
-1	-2,5	-225500
-2	-4,9	-440200
-3	-7,4	-654200
-4	-9,8	-838200
-5	-12,3	-1083300
-6	-14,7	-1297600
-7	-17,2	-1511000
-8	-19,6	-1721500

Os valores da Tabela 6 foram inseridos numa folha de cálculo criando o gráfico na Figura 45. Foi ajustada uma reta aos pontos do gráfico cuja equação está descrita no Figura 45, e que foi utilizada no código do Arduino.

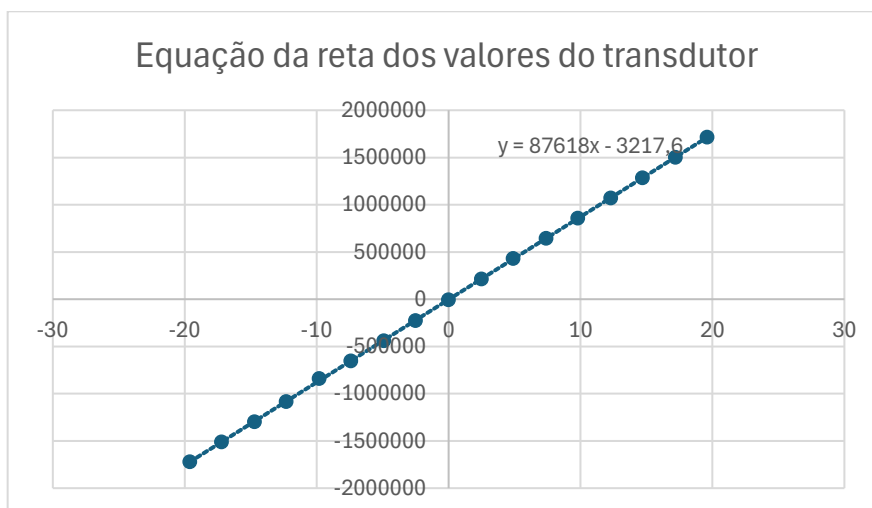


Figura 45 - Equação da reta do transdutor de binário

9. Resultados e Discussões

Na sequência da finalização do equipamento, há a necessidade da realização de ensaios experimentais para a conformidade dos componentes instalados. Serão feitas leituras com equipamentos calibrados ao binário, posição e aos ciclos por minuto. Também foi contabilizado o valor total do equipamento e comparado com os mostrado anteriormente.

9.1. Ensaio

Foi ensaiada uma válvula DN25 com todos os requisitos da norma EN331:

- Número de ciclos: 2500 ciclos
- Velocidade: 5 ciclos por minuto
- Binário máximo: 7 Nm

No total foram realizados 5 ensaios, não se tendo verificado qualquer anomalia durante o ensaio. Na Tabela 7 foi simulado um atrito excessivo no manipulador da válvula, representado por um aumento significativo do binário de acionamento (Linha 23 da Tabela 7), o equipamento reagiu conforme o previsto, isto é, interrompeu o ensaio.

Tabela 7- Verificação do binário máximo definido

	A	B	C	D	E
10	2024/11/28	11:03:38	2	2 500	1.38
11	2024/11/28	11:03:43	3	2 500	-0.79
12	2024/11/28	11:03:47	3	2 500	1.56
13	2024/11/28	11:03:50	3	2 500	1.18
14	2024/11/28	11:03:53	4	2 500	0.25
15	2024/11/28	11:03:56	4	2 500	-0.56
16	2024/11/28	11:03:58	4	2 500	-0.66
17	2024/11/28	11:04:01	4	2 500	1.28
18	2024/11/28	11:04:04	4	2 500	1.37
19	2024/11/28	11:04:07	5	2 500	-0.72
20	2024/11/28	11:04:09	5	2 500	-0.81
21	2024/11/28	11:04:12	5	2 500	1.52
22	2024/11/28	11:04:15	5	2 500	2.52
23	2024/11/28	11:04:19	5	2 500	10.80
24	2024/11/28	11:04:22	5	2 500	0.91
25	2024/11/28	11:04:25	5	2 500	0.91
26	2024/11/28	11:04:28	5	2 500	0.91
27	2024/11/28	11:04:31	5	2 500	0.91
28	2024/11/28	11:04:33	5	2 500	0.91
29	2024/11/28	11:04:36	5	2 500	0.91
30	2024/11/28	11:04:39	5	2 500	0.91
31	2024/11/28	11:04:42	5	2 500	0.91
32	2024/11/28	11:04:47	5	2 500	0.91

9.2. Binário

Esta confirmação é feita com duas chaves dinamométricas calibradas (Anexo C), uma com uma gama de utilização de $1\text{N}\cdot\text{m}$ a $12\text{N}\cdot\text{m}$, e outra de $5\text{N}\cdot\text{m}$ a $45\text{N}\cdot\text{m}$. Os valores conferidos no sentido horário e anti-horário, foram:

- $2\text{N}\cdot\text{m}$;
- $4\text{N}\cdot\text{m}$;
- $6\text{N}\cdot\text{m}$;
- $10\text{N}\cdot\text{m}$;
- $15\text{N}\cdot\text{m}$.

Na Figura 46 é um exemplo de uma confirmação no sentido anti-horário, e é possível ver no display o binário instantâneo de $3.97\text{N}\cdot\text{m}$, no mesmo instante que é aplicado um binário de $4\text{N}\cdot\text{m}$.



Figura 46 - Confirmação do binário de 4Nm no sentido anti-horário

Na Figura 47, invertendo o sentido para horário, mostra o mesmo princípio anterior aplicado com 10Nm , e é possível verificar no display $9,97\text{N}\cdot\text{m}$.



Figura 47 - Confirmação do binário de 10 Nm no sentido horário

Tal como expectável existe um erro associado à leitura do binário do transdutor, porém este pode ser desprezado tendo em conta que à resolução exigida pela norma. Foram efetuadas mais medições para aferição do erro que podem ser consultadas no anexo B.

9.3. Posição

A posição de ensaio é definida normalmente entre 45° a 90°, porém, para abranger uma maior gama com precisão foram conferidos os valores de 0°, 45°, 90° e 120°. Para isso foi impresso um transferidor (Figura 48) e colocado na base do equipamento centrado com o eixo.

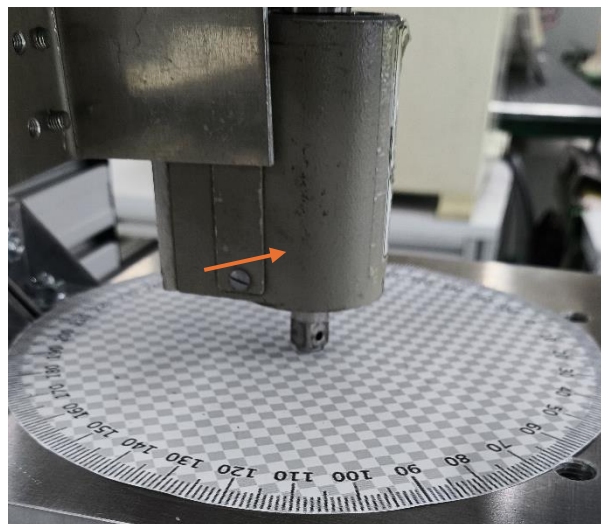


Figura 48 - Transferidor impresso para medir a posição já centrado

Foi inserido um indicado no transdutor, a Figura 49 mostra o ponteiro inserido a 0° correspondendo com o mesmo valor no display (Figura 50).

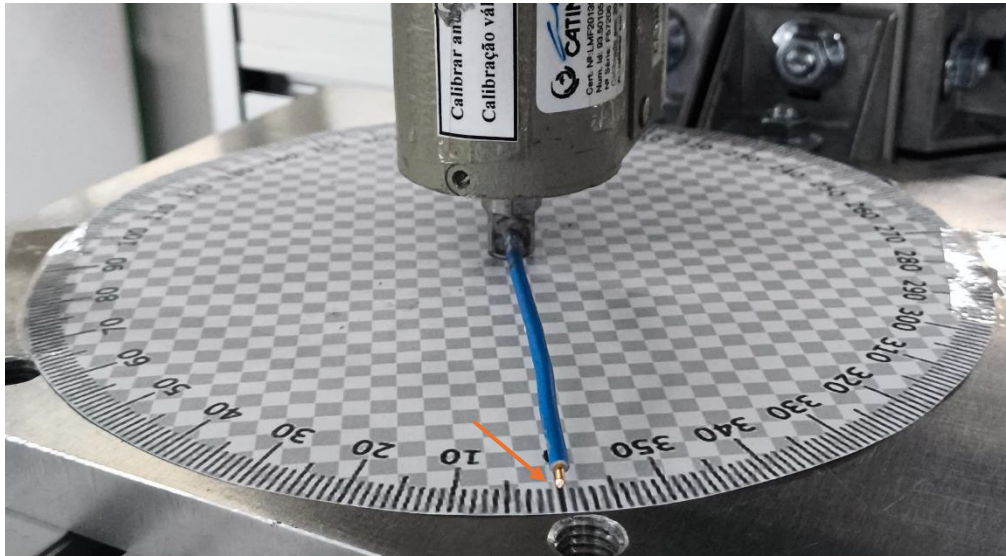


Figura 49 - Posição 0°

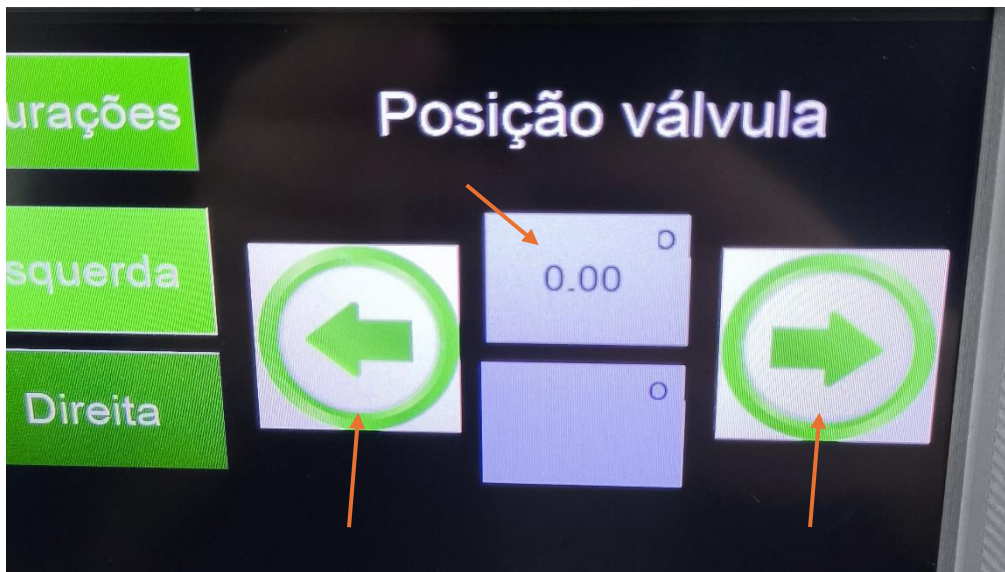


Figura 50 – Valor da Posição a 0° mostrado pelo display

Para mover o motor é necessário usar as setas do display da Figura 50. Na Figura 51 moveu-se o motor até à posição de 45°, sendo possível verificar o valor mostrado na Figura 52 pelo *display* de 44,82°.

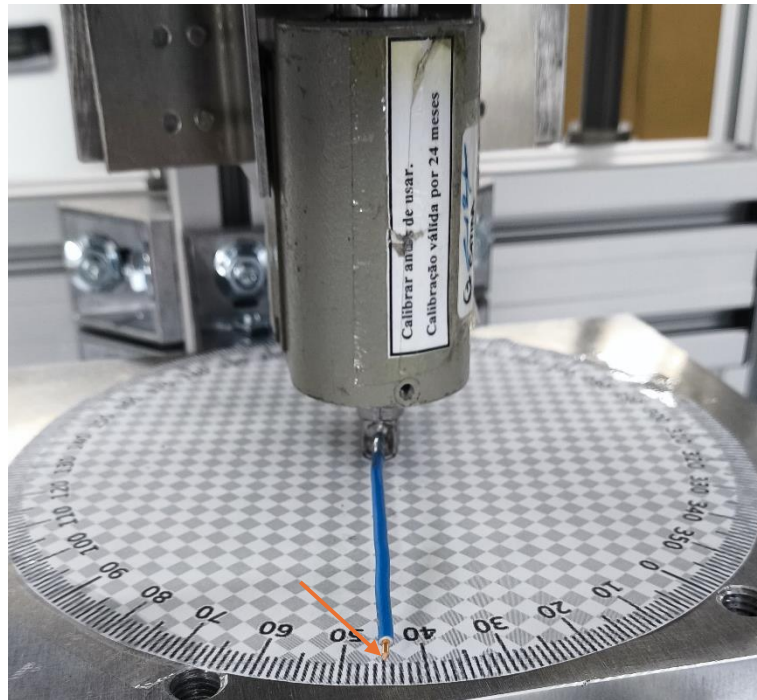


Figura 51 - Posição 45°

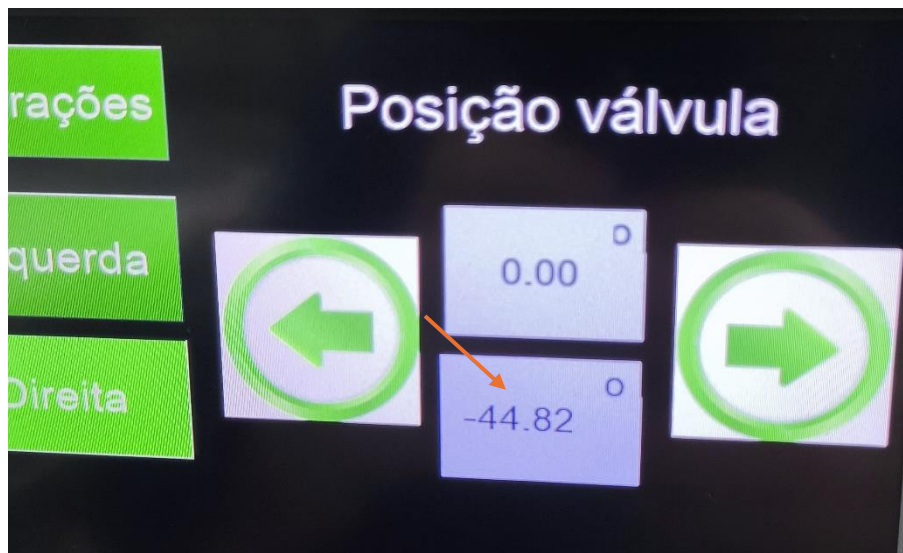


Figura 52 – Valor da posição a 45° mostrado pelo display

Para fazer as medições de todas as posições referidas anteriormente, foi usado um transferido impresso não calibrado, onde houve a necessidade da sua verificação, nesse caso a Figura 53 mostra a verificação do valor de 45° medido por uma suta calibrada.

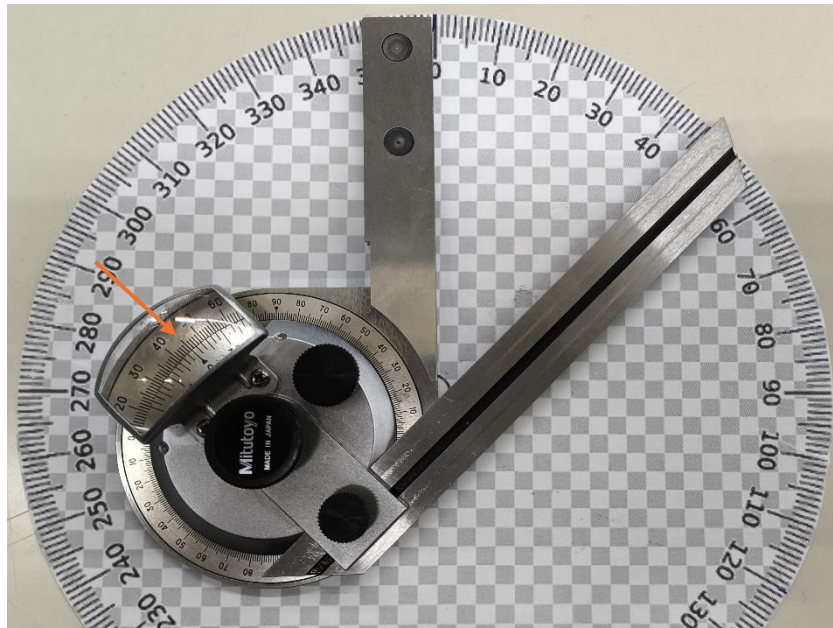


Figura 53 - Verificação com uma suta calibrada para a validação do valor de 45°

No anexo B mostra o mesmo processo feito em todas as posições definidas no início, e verifica-se que o erro em todos os ângulos medidos é insignificante, o que valida a função da posição da válvula.

9.4. Ciclos por minuto

A norma EN331 é referido que a velocidade de ensaio é de 5 ± 1 ciclos por minuto, como mostra a Figura 54 é inserido o valor nas configurações no display



Figura 54 - Configurar a velocidade do ensaio de 5 ciclos por minuto

Com um cronómetro calibrado, a Figura 55 foi contabilizado o número de ciclos realizados em 1 minuto. Foi observado que o ensaio realizou 4 ciclos o que não é pretendido



Figura 55 - Contabilização de número de ciclos em 1 minuto de ensaio

Por consequente ao resultado anterior, foi realizado um novo ensaio de 10 minutos para uma maior resolução, com isso é possível observar na Figura 56, que a velocidade do ensaio é de 4,5 ciclos por minuto. Com isto conclui-se que a velocidade está dentro do requisito pedido pela norma.



Figura 56 - Contabilização de número de ciclos em 10 minuto de ensaio

9.5. Custo e comparação do equipamento

Na Tabela 8 - Preço de todo o material usado no equipamento mostra um resumo dos custos de aquisição dos componentes necessários para a construção do equipamento com um total de 4835,42€.

Tabela 8 - Preço de todo o material usado no equipamento

Material	S/IVA
Estrutura	2 663,49 €
Motor	53,21 €
Caixa redutora	116,17 €
Driver	36,41 €
Transdutor de binário	1 200,00 €
Fonte de alimentação 36v	27,66 €
Fonte de alimentação 9v	10,08 €
Encoder	203,60 €
Display nextion	108,72 €
Arduino mega	33,03 €
Esp-01	10,09 €
Amplificador de sinal	4,97 €
Torno	26,94 €
Peças maquinadas	240,00 €
Material elétrico	101,05 €
Total	4 835,42 €

Na Tabela 9 mostra o preço de cada equipamento referido no estado da arte, o que comparando com o equipamento desenvolvido é possível verificar que existe uma redução de custo significativa.

Tabela 9 - Preço dos equipamentos

Equipamento	Preço
Instron ElectroPuls® E3000 Linear-Torsion	225 000,00 €
BESMAK BMT-T Series Rotary Bending Fatigue Test Machine	30 000,00 €
ZwickRoell ZwickiLine	85 000,00 €

10. Conclusão

10.1. Conclusão do trabalho

O desenvolvimento do novo equipamento de ensaio de durabilidade para válvulas de gás foi concluído com sucesso, cumprindo com os requisitos necessários conforme a norma EN331 e atendendo às necessidades adicionais postas pelo CATIM. O equipamento através do *display* é possível definir os ciclos de manobra, a velocidade e o binário máximo do ensaio. O transdutor de binário mede o binário de manobra da válvula e interrompe o ensaio assim que o binário máximo é excedido. Os parâmetros do ensaio são registados numa folha no Google Sheets com a data, hora, nº de ciclos definidos, ciclos realizados e binário. O desenho e a organização do equipamento permitem o acesso à entrada e saída do fluxo de gás da válvula, e proporciona ergonomia ao operador.

Além destes objetivos, a aquisição deste equipamento resolveu todos os problemas do equipamento usado anteriormente. Para verificar a conformidade, foram realizados testes, onde validam a precisão e eficácia do equipamento. O material usado no equipamento foi contabilizado com o valor de 4 900 €, em que comparando com outros equipamentos, torna-o bastante acessível.

10.2. Trabalhos Futuros

O projeto atendeu às necessidades identificadas inicialmente, ainda assim, foram identificadas possibilidades de melhoria que incluem:

- Melhorar e aperfeiçoar a interface gráfica no *display Nextion*, para uma melhor interpretação visual.
- Realizar a nova impressão 3D da caixa CATIM modelo 2, já com os novos suportes para o Esp-01 e o amplificador de sinal do transdutor de binário;
- Criar um manual de instruções, onde explique todo o processo para a realização do ensaio;
- Inserir um aviso visual no display, para quando acionado a botoneira do STOP, o ensaio ser reacionado pelo display, assim, cumprirá com as normas de segurança

11. Bibliografia

- Acarney, P. (2002). *Stepping Motors: A Guide to Theory and Practice*. The Institution of Engineering and Technology.
- Al-Dahiree, O. S., Tokhi, M. O., Hadi, N. H., Hmoad, N. R., Ghazilla, R. A., Yap, H. J., & Albaadani, E. A. (2022). Design and shape optimization of strain gauge load cell for axial force measurement for test benches. *Sensors*.
- Arduino. (19 de 07 de 2024). *Arduino*. Obtido de Introduction: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Bento, A. C. (2018). IoT of Nextion X TFT ILI9341: Experimental Results and Comparative Survey. *International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research*.
- BESMAK. (14 de 08 de 2024). *BESMAK*. Obtido de BESMAK: <https://www.besmaklab.com/Dashboard/ProductItem?urunId=462>
- CATIM. (1992). *Máquina de durabilidade de valvulas de gás*. Porto: CATIM.
- CATIM. (16 de 07 de 2024). *CATIM Academy*. Obtido de CATIM: <https://www.catimacademy.com/>
- CATIM. (16 de 07 de 2024). *História*. Obtido de CATIM: <https://www.catim.pt/pt-pt/node/13>
- CATIM. (16 de 07 de 2024). *Missão*. Obtido de CATIM: <https://www.catim.pt/pt-pt/node/3>
- Instron. (13 de 08 de 2024). *Instron*. Obtido de Instron: https://www.instron.com/-/media/literature-library/products/2019/07/e3000-combined-pod.pdf?la=en&sc_lang=en&ch=111
- Ismailov, A. S., & Jo'rayev, Z. B. (2022). Study of arduino microcontroller board. *Science and Education" Scientific Journal*.
- Kissell, J. R., & Ferry, R. L. (2002). *Aluminum Structures: A Guide to Their Specifications and Design*. John Wiley & Sons.

Melconian, S. (2000). *Elementos de Máquinas*. Érica LTDA.

Nextion. (20 de 07 de 2024). *Introduction*. Obtido de Nextion: <https://nextion.tech/>

NP EN 331. (14 de 10 de 2016). *Válvulas de macho esférico e válvulas de macho cónico de fundo plano destinadas a ser manobradas manualmente e a ser utilizadas nas instalações de gás dos edifícios*. Caparica: Instituto Português da Qualidade.

ZwickRoell. (14 de 08 de 2024). *ZwickRoell*. Obtido de ZwickRoell: <https://www.zwickroell.com/pt/produtos/maquinas-para-ensaios-estaticos-de-materiais/maquinas-de-ensaio-biaxiais-triaxiais/maquinas-de-ensaio-de-torca/#c98402>

12. Anexo A - Esquema e instalação elétrica completa

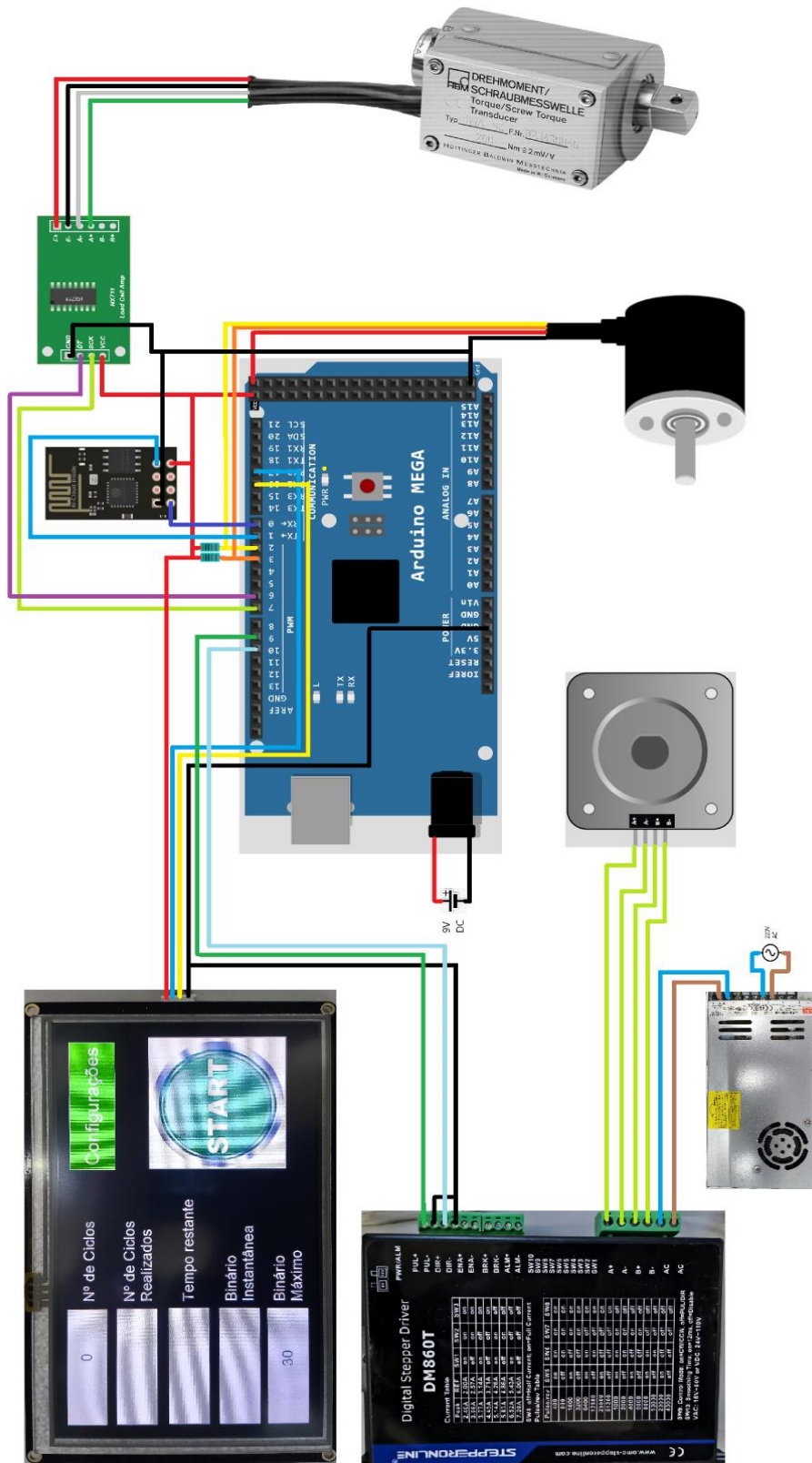


Figura 57 - Esquema elétrico completo



Figura 58 - Organização da instalação elétrica

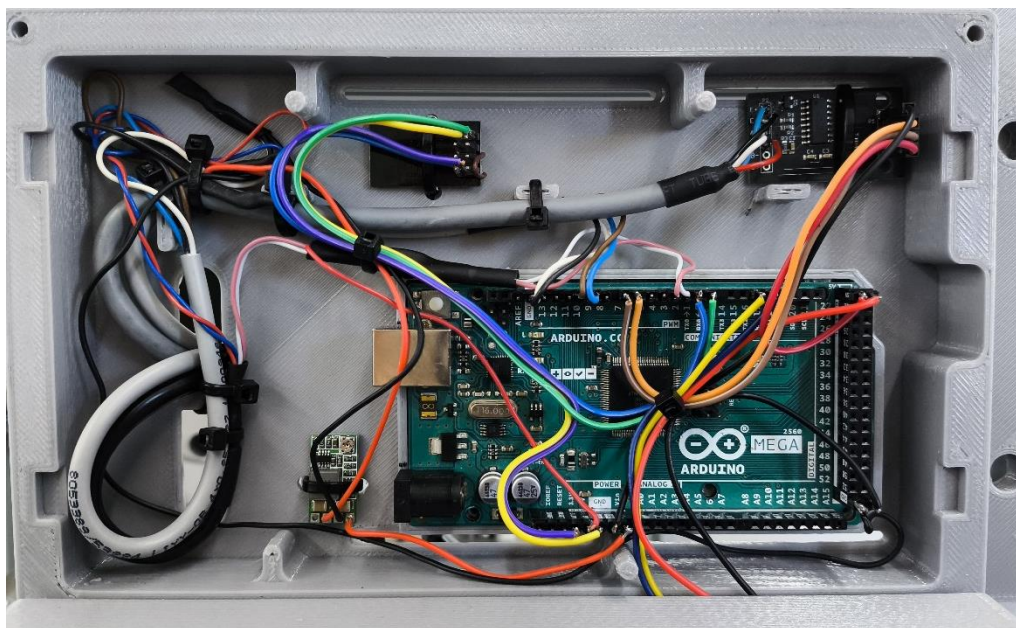


Figura 59 - Organização da instalação elétrica na caixa CATIM

13. Anexo B – Verificações de calibração

13.1. Binário



Figura 60 - Confirmação do binário de 15 Nm no sentido anti-horário



Figura 61 - Confirmação do binário de 10 Nm no sentido anti-horário



Figura 62 - Confirmação do binário de 6 Nm no sentido anti-horário



Figura 63 - Confirmação do binário de 4 Nm no sentido anti-horário

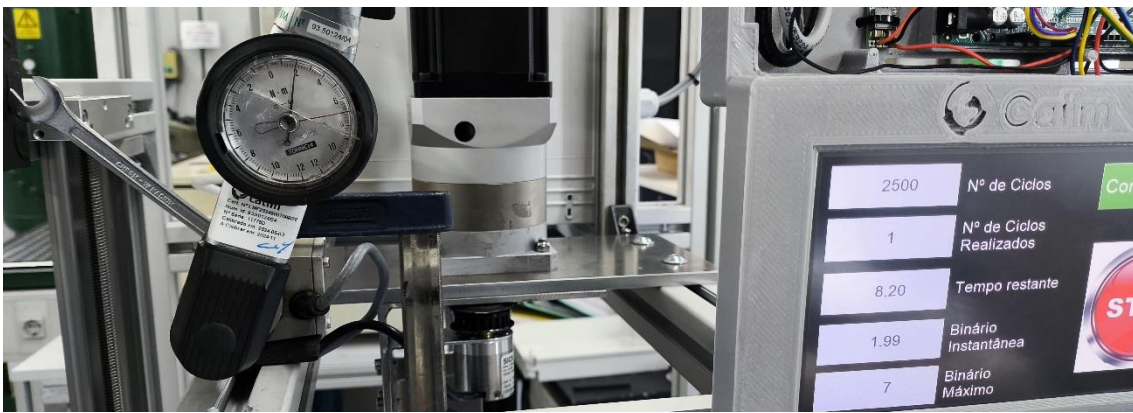


Figura 64 - Confirmação do binário de 2 Nm no sentido anti-horário



Figura 65 - Confirmação do binário de 2 Nm no sentido horário



Figura 66 - Confirmação do binário de 4 Nm no sentido horário



Figura 67 - Confirmação do binário de 6 Nm no sentido horário



Figura 68 - Confirmação do binário de 10 Nm no sentido horário



Figura 69 - Confirmação do binário de 15 Nm no sentido horário

13.2. Posição da válvula

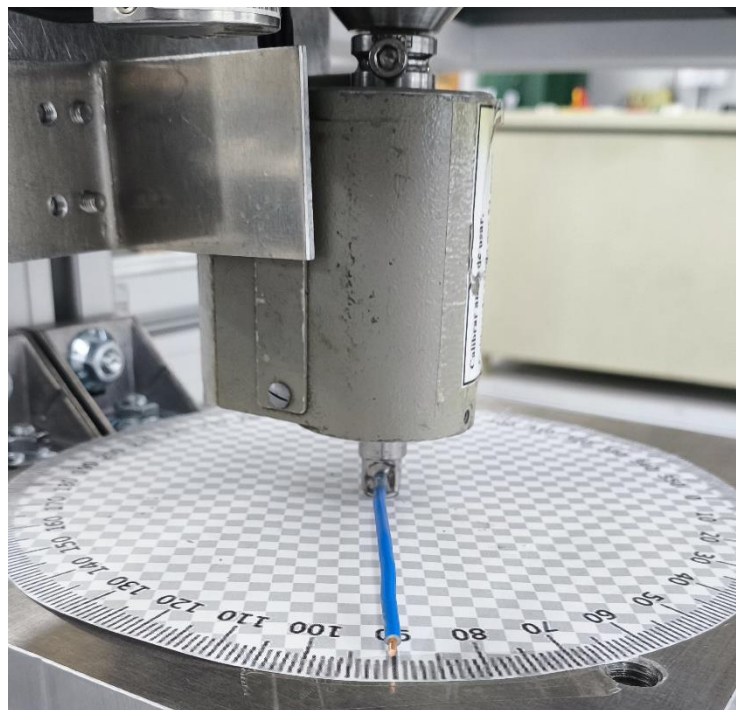


Figura 70 - Posição 90°



Figura 71 - Valor da posição a 90° mostrado pelo display



Figura 72 - Verificação com uma suta calibrada para a validação do valor de 90°

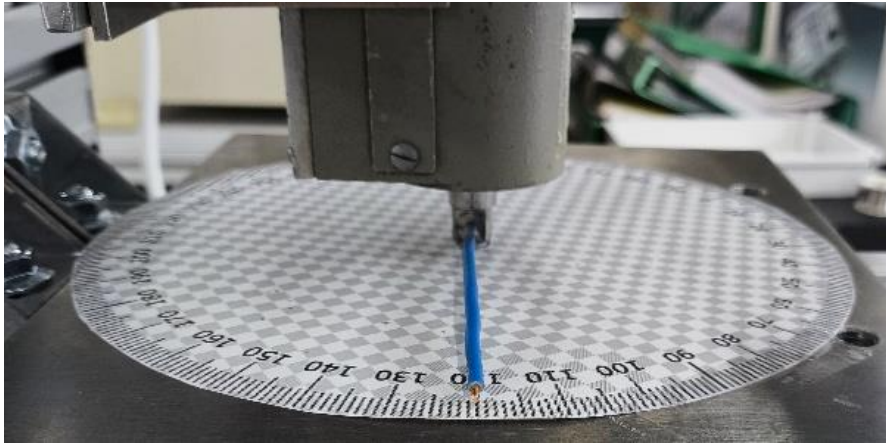


Figura 73 - Posição 120°

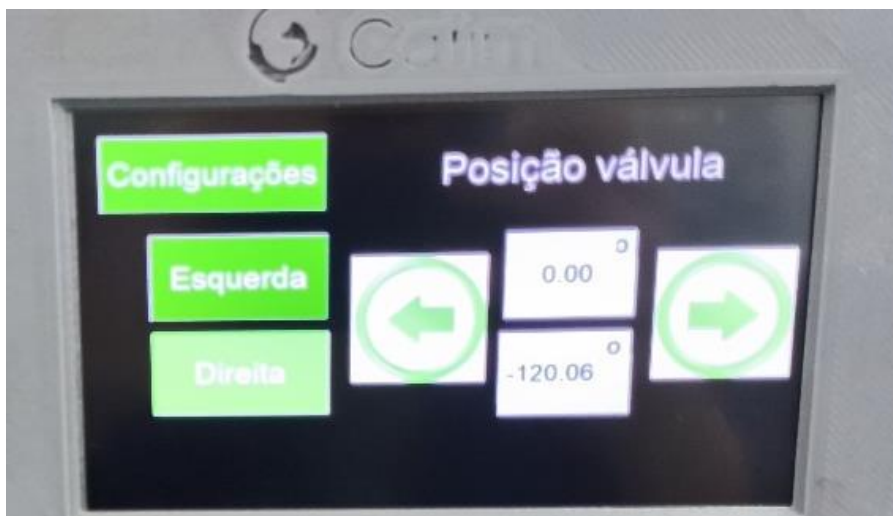


Figura 74 - Valor da posição a 120° mostrado pelo display

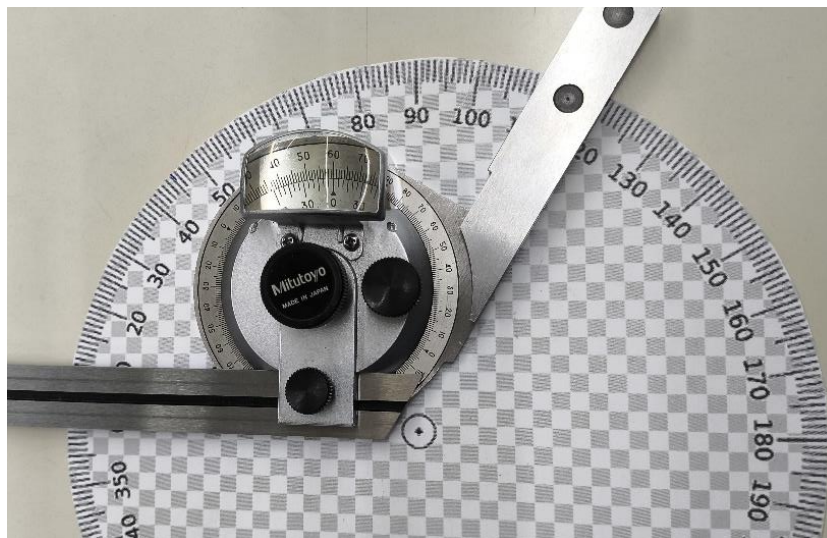


Figura 75 - Verificação com uma suta calibrada para a validação do valor de 120°

14. Anexo C - Certificados de calibração

14.1. Chaves dinamométricas



Certificado de Calibração LaborMet - LABORATÓRIO DE METROLOGIA

Data: 2024-05-03

Certificado n.º: LMF20245007088/10

Página 1 de 3

CLIENTE:

CATIM - LEP - Louça, Cutelaria, Tubos e Torneiras
RUA DOS PLÁTANOS, 197 - PORTO
4100-414 PORTO

DESCRIÇÃO:

Equipamento: Chave dinamométrica - Tipo I, classe B
Marca: TOHNICHI Alcance medição: 5 a 45 N.m
Modelo: 450 DB3-N Indicação: Analógico
Número de Série: 05784F Divisão: 0.5 N.m
Referência Interna: 93.50124/03 Resolução: 0.1 N.m

PRINCIPAL EQUIPAMENTO UTILIZADO:

Padrão	CATIM N.º	Rastreabilidade
Calibrador de Chaves Dinamométricas AWT 2000	20.501631	CATIM (IPAC)

OPERAÇÕES EFECTUADAS:

Calibração segundo a norma ISO 6789-2:2017. Quando aplicável e na ausência de marca no ponto de aplicação de carga, considera-se a distância entre o centro do punho e o eixo de rotação. Todas as medições foram efectuadas em ambiente controlado com temperatura de (23±5)°C e humidade relativa de (45±15)% h.r, nas instalações do Porto.

EXAME VISUAL:

O equipamento encontra-se em bom estado.

A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor $k=k'$, o qual para uma distribuição-t com $\text{vef}=\nu'ef$ graus de liberdade efectivos corresponde a uma probabilidade de expansão de aproximadamente 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02

O IPAC é um dos signatários do Acordo de reconhecimento mútuo da EA e do ILAC para calibrações.

Data de calibração: 2024-05-03

Técnico

Pedro Seixas

Responsável Técnico

Bruno Frontoura



Anexo Técnico de Acreditação M0003-1

Rua dos Plátanos, 197
4100-414 Porto - Portugal

Estrada do Paço do Lumiar, Campus do Lumiar - Edifício Q
1649-038 Lisboa - Portugal

Rua Cidade do Porto, Campus do APTV - edifício 4
4705-086 Braga - Portugal

Med. 03.02



Certificado de Calibração

LaborMet - LABORATÓRIO DE METROLOGIA

Data: 2024-05-03

Certificado n.º: LMF20245007088/20

Página 1 de 3

CLIENTE:

CATIM - LEP - Louça, Cutelaria, Tubos e Torneiras
RUA DOS PLÁTANOS, 197 - PORTO
4100-414 PORTO

DESCRIÇÃO:

Equipamento: Chave dinamométrica - Tipo I, classe B
Marca: TOHNICHI
Modelo: 120 DB3-N
Número de Série: 11776D
Referência Interna: 93.50124/04

Alcance medição: 1 a 12 N.m
Indicação: Analógico
Divisão: 0.2 N.m
Resolução: 0.04 N.m

PRINCIPAL EQUIPAMENTO UTILIZADO:

Padrão	CATIM N.º	Rastreabilidade
Calibrador de Chaves Dinamométricas AWT 2000	20.501631	CATIM (IPAC)

OPERAÇÕES EFECTUADAS:

Calibração segundo a norma ISO 6789-2:2017. Quando aplicável e na ausência de marca no ponto de aplicação de carga, considera-se a distância entre o centro do punho e o eixo de rotação. Todas as medições foram efectuadas em ambiente controlado com temperatura de (23±5)°C e humidade relativa de (45±15)% h.r, nas instalações do Porto.

EXAME VISUAL:

O equipamento encontra-se em bom estado.

A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor k=k', o qual para uma distribuição-t com $v_{ef}=v_{ef}$ graus de liberdade efectivos corresponde a uma probabilidade de expansão de aproximadamente 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02

O IPAC é um dos signatários do Acordo de reconhecimento mútuo da EA e do ILAC para calibrações.

Data de calibração: 2024-05-03

Técnico

Pedro Seixas

Responsável Técnico

Bruno Frontoura



Anexo Técnico de Acreditação M0003-1

Rua dos Plátanos, 197
4100-414 Porto - Portugal

Estrada do Paço do Lumiar, Campus do Lumiar - Edifício Q
1649-038 Lisboa - Portugal

Rua Cidade do Porto, Campus do APTIV - edifício 4
4705-086 Braga - Portugal

Os resultados apresentados referem-se apenas aos itens calibrados ou ensaiados. Este documento não pode ser reproduzido, exceto integralmente, sem a autorização por escrito do CATIM

14.2. Suta



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO LABORATÓRIO METROLOGIA DIMENSIONAL

Data: 2023-03-15

Certificado N.º LMD20235003647/10

Página 1 de 4

CLIENTE:

CATIM - LEP - Louça, Cutelaria, Tubos e Torneiras
RUA DOS PLÁTANOS, 197
4100 414 PORTO

DESCRIÇÃO:

Equipamento: Suta de indicação analógica de 360°
Marca: MITUTOYO **Resolução:** 5'
Modelo: 187-907
Número de série: - - - **Referência interna:** 92.50074

PRINCIPAL EQUIPAMENTO UTILIZADO:

Padrão	CATIM N.º	Rastreabilidade
Máquina de medição por coordenadas ZEISS Contura G2	06.50853	CARL ZEISS (DAkks)

OPERAÇÕES EFECTUADAS:

Calibração efectuada segundo o procedimento interno LMD-P44 Rev.A2 2018-05-28.
Todas as medições foram efectuadas em ambiente controlado a (20 ±1)°C e humidade relativa entre (45 ±10)%, nas instalações do CATIM no Porto.

EXAME VISUAL:

O equipamento sujeito a calibração encontra-se em bom estado.

INCERTEZA EXPANDIDA

A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão $k = k'$, o qual para uma distribuição -t com $v_{ef} = v_{ef}$ graus de liberdade efectivos corresponde a uma probabilidade de expansão de aproximadamente 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.

O IPAC é um dos signatários do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para calibrações.

Data da calibração: 2023-03-15

Técnico

Paulo Santos

Responsável Técnico

Fernando Ferreira



Os resultados apresentados referem-se apenas aos itens calibrados ou ensaiados. Este documento não pode ser reproduzido, exceto integralmente, sem a autorização por escrito do CATIM

Maio 2022

Rua dos Plátanos, 197
4100-414 Porto - Portugal

Estrada do Paço do Lumiar, Campus do Lumiar - Edifício Q
1649-038 Lisboa - Portugal

Rua Cidade do Porto, Campus do APTV - edifício 4
4705-086 Braga - Portugal

15. Anexo D – Código Arduino IDE

15.1. Código inserido no Arduino

```
#include <NexButton.h>
#include <NexCheckbox.h>
#include <NexConfig.h>
#include <NexCrop.h>
#include <NexDualStateButton.h>
#include <NexGauge.h>
#include <NexGpio.h>
#include <NexHardware.h>
#include <NexHotspot.h>
#include <NexNumber.h>
#include <NexObject.h>
#include <NexPage.h>
#include <NexPicture.h>
#include <NexProgressBar.h>
#include <NexRadio.h>
#include <NexRtc.h>
#include <NexScrolltext.h>
#include <NexSlider.h>
#include <NexText.h>
#include <NexTimer.h>
#include <NexTouch.h>
#include <NexUpload.h>
#include <NexVariable.h>
#include <NexWaveform.h>
#include <Nextion.h>
#include <doxygen.h>

#include <Nextion.h>
#include <Encoder.h>

#include <HX711.h>

#include "Thread.h"
#include "ThreadController.h"

#define STEP_PIN 9
#define DIR_PIN 10
#define ENA_PIN 11

#define ENCODER_PIN_A 2
#define ENCODER_PIN_B 3

#define DOUT_PIN 6
#define CLK_PIN 7

NexText t5 = NexText(0, 9, "t5");
NexText t6 = NexText(0, 10, "t6");
NexText t7 = NexText(0, 12, "t7");
```

```

NexText t8 = NexText (0, 12, "t8");
NexText t9 = NexText (0, 13, "t9");
NexText t13 = NexText (1, 9, "t13");
NexText t10 = NexText (1, 7, "t10");
NexText t11 = NexText (1, 8, "t11");
NexText t17 = NexText (2, 9, "t17");
NexText t18 = NexText (2, 3, "t18");

NexDSButton bt0 = NexDSButton (0, 7, "bt0");
NexDSButton bt1 = NexDSButton (2, 7, "bt1");
NexDSButton bt2 = NexDSButton (2, 8, "bt2");
NexDSButton bt3 = NexDSButton (2, 11, "bt3");
NexDSButton bt4 = NexDSButton (2, 12, "bt4");
NexDSButton bt5 = NexDSButton (2, 9, "bt5");
NexDSButton bt6 = NexDSButton (2, 10, "bt6");
NexDSButton bt10 = NexDSButton (1, 10, "bt10");

NexTouch *nex_listen_list[] = {
    &bt0,
    &bt1,
    &bt2,
    &bt3,
    &bt4,
    &bt5,
    &bt6,
    &bt10,
    NULL
};

bool Save = false;

Encoder myEncoder (ENCODER_PIN_A, ENCODER_PIN_B);
long encoderPosition = -1;

unsigned long delay1 ;
float e;
float d;
float deltapassos;
unsigned int c = 0;
unsigned int ciclos = 0;
float cpm = 0;
float ciclos2;
float cpm2;
float fe;
float fd;
int fim = 0;
float bin2;
float calibrarbinario ;
uint32_t save;
uint32_t dual_state;
uint32_t ESQESQ;
uint32_t ESQDIR;
uint32_t DIRESQ;

```

```

uint32_t DIRDIR;
uint32_t DIR;
uint32_t ESQ;
uint32_t next;
int bin = 30;
int bin1;
const int porta_analogica = A1; // // Defina a porta analógica trans-
dutor binario

unsigned long starttime;
unsigned long starttime1;
unsigned long starttimebinario;

long newPosition = myEncoder.read();

HX711 scale;
String inputString;
volatile boolean loadExceeded = false;

ThreadController cpu; //thread para processar todas as threads

Thread threadSerialprint;
Thread threadtempo;
Thread threadEnsaio;
Thread threadMostrarBin;

char bn[50];
char cn[50];
char binarioInst[50];
char valornciclos[50];
char en[50];
char dn[50];
char buffer[50];char ciclospmin[50]; char valorBinario[50];
char tempfim[50];

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    nexInit();

    next = millis();
    threadSerialprint.setInterval(2000); //
    threadSerialprint.onRun(SerialMonitor);
    threadtempo.setInterval(25000); //
    threadtempo.onRun(tempo1);
    threadEnsaio.setInterval(667); //
    threadEnsaio.onRun(Ensaio1);
    threadMostrarBin.setInterval(1333); //
    threadMostrarBin.onRun(MostrarBin2);

    cpu.add(&threadSerialprint);
    cpu.add(&threadtempo);
    cpu.add(&threadEnsaio);
    cpu.add(&threadMostrarBin);

```

```

    pinMode(DOUT_PIN, INPUT);
    pinMode(CLK_PIN, OUTPUT);
    scale.begin(DOUT_PIN, CLK_PIN);
    scale.set_scale(); // Calibração automática
    scale.tare(); // Define o peso atual como tara

    pinMode(ENA_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(ENA_PIN, HIGH);
    pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);
    pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);
}

void tempol(void *ptr){

    float rest;
    int ciclosparatemp = ciclos - c;
    float tempohoras = (ciclosparatemp / cpm)/60;
    int horas = tempohoras;
    float min = tempohoras-horas ;

    rest = horas + (min*0.6);

    dtostrf(rest, 6, 2, tempfim);
    t7.setText(tempfim);

    Serial.println(tempfim);
    Serial.println(horas);
    Serial.println(min);
}

void Ensaiol(void *ptr){

    bin2 = ((scale.read()-10290)/-92882);

    if(bin2 < -bin || bin2 >= bin ){
        fim = 1 ;
        bin2 = ((scale.read()-10290)/-92882);
        Serial.print ("Ciclos: "); Serial.print (c);
        Serial.print ("  NCiclos: "); Serial.print (ciclos);
        Serial.print ("  Binario: "); Serial.print (bin2);
        Serial.print (bin2); //scale.get_units()/8500
        Serial.println("");
        bin2 = ((scale.read()-10290)/-92882);
        Serial.print ("Ciclos: "); Serial.print (c);
        Serial.print ("  NCiclos: "); Serial.print (ciclos);
        Serial.print ("  Binario: "); Serial.print (bin2);
        Serial.print (bin2); //scale.get_units()/8500
        Serial.println("");
        Serial.print ("fim");Serial.println(fim);
    }
}
//}

```

```

void clearBuffer(char* buf, size_t size) {
    memset(buf, 0, size);
}
void loop() {

    nexLoop(nex_listen_list);
    cpu.run();
    para:

    bt1.getValue(&ESQESQ);
    if (ESQESQ == 1) {
        tras:
        if (ESQESQ == 1) {
            digitalWrite(DIR_PIN, HIGH);
            digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
            digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
            bt1.getValue(&ESQESQ);
            goto tras;
        }
    }
    bt2.getValue(&ESQDIR);
    if (ESQDIR == 1) {
        tras1:
        if (ESQDIR == 1) {
            digitalWrite(DIR_PIN, LOW);
            digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
            digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
            bt2.getValue(&ESQDIR);
            goto tras1;
        }
    }
    bt5.getValue(&ESQ);
    if (ESQ == 1) {

        newPosition = myEncoder.read();
        e = newPosition;
        fe = ((e * 360.0) / 4096.0);

        dtostrf(fe, 6, 2, en);
        t17.setText(en);
    }

    bt6.getValue(&DIR);
    if (DIR == 1) {

        newPosition = myEncoder.read();
        d = newPosition;
        fd = ((d * 360.0) / 4096.0);

        dtostrf(fd, 6, 2, dn);
        t18.setText(dn);
    }
}

```

```

bt10.getValue(&save);
if (save == 1){
ciclos = 0;
cpm = 0;
bin = 0;
clearBuffer(buffer, sizeof(buffer));
clearBuffer(ciclospmin, sizeof(ciclospmin));
clearBuffer(valorBinario, sizeof(valorBinario));

t10.getText(buffer, sizeof(buffer));
ciclos = atoi(buffer);

t11.getText(ciclospmin, sizeof(ciclospmin));
cpm = atoi(ciclospmin);

t13.getText(valorBinario, sizeof(valorBinario));
bin = atoi(valorBinario);
}

int deltapassos1;
deltapassos = (d - (e));
int delay1 = bilinearInterpolate(deltapassos, cpm);

Serial.println(delay1);
Serial.println(deltapassos);
Serial.println(cpm);
Serial.println(ciclos);

unsigned long starttime;

dtostrf(ciclos, 6, 0, cn);
t5.setText(cn);

dtostrf(bin, 6, 0, bn);
t9.setText(bn);

bt0.getValue(&dual_state);

if (dual_state == 1 && fim == 0 ) {

newPosition = myEncoder.read();

threadSerialprint.enabled = true;

while (c <= ciclos && dual_state == 1 || fim == 1) {

    if (dual_state == 0 ){
    cpu.run();
    goto para;
    }

sprintf(valornciclos, "%d", c);
t6.setText(valornciclos);

```

```

while (newPosition > e || fim == 1) {

    starttime = micros();
    while ((micros() - starttime) < delay1 || fim == 1) {
        cpu.run();
        digitalWrite(DIR_PIN, LOW);
        digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
    }
    digitalWrite(STEP_PIN, LOW);

    newPosition = myEncoder.read();
}

bt0.getValue(&dual_state);
while (newPosition < d || fim == 1) {
    starttime = micros();

    while ((micros() - starttime) < delay1 || fim == 1) {
        cpu.run();
        digitalWrite(DIR_PIN, HIGH);
        digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
    }
    digitalWrite(STEP_PIN, LOW);

    newPosition = myEncoder.read();
}
c++;
}
}
if(c!=ciclos){
goto para;
}
if(c==ciclos){
fim=1;
threadSerialprint.enabled = false;
}

void SerialMonitor(){

}

void MostrarBin2(void *ptr){
    bin2 = (scale.read()-10290)/-92882;
    Serial.print ("Ciclos: "); Serial.print (c);
    Serial.print ("  NCiclos: "); Serial.print (ciclos);
    Serial.print ("  Binario: "); Serial.print(bin2);
    Serial.println("");
    dtostrf(bin2, 6, 2, binarioInst);
    t8.setText(binarioInst);
    //bin2 = (scale.read()-10290)/-92882;//y = -92882x + 10290
}

int bilinearInterpolate(int x, int y) {

```

```

int cpm[] = { 5, 10, 15 };
int steps[] = { 4096, 2048, 1024, 512 };
int delays[3][4] = {
    { 2900, 5850, 11950, 23900 }, // Delays for 5 CPM
    { 1450, 2900, 5800, 11600 }, // Delays for 10 CPM
    { 950, 1900, 3900, 7900 } // Delays for 15 CPM
};

// Find the indices of the bounding box
int x1_index = -1, x2_index = -1, y1_index = -1, y2_index = -1;
for (int i = 0; i < 3; i++) {
    if (y == cpm[i] || (y > cpm[i] && y < cpm[i + 1])) {
        y1_index = i;
        y2_index = i + 1;
        break;
    }
}

for (int i = 0; i < 4; i++) {
    if (x == steps[i] || (x < steps[i] && x > steps[i + 1])) {
        x1_index = i;
        x2_index = i + 1;
        break;
    }
}

// Check if x or y are out of the bounds of the data
if (x1_index == -1 || y1_index == -1 || x2_index > 4 || y2_index >
3) {
    return -1; // or handle error differently
}

// Directly return the delay if x and y are exactly on grid points
if (x == steps[x1_index] && y == cpm[y1_index]) {
    return delays[y1_index][x1_index];
}

// Interpolate
int x1 = steps[x1_index], x2 = steps[x2_index];
int y1 = cpm[y1_index], y2 = cpm[y2_index];
int Q11 = delays[y1_index][x1_index];
int Q12 = delays[y1_index][x2_index];
int Q21 = delays[y2_index][x1_index];
int Q22 = delays[y2_index][x2_index];

// Bilinear interpolation formula
float fxy1 = (float)(x2 - x) / (x2 - x1) * Q11 + (float)(x - x1) /
(x2 - x1) * Q12;
float fxy2 = (float)(x2 - x) / (x2 - x1) * Q21 + (float)(x - x1) /
(x2 - x1) * Q22;
float fxy = (float)(y2 - y) / (y2 - y1) * fxy1 + (float)(y - y1) /
(y2 - y1) * fxy2;
return (int)fxy;
}

```

15.2. Código inserido no ESP-01

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>

#define ON_Board_LED 2 // LED integrado na placa

const char* ssid = "CATIM - IOT"; // Nome da rede WiFi
const char* password = "Catim.107"; // Senha da rede WiFi

const char* host = "script.google.com";
const int httpsPort = 443;

WiFiClientSecure client;

String GAS_ID = "AKfyxcbw9ilvvtMt7zo-OcDZMBNudDwG-
MOYix7nC7Q4OPrBR2WvKLYvKHok35mffXRFNJ3g8E";

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(500);

  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.println("");

  pinMode(ON_Board_LED, OUTPUT);
  digitalWrite(ON_Board_LED, HIGH);

  Serial.print("Connecting");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    digitalWrite(ON_Board_LED, LOW);
    delay(250);
    digitalWrite(ON_Board_LED, HIGH);
    delay(250);
  }

  digitalWrite(ON_Board_LED, HIGH);
  Serial.println("");
  Serial.print("Successfully connected to : ");
  Serial.println(ssid);
  Serial.print("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Serial.println();

  client.setInsecure();
}

void loop() {
  if (Serial.available() > 0) {
    String receivedData = Serial.readStringUntil('\n');

    Serial.print("Received data: ");
```

```

Serial.println(receivedData);

if (receivedData.startsWith("Ciclos: ")) {
    Serial.println("Data starts with 'Ciclos: '");

    // Encontrar o índice após "Ciclos: "
    int ciclosIndex = receivedData.indexOf("Ciclos: ") + 8;
    int ciclosEndIndex = receivedData.indexOf(" ", ciclosIndex);
    int numeroCiclosIndex = receivedData.indexOf("NCiclos: ") + 9;
    int numeroCiclosEndIndex = receivedData.indexOf(" ", numero-
CiclosIndex);
    int binarioIndex = receivedData.indexOf("Binario: ") + 9;

    if (ciclosEndIndex == -1 || numeroCiclosEndIndex == -1 || bina-
rioIndex == -1) {
        Serial.println("Failed to find indices for 'Ciclos:', 'N°
Ciclos:', or 'Binario:');
        return;
    }

    String Svalor = receivedData.substring(ciclosIndex, ciclosEndIn-
dex);
    String Svalor1 = receivedData.substring(numeroCiclosIndex, nu-
meroCiclosEndIndex);
    String Svalor2 = receivedData.substring(binarioIndex);

    Serial.print("Extracted Svalor: ");
    Serial.println(Svalor);
    Serial.print("Extracted Svalor1: ");
    Serial.println(Svalor1);
    Serial.print("Extracted Svalor2: ");
    Serial.println(Svalor2);

    int ciclos = Svalor.toFloat();
    int numeroCiclos = Svalor1.toFloat();
    float binario = Svalor2.toFloat();

    Serial.print("Parsed ciclos: ");
    Serial.println(ciclos);
    Serial.print("Parsed numeroCiclos: ");
    Serial.println(numeroCiclos);
    Serial.print("Parsed binario: ");
    Serial.println(binario);

    if (!isnan(ciclos) && !isnan(numeroCiclos) && !isnan(binario)) {
        sendData(ciclos, numeroCiclos, binario);
    } else {
        Serial.println("Failed to parse data!");
    }
} else {
    Serial.println("Data does not start with 'Ciclos: '");
}
}

```

```

}

void sendData(int ciclos, int numeroCiclos, float binario) {
  Serial.println("=====");
  Serial.print("connecting to ");
  Serial.println(host);

  if (!client.connect(host, httpsPort)) {
    Serial.println("connection failed");
    return;
  }

  String string_ciclos = String(ciclos);
  String string_numeroCiclos = String(numeroCiclos);
  String string_binario = String(binario);
  String url = "/macros/s/" + GAS_ID + "/exec?ciclos=" + string_ciclos
+ "&numeroCiclos=" + string_numeroCiclos + "&binario=" + string_bina-
rio;
  Serial.print("requesting URL: ");
  Serial.println(url);

  client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
    "Host: " + host + "\r\n" +
    "User-Agent: BuildFailureDetectorESP8266\r\n" +
    "Connection: close\r\n\r\n");

  Serial.println("request sent");

  while (client.connected()) {
    String line = client.readStringUntil('\n');
    if (line == "\r") {
      Serial.println("headers received");
      break;
    }
  }
  String line = client.readStringUntil('\n');
  if (line.startsWith("{\"state\":\"success\"}") {
    Serial.println("esp8266/Arduino CI successful!");
  } else {
    Serial.println("esp8266/Arduino CI has failed");
  }
  Serial.print("reply was : ");
  Serial.println(line);
  Serial.println("closing connection");
  Serial.println("=====");
  Serial.println();
}

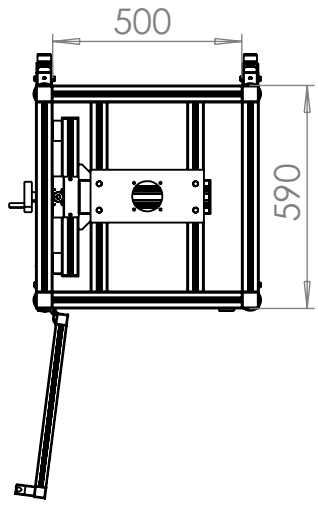
```

16. Anexo E – Desenhos Cotados

4 3 2 1

F

F

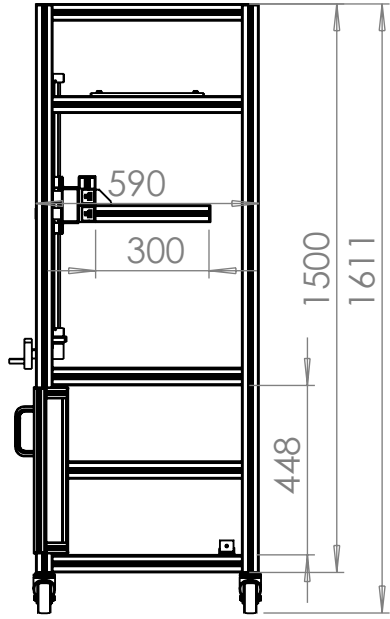


E

E

D

D

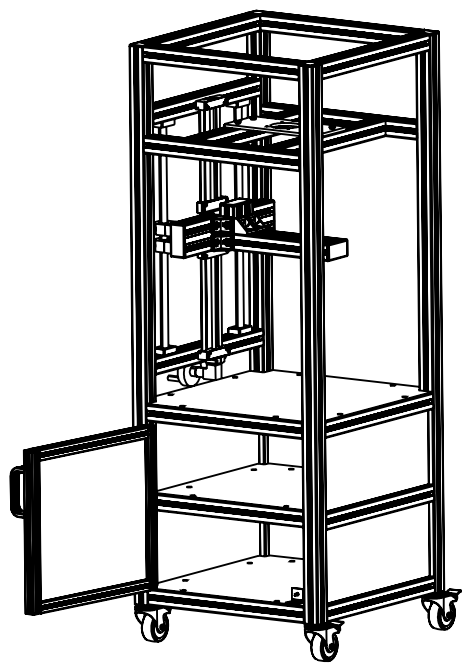


C

C

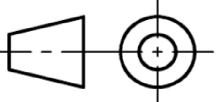
B

B



SALVO ESPECIFICADO DE OUTRO FORMA: AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILIMETRO

MÉTODO DE PROJEÇÃO: DIN ISO 5456-2



Nº DE PEÇAS: 1



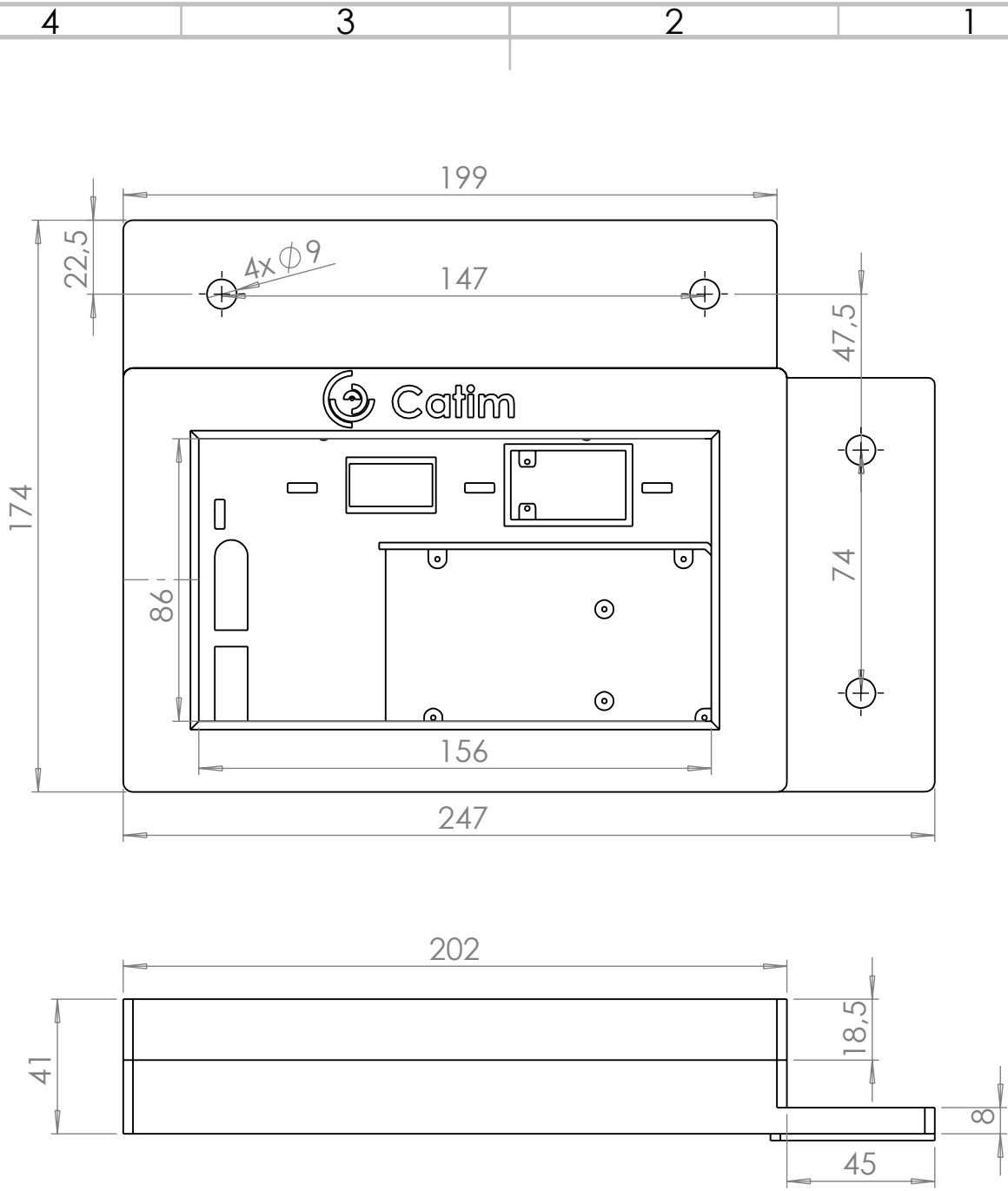
	NAME	SIGNATURE	DATE
Desenhado	Luis Moreira		20/09/2024
verificado			
aprovado			
MFG			
Q.A			

TITLE:	Estrutura
DWG NO.	
PESO:	
ESCALA:1:20	
FOLHA 1 OF 1	
A4	
LÍNGUA: PT	

A

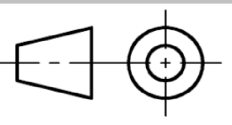
A

4 3 2 1



SALVO ESPECIFICADO DE OUTRO FORMA: AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILIMETRO

MÉTODO DE PROJEÇÃO: DIN ISO 5456-2



Nº DE PEÇAS: 1



NAME	SIGNATURE	DATE
Desenhado: Luís Moreira		20/09/2024
verificado		
aprovado		
MFG		
Q.A		

TITLE:	Caixa CATIM	
MATERIAL:	PLA	DWG NO.
PESO:		ESCALA:1:2
		FOLHA 1 OF 1

A

A

A4
LÍNGUA: PT

4 3 2 1

F

F

E

E

D

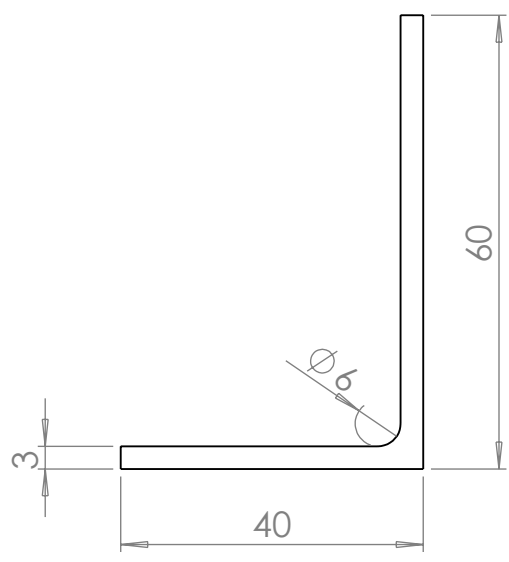
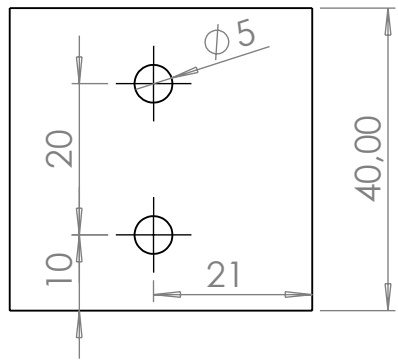
D

C

C

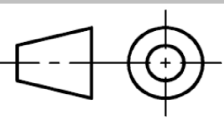
B

B



SALVO ESPECIFICADO DE OUTRO FORMA: AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILIMETRO

MÉTODO DE PROJEÇÃO: DIN ISO 5456-2



Nº DE PEÇAS: 2



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE		
Desenhado	Luis Moreira		20/09/2024		
verificado					
aprovado					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				EN AW-6082	
				PESO:	

TITLE:	L para suportar o transdutor de binário	
DWG NO.		A4
ESCALA: 1:1		LÍNGUA: PT
FOLHA 1 OF 1		

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

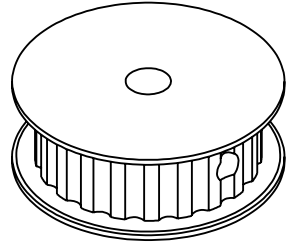
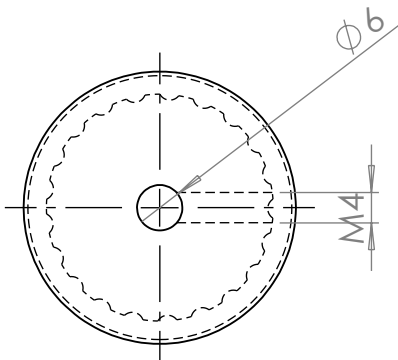
D

C

C

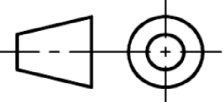
B

B



SALVO ESPECIFICADO DE OUTRO FORMA: AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILIMETRO

MÉTODO DE PROJEÇÃO: DIN ISO 5456-2



Nº DE PEÇAS: 1



	NAME	SIGNATURE	DATE
Desenhado	Luis Moreira		20/09/2024
verificado			
aprovado			
MFG			
Q.A			

TITLE:	Roda dentada para o encoder	
Referencia da peça:	22 5m 09	A4
		LÍNGUA: PT

MATERIAL: UNI 9006 - T6(A1)

PESO:

ESCALA:1:1

FOLHA 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

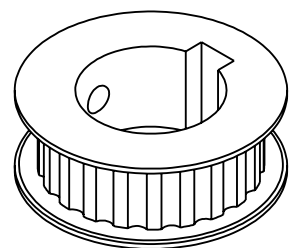
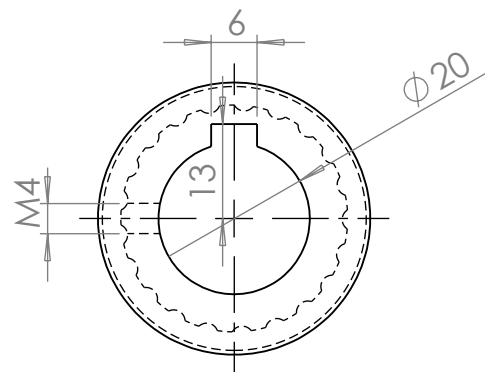
D

C

C

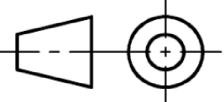
B

B



SALVO ESPECIFICADO DE OUTRO FORMA: AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILIMETRO

MÉTODO DE PROJEÇÃO: DIN ISO 5456-2



Nº DE PEÇAS: 1



NAME	SIGNATURE	DATE
Desenhado: Luís Moreira		20/09/2024
verificado		
aprovado		
MFG		
Q.A		

TITLE:	Roda dentada para o veio da caixa redutora	
Referencia da peça:	22 5m 09	A4
MATERIAL:	UNI 9006 - T6(A1)	LÍNGUA: PT
PESO:	ESCALA: 1:1	FOLHA 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

E

D

C

B

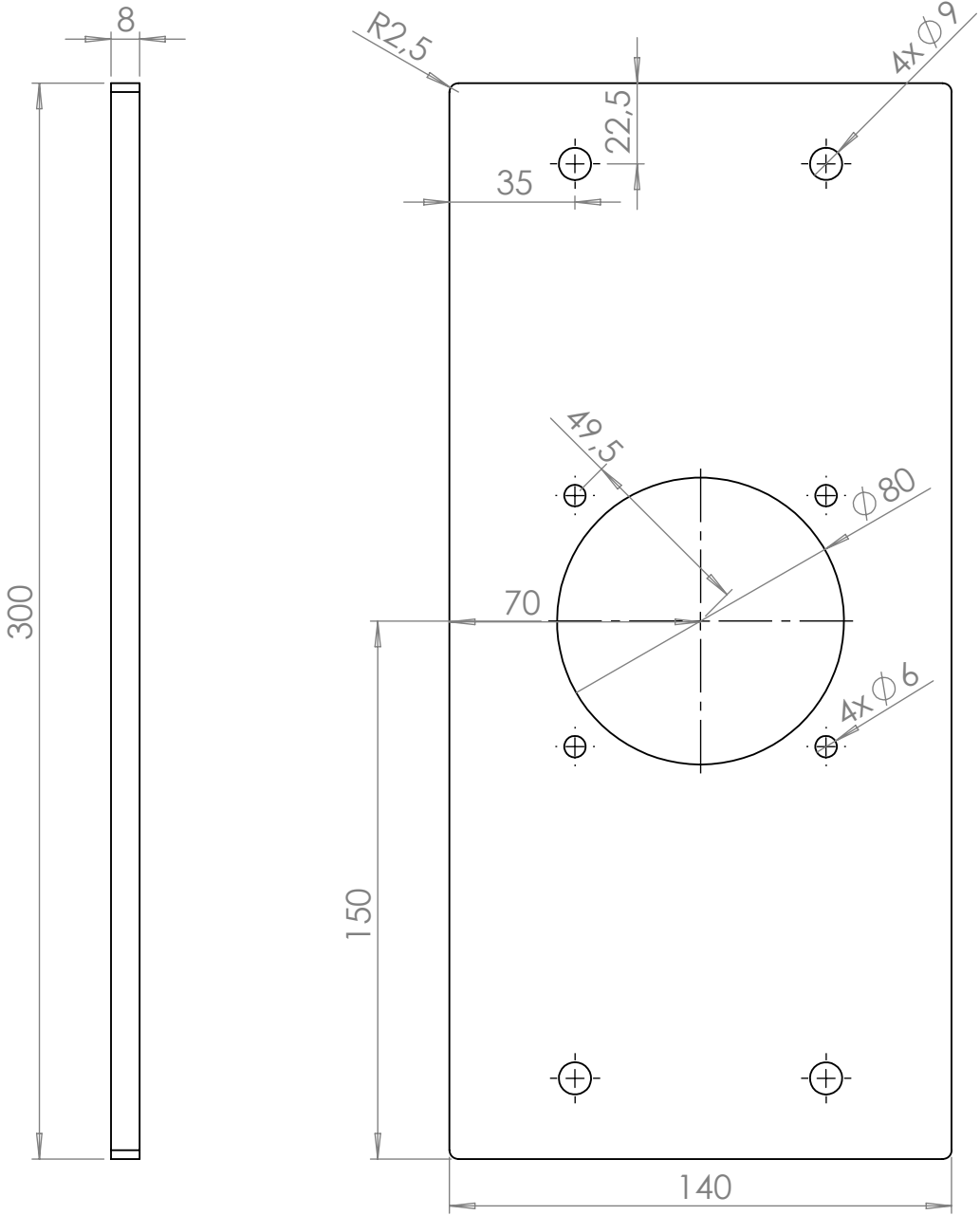
F

E

D

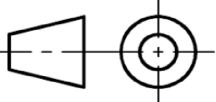
C

B



SALVO ESPECIFICADO DE OUTRO FORMA: AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILIMETRO

MÉTODO DE PROJEÇÃO: DIN ISO 5456-2



Nº DE PEÇAS: 1



NAME	SIGNATURE	DATE
Desenhado: Luís Moreira		20/09/2024
verificado:		
aprovado:		
MFG:		
Q.A:		
MATERIAL: EN AW-6082		
PESO:		

TITLE: Suporte motor/caixa redutora
DWG NO.:
A4
LÍNGUA: PT
ESCALA: 1:2
FOLHA 1 OF 1

4 3 2 1

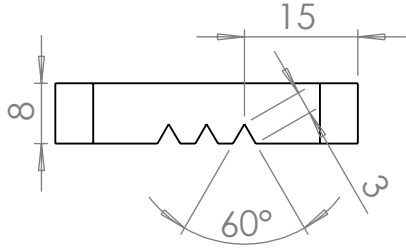
A

A

4 3 2 1

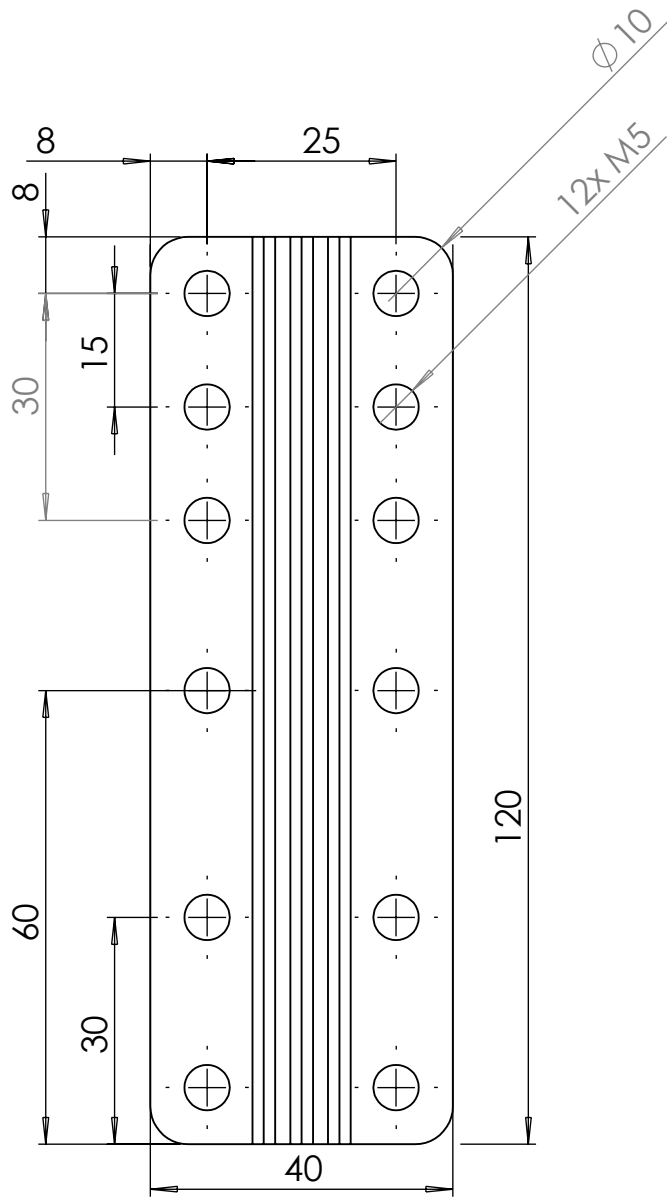
F

F



E

E



D

D

C

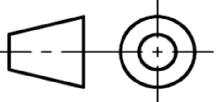
C

B

B

SALVO ESPECIFICADO DE OUTRO FORMA: AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILIMETRO

MÉTODO DE PROJEÇÃO: DIN ISO 5456-2



Nº DE PEÇAS: 2



NAME	SIGNATURE	DATE
Desenhado: Luís Moreira		20/09/2024
verificado		
aprovado		
MFG		
Q.A		

TITLE:	<h1>Acessório manipulo</h1>
DWG NO.	
MATERIAL:	EN AW-6082
PESO:	
ESCALA: 1:2	A4
FOLHA 1 OF 1	LÍNGUA: PT

A

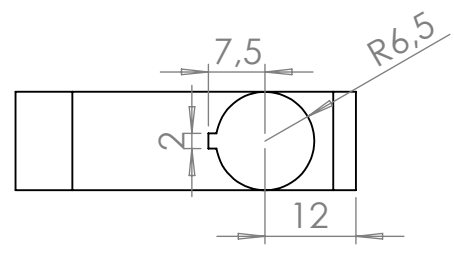
A

4 3 2 1

4 3 2 1

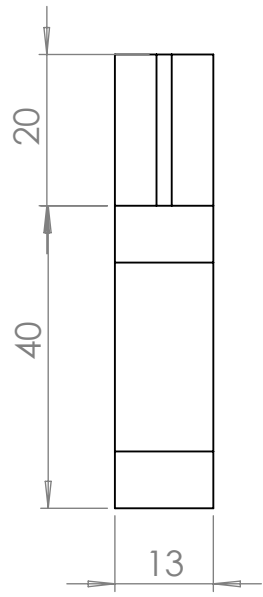
F

F



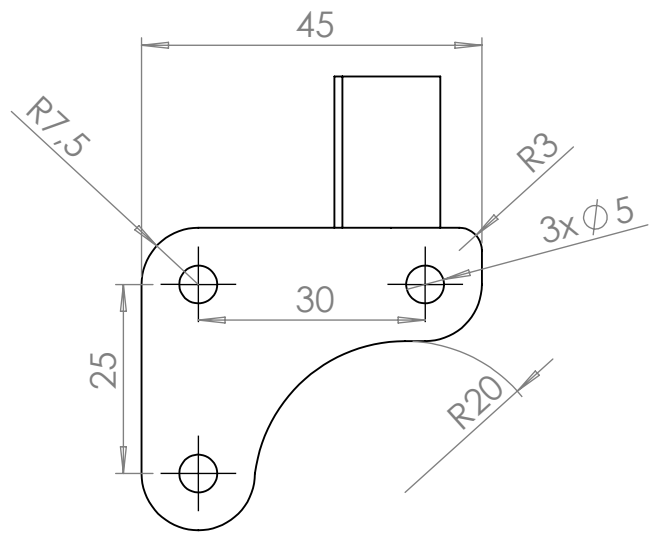
E

E



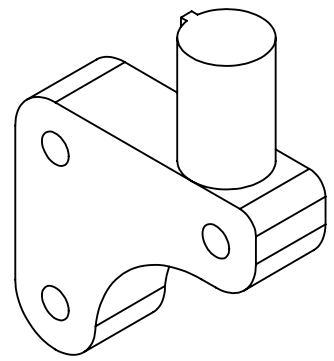
D

D



C

C

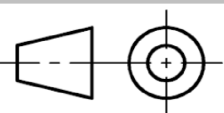


B

B

SALVO ESPECIFICADO DE OUTRO FORMA: AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILIMETRO

MÉTODO DE PROJEÇÃO: DIN ISO 5456-2



Nº DE PEÇAS: 2



NAME	SIGNATURE	DATE
Desenhado: Luis Moreira		20/09/2024
verificado		
aprovado		
MFG		
Q.A		

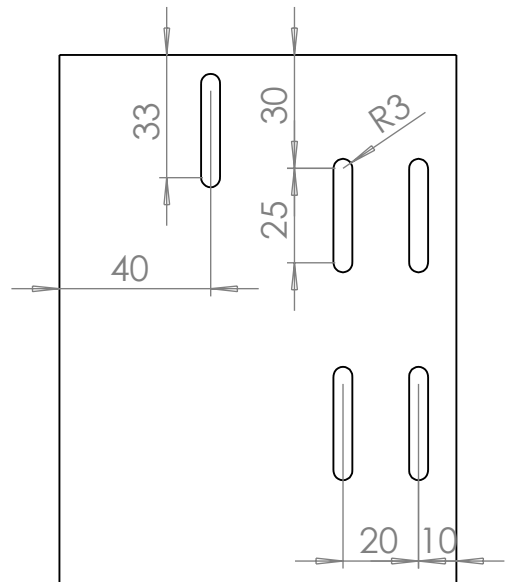
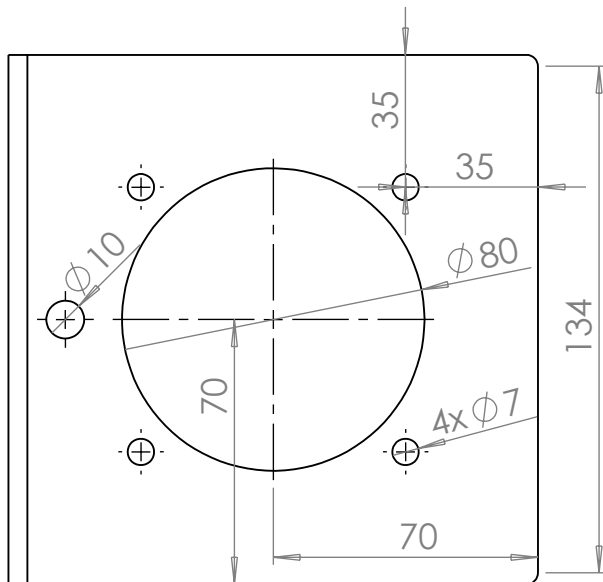
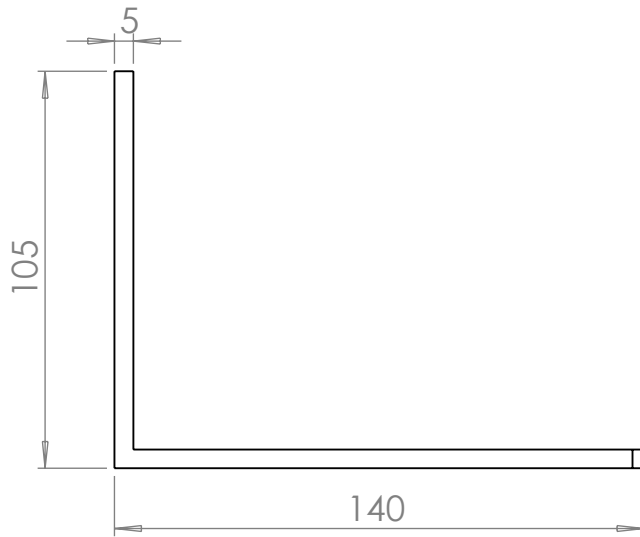
TITLE:	
MATERIAL:	EN AW-6082
DWG NO.	
PESO:	
ESCALA: 1:1	
FOLHA 1 OF 1	

A4
LÍNGUA: PT

A

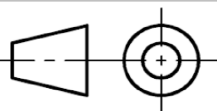
A

4 3 2 1



SALVO ESPECIFICADO DE OUTRO FORMA: AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILÍMETRO

MÉTODO DE PROJEÇÃO: DIN ISO 5456-2



Nº DE PEÇAS: 1



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

NAME	SIGNATURE	DATE
Desenhado: Luís Moreira		20/09/2024
verificado		
aprovado		
MFG		
Q.A		

TITLE:

L para suportar encoder e 2 suportes em L

MATERIAL:

EN AW-6082

DWG NO.

A4

LÍNGUA: PT

PESO:

ESCALA: 1:5

FOLHA 1 OF 1