

CAIO AUGUSTO DE MEDEIROS

**INSTRUMENTAÇÃO, AUTOMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO
DE INTERFACE PARA UM TRIBÔMETRO DE ENSAIOS EM
COMPONENTES DE MOTORES DE COMBUSTÃO.**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

CAIO AUGUSTO DE MEDEIROS

**INSTRUMENTAÇÃO, AUTOMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO
DE INTERFACE PARA UM TRIBÔMETRO DE ENSAIOS EM
COMPONENTES DE MOTORES DE COMBUSTÃO.**

Projeto de Fim de Curso apresentado
ao curso de Graduação em Engenharia
Mecatrônica da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos para
obtenção do título de **Engenheiro
Mecatrônico**.

Orientador: Prof. Werley Rocherter Borges Ferreira.

UBERLÂNDIA– MG

Setembro 2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M488 Medeiros, Caio Augusto de, 1995-
2025 Instrumentação, Automação e Desenvolvimento de Interface
para um Tribômetro de Ensaios em Componentes de Motores de
Combustão Interna [recurso eletrônico] : Tribômetro de Ensaios /
Caio Augusto de Medeiros. - 2025.

Orientador: Werley Rocherter Borges Ferreira.

Coorientador: .

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Mecatrônica.

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

1. Mecatrônica. I. Ferreira, Werley Rocherter Borges,1985-,
(Orient.). II. , ,0000-, (Coorient.). III. Universidade Federal de
Uberlândia. Graduação em Engenharia Mecatrônica. IV. Título.

CDU: 621.03

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

CAIO AUGUSTO DE MEDEIROS

**PROJETO DE UM APARATO PARA ANÁLISE E ENSAIOS EM
COMPONENTES DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.**

Projeto de Fim de Curso apresentado
ao curso de Graduação em Engenharia
Mecatrônica da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos para
obtenção do título de **Engenheiro
Mecatrônico**.

Área de concentração:
Instrumentação e Automação.

Prof. Werley Rocherter Borges Ferreira (orientador)

Universidade Federal de Uberlândia

Prof. José Jean-Paul Zanlucchi de Souza Tavares

Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Pedro Henrique Aquino Barra

Universidade Federal de Uberlândia

UBERLÂNDIA– MG

Setembro 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de algum modo, ajudaram na execução deste trabalho.

Aos meus pais e irmão pelo apoio e incentivo durante esses anos acadêmicos.

Aos gestores e professores da Universidade Federal de Uberlândia, pelas oportunidades oferecidas e conhecimento adquirido ao longo do curso.

Aos professores Werley Rocherter Borges Ferreira e Dra. Vera Lúcia D.S. Franco pelo apoio e instrução durante o projeto.

Aos engenheiros Miguel Angel Narvaez Ardila e Denis Soares de Freitas, aos técnicos Fernando Silva e Jefferson Caetano da Silva e demais profissionais do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD) pelo auxílio e conhecimento oferecidos na realização deste trabalho.

MEDEIROS, C. A. INSTRUMENTAÇÃO, AUTOMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE PARA UM TRIBÔMETRO DE ENSAIOS EM COMPONENTES DE MOTORES DE COMBUSTÃO. 2025. 80p. PFC – Curso de Engenharia Mecatrônica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

RESUMO

Ao longo das décadas, os tribômetros passaram por significativas evoluções tecnológicas, acompanhando os avanços em ciência dos materiais, automação e análise de dados. Inicialmente, os equipamentos eram mecânicos e de operação manual, com medições limitadas a ensaios básicos de atrito e desgaste. Este trabalho consiste em desenvolver um projeto de instrumentação e automação para um tribômetro destinado à realização de ensaios de deslizamento em amostras de componentes de motores de combustão interna. A partir desses equipamentos, tais como motor de passo, célula de carga piezo resistiva e um Arduino®, foi realizado o dimensionamento dos componentes como, cabos, fontes de alimentação e um conversor *step-down*. Além disso, foi desenvolvido um programa que é responsável pelo salvamento de dados e pela interface do usuário. Essa interface permite o acionamento do equipamento, a inserção de parâmetros, a automação dos ensaios e a visualização das medições através de indicadores e gráficos. A base para o desenvolvimento do programa de interface é o software LabView®, cuja licença já foi adquirida.

Palavras-chave: Tribômetro, Instrumentação, Automação, Ensaio de deslizamento, LabVIEW®, Aquisição de dados.

MEDEIROS, C. A. **INSTRUMENTAÇÃO, AUTOMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE PARA UM TRIBÔMETRO DE ENSAIOS EM COMPONENTES DE MOTORES DE COMBUSTÃO.** 2025. 80p. PFC – Curso de Engenharia Mecatrônica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

ABSTRACT

Over the decades, tribometers have undergone significant technological advancements, following progress in materials science, automation, and data analysis. Initially, these devices were mechanical and manually operated, with measurements limited to basic friction and wear tests. This work consists of developing an instrumentation and automation project for a tribometer designed to perform sliding tests on samples of internal combustion engine components. Using equipment such as a stepper motor, a piezoresistive load cell, and an Arduino®, the sizing of components such as cables, power supplies, and a step-down converter was carried out. In addition, a program was developed to handle data storage and provide a user interface. This interface allows the operation of the equipment, the input of parameters, the automation of tests, and the visualization of measurements through indicators and graphs. The foundation for developing the interface program is LabView® software, for which a license has already been acquired.

Keywords: Tribometer, Instrumentation, Automation, Sliding wear test, LabVIEW®, Data acquisition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Métodos pelos quais a indústria britânica poderia gerar economias financeiras significativas. Fonte: "Lubrication (Tribology): Education and Research" do Departamento de Educação e Ciência do Reino Unido, publicado em 1966. -----	14
Figura 2 - Exemplo de Tribômetro disponível no LTAD. (fonte: Autor) -----	16
Figura 3 - Exemplo de um documento de Projeto Elétrico. (fonte: Autor) ---	18
Figura 4 - Blocos de linguagem G utilizados no LabView.(fonte:Autor) -----	19
Figura 5 – Programa de CAD, software AutoDesk Electrical (fonte: https://www.autodesk.com/br) -----	21
Figura 6 - Conexão do tipo RS485, tipo <i>half-duplex</i> . (fonte: https://wiki.electools.com.br)-----	22
Figura 7 - Princípio mestre/escravo do protocolo MODBUS. (fonte: https://www.virtual-serial-port.org)-----	23
Figura 8 - Vista superior e inferior de uma célula de carga (fonte: https://www.flintec.com/br).-----	24
Figura 9 - Efeitos da compressão e tração no <i>strain gauge</i> . (fonte: https://blog.endaq.com/)-----	25
Figura 10 - Circuito Wheatstone. (fonte: https://www.allaboutcircuits.com/)	26
Figura 11 - Configuração <i>Full Bridge</i> do circuito <i>strain gauge</i> . (fonte: https://www.sensorland.com) -----	27
Figura 12 - Diagrama do conversor <i>buck</i> (fonte: Rashid (2014)) -----	28
Figura 13 - Representação interna e externa de um motor de passo (fonte: https://curtocircuito.com.br/)-----	29
Figura 14 - Motor de Passo Nema 42 KTC-110HS165 (fonte: https://www.kalatec.com.br).-----	32
Figura 15 - Fonte Chaveada 48V PSK-LRS-350-48 (fonte: https://www.kalatec.com.br)-----	34
Figura 16 – Drive STR6-RS485 (fonte: https://www.kalatec.com.br). -----	35
Figura 17 - Driver 7080.-----	36
Figura 18 - Arduino Uno. (fonte: https://www.arduino.cc).-----	37
Figura 19 - Célula de carga modelo U2B (fonte: https://www.hbm.com).----	37

Figura 20 - Disjunto bipolar WEG (fonte: https://www.weg.net). -----	38
Figura 21 - Condicionador de sinais Clipe BM40 (fonte: https://www.hbm.com)-----	39
Figura 22 - Relé de Interface (fonte: https://www.eletricaecotech.com.br). -	40
Figura 23 - Disjuntores bipolares de 6 A e 10 A (fonte: Autor). -----	41
Figura 24 - Curva de disparo dos disjuntores escolhidos (fonte: https://www.weg.net). -----	42
Figura 25 - Tabela 33, referente ao tipo de instalação dos cabos (fonte: NBR-5410, Tabela 33 (2004))-----	43
Figura 26 - Tabela 37, referente a capacidade de condução de corrente, em amperes, para bitola de cabos (fonte: NBR-5410, Tabela 37 (2004))-----	43
Figura 27 - Fonte de alimentação chaveada do tipo colmeia (fonte: https://www.embralumi.com.br). -----	44
Figura 28 - Relé de interface com 2 contatos reversíveis da Finder (fonte: https://www.findernet.com) -----	45
Figura 29 – Diagrama de alimentação e acionamento do painel elétrico----	47
Figura 30 - Circuito de contato de selo para acionamento do motor.-----	48
Figura 31 – Diagrama de conexões do Arduino.-----	49
Figura 32 – Diagrama de conexões do <i>driver</i> do motor. -----	51
Figura 33 - Quadro de comando ou painel elétrico. -----	52
Figura 34 - Vista interna do quadro de comando.-----	53
Figura 35 - Vista das entradas usb e ethernet na lateral do quadro de comando.-----	53
Figura 36 - Estrutura do tribômetro.-----	54
Figura 37 - Diagrama de Blocos na Lógica de Programação.-----	55
Figura 38 - Interface de Controle do Labview.-----	56
Figura 39 - Área da interface de controle para inserção de dados, controle do local para salvar os dados e status de comunicação com Arduino.-----	57
Figura 40 - Comportamento característico da força de atrito ao longo do tempo de ensaio do sistema bloco/anel em ambiente aerado. -----	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações do Motor de Passo Nema 42 KTC-110HS165	32
Tabela 2 - Informações da Fonte Chaveada 48V PSK-LRS-350-48.....	33
Tabela 3 - Informações da Fonte Chaveada 24VDC – 1,5A.....	34

LISTA DE ABREVIASÕES

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM *American Society for Testing and Materials*
CAD *Computer-Aided Design*
CAM *Computer-Aided Manufacturing*
CI Circuito Integrado
CPU *Central Processing Unit*
DC *Direct Current*
EPI Equipamento de Proteção Individual
Hz Hertz
N Newton
NA Normalmente Aberto
NF Normalmente Fechado
NBR Norma Brasileira
NR Norma Regulamentadora
PPR Partes por Revolução
TCP *Transmission Control Protocol*
TTL Lógica Transistor-Transistor
TX Transmissão
RX Recepção
UART *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*
USB *Universal Serial Bus*

Sumário

Sumário

CAPÍTULO I	13
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos	15
CAPÍTULO II	16
2 Revisão Bibliográfica.....	16
2.1 Tribômetro	16
2.2 Projeto Elétrico	17
2.3 LabView.....	19
2.4 <i>Computer Aided Design – CAD</i>	20
2.5 Comunicação Serial e MODBUS RS485	21
2.6 Transdutor de força	23
2.7 Conversores DC-DC.....	27
2.8 Motor de Passo.....	29
2.9 Arduino	30
CAPÍTULO III	31
3 Metodologia	31
3.1 Componentes e Dispositivos do Projeto Elétricos	31
3.1.1 Motor de Passo	31
3.1.2 Fonte de Alimentação.....	33
3.1.3 Driver Motor.....	35
3.1.4 Arduino	36
3.1.6 Célula de Carga U2B	37
3.1.7 Disjuntor	38
3.1.8 Clipe Bm40 -Condicionador de sinais	39
3.1.9 Relés	40

3.2 Dimensionamento.....	41
CAPÍTULO IV.....	46
4 Resultados.....	46
4.1 Energização do Painel.....	46
4.2 Contato de selo.....	47
4.3 Conexões Arduino	49
4.4 Conexões <i>Driver</i> do Motor.....	50
4.5 Quadro de Comando	51
4.6 Fluxograma.....	54
4.7 Interface.....	56
4.8 Dados	58
CAPÍTULO V	62
5 CONCLUSÃO.....	62
1 REFERÊNCIAS	64
1 APÊNDICE	68

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

As máquinas térmicas se tornaram imprescindíveis no desenvolvimento da humanidade, seja no âmbito industrial ou no dia a dia das pessoas. Os mesmos são dispositivos que permitem transformar calor em trabalho podendo ser obtido de diferentes fontes: combustão, energia elétrica, energia atômica etc. Porém, além da aparente facilidade de transformar a energia química do combustível em força mecânica, existe um desafio crucial e tão antigo quanto a própria engenharia: os desafios contra o atrito e o desgaste. Esse desafio é o campo da tribologia, uma área de estudo que acompanha o avanço dos motores que busca aprimorar.

O Tribômetro, então, vem ser a ferramenta necessária para o desenvolvimento desses estudos, seu propósito é prover simulações de atrito e desgaste sob condições controladas. Portanto, os tribômetros são a tecnologia básica utilizada na maioria das investigações tribológicas.

Uma pesquisa realizada no Reino Unido (HUTCHINGS, 1992) calculou as economias que a indústria poderia realizar se os conceitos tribológicos bem estabelecidos fossem aplicados e largamente utilizados. Pesquisas semelhantes foram realizadas posteriormente em diversos países chegando a mesma conclusão: pelo menos 1% do produto nacional bruto poderia ser pouparado com mais investimentos em pesquisas.

Essas economias vêm de diversas fontes. A pesquisa original de 1966 identificou poupanças significativas, principalmente na redução de custos de manutenção e substituição, na diminuição de perdas devido a avarias e no aumento da vida útil de máquinas.

Na Figura 1 é possível ver quantos porcento cada método pelos quais a indústria britânica poderia gerar economias financeiras significativas ao adotar melhores práticas em tribologia. As porcentagens mencionadas representam a proporção de cada método no total da economia anual.

Redução do consumo de energia por menor atrito	5%
Redução de mão de obra	2%
Economia nos custos com lubrificantes	2%
Economia nos custos de manutenção e reposição	45%
Economia nas perdas resultantes de falhas	22%
Economia em investimentos por meio de maior disponibilidade e maior eficiência	4%
Economia em investimentos pelo aumento da vida útil da planta	20%

Figura 1 - Métodos pelos quais a indústria britânica poderia gerar economias financeiras significativas. Fonte: "Lubrication (Tribology): Education and Research" do Departamento de Educação e Ciência do Reino Unido, publicado em 1966.

O presente trabalho tem como objetivo dimensionar o projeto elétrico e a construção de uma interface computacional para um tribômetro para a medição das forças e desgastes das amostras, a ser alocado no Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD) na Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo o projeto de automação de um tribômetro de ensaio que permita a análise de componentes de motores de combustão. Em específico, dimensionar o projeto elétrico e a construção de uma interface computacional para um tribômetro para a medição das forças e desgastes das amostras. “A tribologia é a de aplicar análises operacionais em problemas de grande importância econômica” (MARJANOVIC, TADIC, IVKOVIC E MITROVIC, 2006).

CAPÍTULO II

2

Revisão Bibliográfica

2.1 Tribômetro

Os tribômetros, são equipamentos fundamentais para a área da tribologia, que é o estudo da interação entre superfícies em movimento relativo, abrangendo o atrito, o desgaste e a lubrificação. Essas máquinas permitem a simulação controlada de diferentes condições de contato e movimento, fornecendo dados cruciais para a pesquisa e o desenvolvimento de materiais, lubrificantes e sistemas mecânicos mais eficientes e duráveis.



Figura 2 - Exemplo de Tribômetro disponível no LTAD. (fonte: Autor)

Os tribômetros de atrito, como mostrado na Figura 2, são instrumentos cruciais na área da tribologia que se dedicam especificamente à quantificação da força de atrito e do coeficiente de atrito entre duas superfícies em contato e movimento relativo. Eles desempenham um papel vital no *design* de componentes mecânicos, na seleção de materiais e no desenvolvimento de lubrificantes, garantindo que os sistemas funcionem com a eficiência e durabilidade desejadas.

A precisão dessas medições é vital. A norma ASTM G99, por exemplo, especifica que o tribômetro deve conter um sensor para a medição contínua da força de atrito ao longo do ensaio (UFRN, s.d.).

2.2 Projeto Elétrico

O projeto elétrico, seja para uso residencial, comercial ou industrial, é um documento técnico que detalha todo o sistema elétrico incluindo a localização de tomadas, circuitos, trajetos de fios e outros componentes importantes para a construção e montagem do equipamento. Este documento deve detalhar as especificações de todos os componentes a serem utilizados, assim como o esquema completo das conexões elétricas para acionamento e controle do sistema. O objetivo é que o profissional responsável pela montagem do projeto elétrico tenha um entendimento claro e preciso de como proceder na montagem e manuseio do sistema.

O projeto elétrico deve atender os requisitos aplicáveis das normas e os equipamentos e serviços de instalação a serem fornecidos deverão estar de acordo com as normas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Dentre elas, algumas são de grande importância para o trabalho proposto, como: NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) (1978) e a norma NBR-5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão) (2004), da ABNT. A Figura 3 ilustra um exemplo de um documento de projeto de alimentação de um tribômetro.

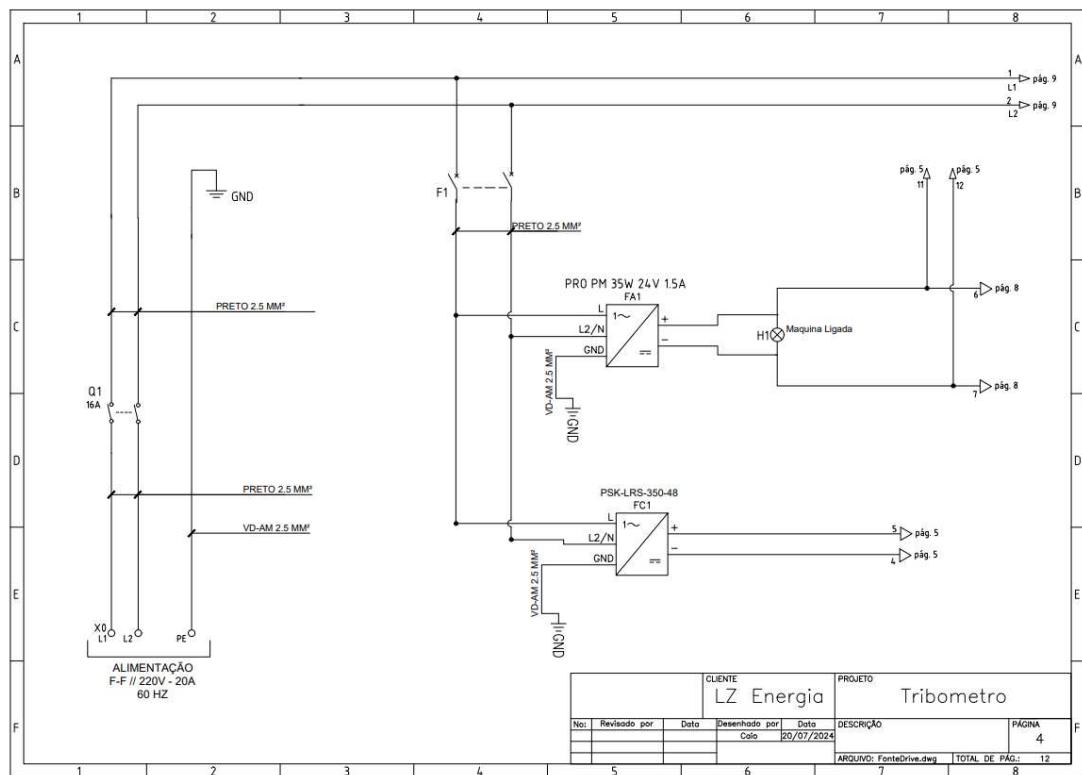


Figura 3 - Exemplo de um documento de Projeto Elétrico. (fonte: Autor)

A Norma Regulamentadora 10 (NR-10), criada originalmente em 1978, é um conjunto de requisitos e condições mínimas essenciais para a segurança e saúde de todos os trabalhadores que interagem, direta ou indiretamente, com instalações e serviços envolvendo eletricidade. Esta NR abrange todas as fases da energia elétrica: geração, transmissão, distribuição e consumo. Sua aplicação se estende às etapas de projeto, construção, montagem, operação e manutenção de instalações elétricas, bem como a quaisquer trabalhos realizados nas proximidades dessas instalações. Em suma, a NR-10 visa prevenir acidentes elétricos, protegendo a vida e a integridade física dos trabalhadores no setor.

Já a norma NBR-5410 estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão (tensão nominal igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400 Hz, conforme sessão 1.1.2 da referida norma) a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a

conservação dos bens. A NBR 5410 aborda diversos aspectos de uma instalação elétrica, incluindo: Esquemas de Aterramento, Dispositivos de Proteção, Dimensionamento de Condutores e Eletrodutos, Documentação da Instalação etc.

2.3 LabView

LabVIEW é um ambiente de programação gráfica criado pela *National Instruments*, utilizada principalmente para sistemas de teste, medição e controle que oferece aceleradores de produtividade únicos para o desenvolvimento de sistemas de teste, como uma abordagem intuitiva à programação, conectividade com qualquer instrumento interfaces de usuário totalmente integradas. O LabView utiliza da linguagem G para sua programação, onde blocos e conexões gráficas representam funções e fluxos de dados, como pode ser visto na Figura 4, tornando o processo mais intuitivo e visual.

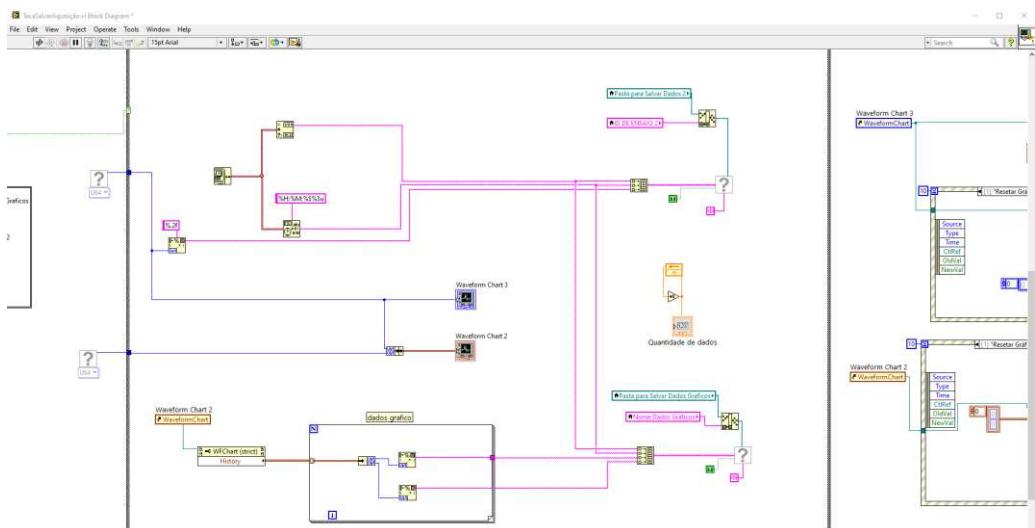


Figura 4 - Blocos de linguagem G utilizados no LabView.(fonte: Autor)

2.4 Computer Aided Design – CAD

Computer Aided Design (CAD) ou Programa Assistido por Computador é um sistema utilizado para a construção de projetos mecânicos, elétricos, eletrônicos, de engenharia civil, aeronáutica e naval entre outros.

A aplicação do CAD em projetos elétricos é de grande importância, transformando radicalmente a maneira como os engenheiros e projetistas desenvolvem, analisam e gerenciam sistemas elétricos, trazendo precisão e confiabilidade, pois torna-se possível criar diagramas e *layouts* elétricos com altíssima exatidão, minimizando erros que seriam comuns no desenho manual. Isso é vital para a segurança e o bom funcionamento das instalações elétricas. (Jensen & Helsel, 2013; Smith, 2019).

Eficiência com a utilização de blocos e componentes padronizados podendo ser reutilizados, tarefas repetitivas (como numerar fios e gerar listas de materiais) são automatizadas, e as revisões são feitas rapidamente. Tudo isso economiza tempo e aumenta a produtividade. (Wang & Li, 2018; Chen, 2020).

De fácil Colaboração, visto que projetos CAD são fáceis de compartilhar e editar por várias pessoas, facilitando o trabalho entre equipes, arquitetos e clientes. A integração digital de diferentes disciplinas evita conflitos e garante a compatibilidade dos sistemas. E por último, torna a documentação e manutenção simplificadas devido a facilidade na geração de documentos técnicos completos, como listas de materiais, diagramas de fiação e *layouts* de painéis. Essa documentação é fundamental não só para a instalação, mas também para a manutenção futura e expansões do sistema elétrico.

Dentre os diversos softwares disponíveis no mercado vale destacar o AutoCAD Electrical, da empresa AutoDesk, utilizado para a concepção do projeto elétrico apresentado neste trabalho. A Figura 5 apresenta um pouco da interface do AutoCAD Electrical.

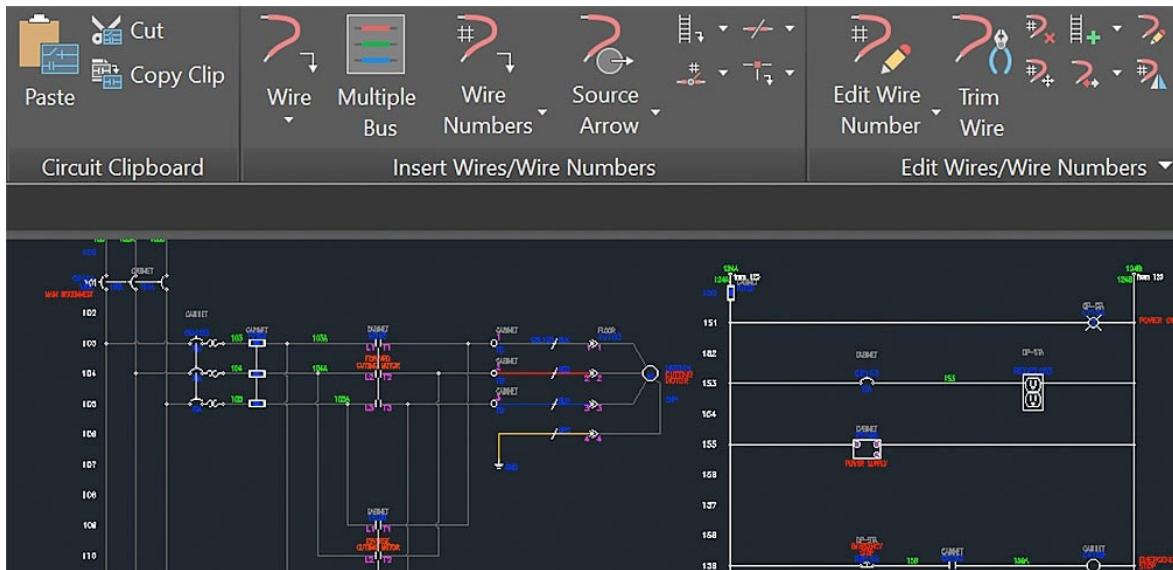


Figura 5 – Programa de CAD, software AutoDesks Electrical (fonte: <https://www.autodesk.com/br>)

2.5 Comunicação Serial e MODBUS RS485

A comunicação serial transmite dados de forma sequencial, emitindo um bit por vez através de um único canal. Em contraste com o método paralelo, que envia vários bits simultaneamente por múltiplos condutores, a abordagem serial reduz a quantidade de fios ou pinos necessários, sendo mais prática para transmissões longas ou quando há limitação de pinos.

No Arduino, embora a conexão com o PC seja comumente feita via USB, o chip conversor USB-Serial (como o ATmega16U2 no Arduino Uno) faz a conversão entre os sinais UART do microcontrolador (ATmega328P) e o protocolo USB e vice-versa garantindo que o usuário não precise se preocupar com detalhes dessa tradução.

A biblioteca *Serial* do Arduino facilita bastante essa comunicação ao oferecer funções claras para:

- Iniciar interface: *Serial.begin(baud_rate)*
- Enviar dados: *Serial.print()*, *Serial.println()*, *Serial.write()*
- Receber dados: *Serial.available()*, *Serial.read()*

A comunicação MODBUS RS485 é uma solução de comunicação industrial que combina a robustez física da interface RS485 com a simplicidade e eficácia do protocolo MODBUS.

O RS485 (*Recommended Standard 485*) é um padrão para a camada física da comunicação serial, conhecido por sua capacidade de lidar com ambientes ruidosos e longas distâncias, tornando-se ideal ambiente de fábrica com motores e máquinas, e permite que os dados viajem por até 1.200 metros.

A transferência de dados ocorre por meio de um sinal de tensão serial diferencial entre as linhas [A] e [B]. Como os dados são transferidos nas linhas entre o emissor e o receptor, também se refere aqui a *half-duplex*, como pode ser visto na Figura 6, ou operação alternada. Cada receptor ou emissor tem uma conexão invertida e uma não invertida. A transferência de dados ocorre simetricamente. Isso significa que se uma linha tem um sinal “alto”, a outra tem um sinal “baixo”. A linha A é, portanto, complementar à B e vice-versa. A vantagem de medir a diferença de tensão entre A e B é que a interferência de modo comum não tem grande influência.

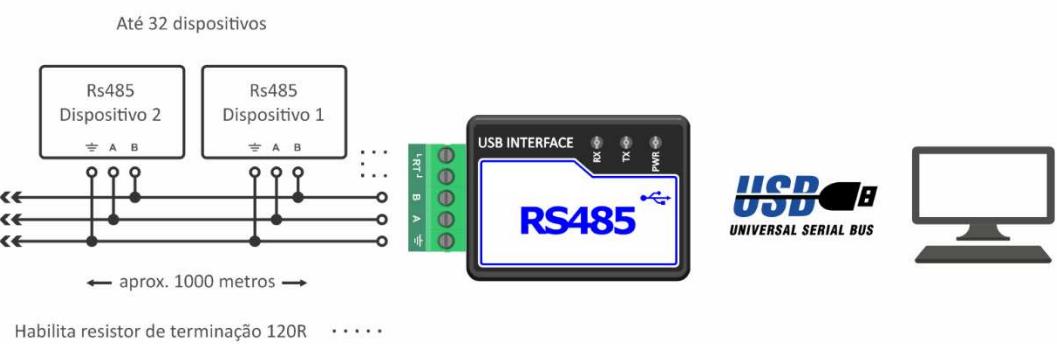


Figura 6 - Conexão do tipo RS485, tipo *half-duplex*. (fonte: <https://wiki.electools.com.br>)

O MODBUS é um protocolo de comunicação serial desenvolvido pela Modicon (agora parte da Schneider Electric) em 1979. É um dos protocolos mais antigos e amplamente adotados na automação industrial devido à sua simplicidade, natureza aberta e facilidade de implementação (Machine

Metrics, s.d.; Omnitron Systems, s.d.). O MODBUS opera em uma arquitetura do tipo mestre/escravo (ou cliente/servidor):

- Mestre: É o dispositivo que inicia todas as comunicações, enviando requisições para um ou mais escravos. Tipicamente, pode ser um CLP (Controlador Lógico Programável), um sistema SCADA, um computador ou até mesmo um microcontrolador (*Machine Metrics, s.d.; Schneider Electric, s.d.*).
- Escravo: São os dispositivos que respondem às requisições do mestre, fornecendo os dados solicitados ou executando as ações comandadas. Cada escravo possui um endereço único na rede (de 1 a 247) (*MG CO., LTD., s.d.; Schneider Electric, s.d.*).

A Figura 7 é uma representação dessa troca de dados entre mestre e escravo.

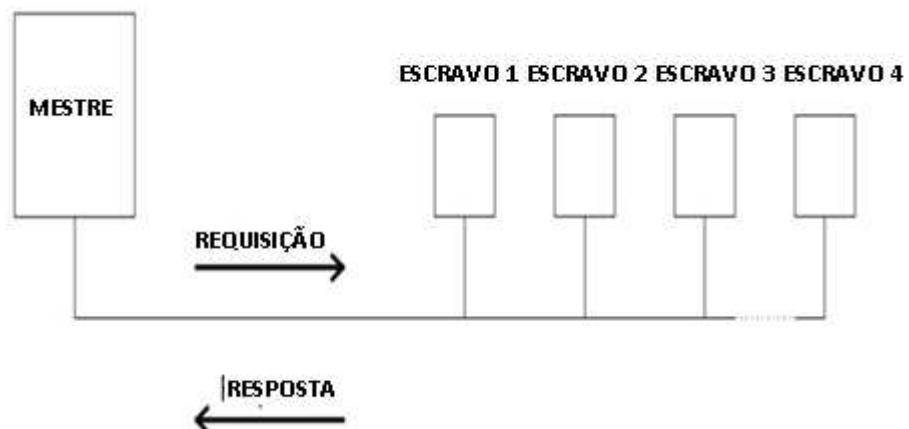


Figura 7 - Princípio mestre/escravo do protocolo MODBUS. (fonte: <https://www.virtual-serial-port.org>)

2.6 Transdutor de força

Transdutores de força são dispositivos que convertem uma força mecânica em um sinal elétrico mensurável. Eles são fundamentais em diversas aplicações de engenharia e ciência para medição de peso, tensão, compressão, torque e pressão. O princípio de funcionamento de muitos

transdutores de força baseia-se na deformação de um corpo elástico quando submetido a uma força, e essa deformação é então detectada por sensores.

Dentre os vários tipos de transdutores de forças disponível, há um tipo específico projetado, principalmente, para medir peso ou carga estática, a célula de carga.

As Células de carga (Figura 8) são os tipos mais comuns de transdutores de força, projetados especificamente para medir peso e força. A maioria das células de carga operam com base no princípio do *Strain Gauge*, no qual são aplicados em pontos específicos desse corpo para registrar as deformações causadas pela força aplicada. Geralmente são feitos de aço ou alumínio de alta resistência, no qual se deforma previsivelmente sob carga.

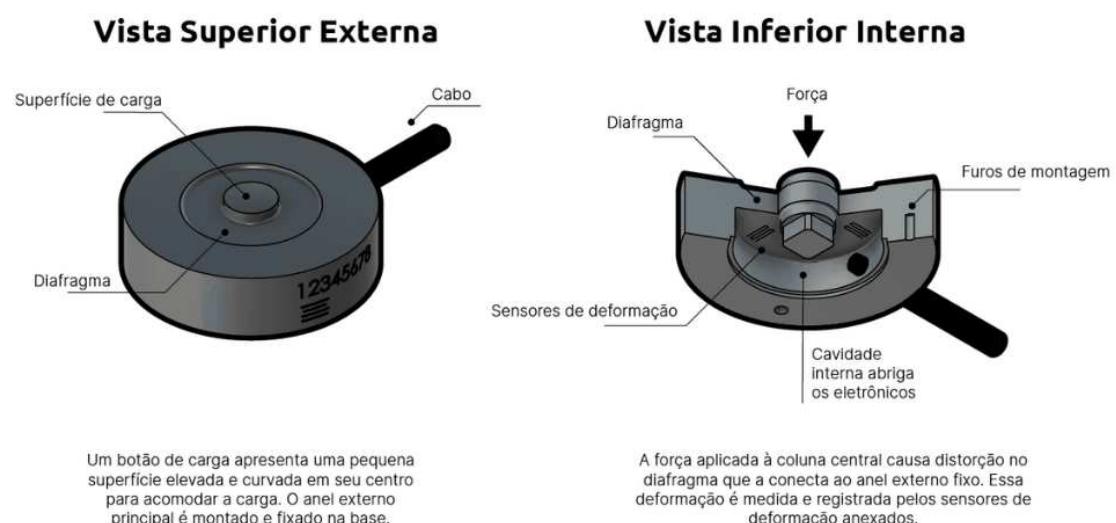


Figura 8 - Vista superior e inferior de uma célula de carga (fonte: <https://www.flintec.com.br>).

O *Strain Gauge* (ou *Strain Gage*) é um dispositivo metálico, no qual seu princípio consiste na alteração de sua resistência elétrica quando ele é mecanicamente deformado. Quando um condutor elétrico é submetido a tensão ou compressão, sua resistência muda devido a uma alteração no comprimento e na área da seção transversal do fio ou folha do gauge. Combinado com efeito piezo-resistivo (mudança na resistividade elétrica de um material quando sujeito a tensão mecânica) contribui para a mudança

total da resistência do material. A Figura 9 apresenta essa variação da resistência de acordo com o tipo de força aplicada.

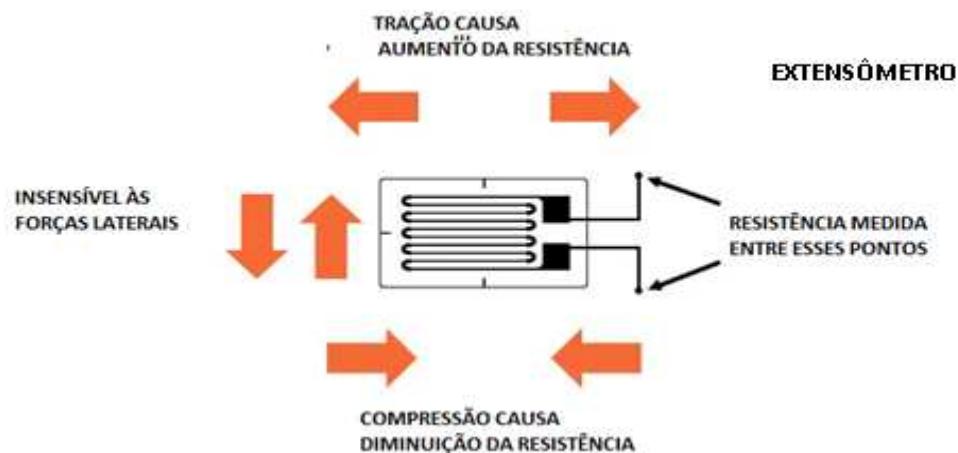


Figura 9 - Efeitos da compressão e tração no *strain gauge*. (fonte: <https://blog.endaq.com/>)

A fórmula para descrever esse fenômeno, Equação 1, consiste na divisão da resistência original do material (R) pela variação da resistência (ΔR), seguido pela divisão do resultado gerado pela deformação (ϵ), obtendo assim o fator de *Gauge* (K).

$$K = \frac{R}{\frac{\Delta R}{\epsilon}} \quad (1)$$

Para a conversão dessa pequena variação de resistência em um sinal elétrico mensurável, utiliza-se de circuitos chamados pontes de *Wheatstone* (Figura 10) no qual é um circuito de quatro resistores organizados em forma de losango. Ele permite medir variações muito pequenas de resistência com alta precisão.

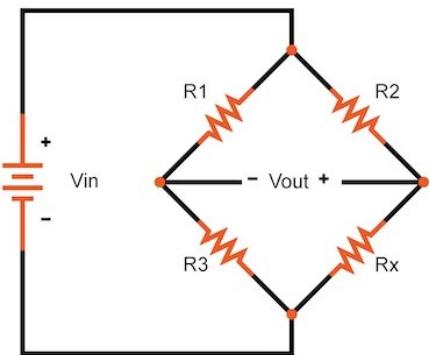


Figura 10 - Circuito Wheatstone. (fonte: <https://www.allaboutcircuits.com/>)

A configuração e nome variam de acordo com o número de *Strain Gauge* e resistores na ponte, sendo: *Quarter Bridge*, só R1 é um *strain gauge*, os outros são resistores fixos. *Half Bridge*, R1 e R2 são *strain gauges*. *Full Bridge*, R1, R2, R3, R4 são todos *strain gauges*.

Para conseguirmos um sinal elétrico mensurável que represente a força aplicada nos extensômetros, utilizamos a tensão de saída da ponte de *wheatstone*, e para obtermos esse valor utilizamos a Equação 2 de forma geral, relacionando tensão de saída (V saída) , tensão de excitação (V excitação) e resistores.

$$V_{\text{saída}} = \left(\frac{R_3}{R_3+R_4} - \frac{R_2}{R_1+R_2} \right) \times V_{\text{excitação}} \quad (2)$$

A Figura 11 apresenta uma configuração do tipo *full bridge*, no qual o sentido da seta representa o tipo de força medido em cada *strain gauge*, sendo apontado para as laterais tração e para o centro compressão. Correlacionando a Equação 1 do fator de gauge com a Equação 2, conseguimos chegar na Equação 3 para a ponte de *wheatstone* com extensômetros no lugar dos resistores.

$$V_{\text{saída}} = (K \cdot \varepsilon) \times V_{\text{excitação}} \quad (3)$$

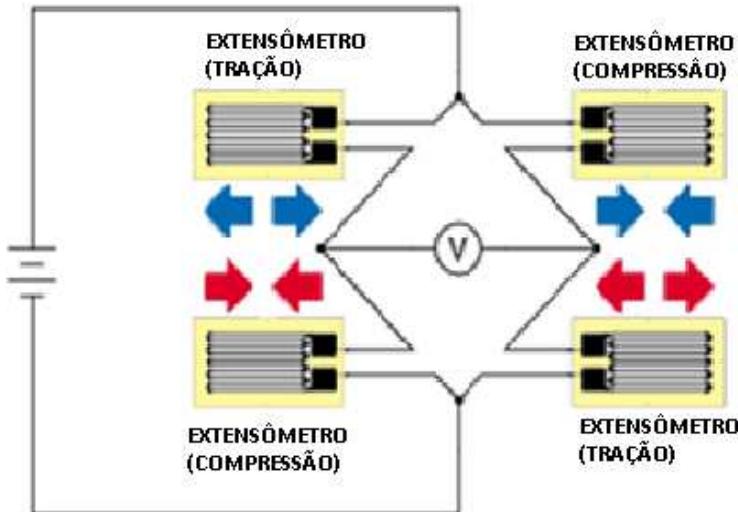


Figura 11 - Configuração *Full Bridge* do circuito *strain gauge*. (fonte: <https://www.sensorland.com>)

2.7 Conversores DC-DC

Conversores DC-DC são extremamente importantes no ramo de eletrônica de potência atual, com capacidade para transformação e regulação de energia em circuitos eletrônicos, convertem a tensão de uma fonte de energia em corrente contínua para outro nível de tensão. Esses dispositivos possuem a capacidade de ajustar os níveis de tensão, regulam a saída para nível maior, menor ou inversa à tensão de entrada, para atender aos requisitos de diferentes dispositivos, garantindo eficiência e estabilidade.

Os conversores DC atuam de duas formas: linear e chaveada (comutação). O conversor DC linear é capaz de fornecer uma tensão de saída estável, diante das variações na tensão de entrada ou na corrente de carga, funciona controlando um regulador que dissipava o excesso de energia como calor. Tem como destaque a simplicidade em seu circuito e funcionamento concomitante, sendo aplicado onde a eficiência energética não é crítica, assim, apresenta pouca interferência na saída.

Já o conversor DC chaveado é um dispositivo que regula uma tensão DC de entrada em outra tensão DC na saída, podendo ser maior, menor ou

inversa, baseado na comutação de chaves. Esse conversor utiliza o chaveamento em alta frequência e componentes como indutores, capacitores e diodos para armazenar e transferir energia

O conversor DC é capaz de atuar com o regulador chaveado, para isso, utiliza um componente de comutação, como um transistor, para alternar rapidamente entre estados de condução e retido, alternando entre os estados de condução e corte em alta frequência. Se destacam por serem mais eficientes que reguladores lineares, pois minimizam a dissipação de energia em forma de calor.

Os conversores DC com reguladores chaveados estão disponíveis para aquisição no formato de Circuito Integrado (CI). Incluem quatro tipos básicos: *buck*, *boost*, *buck-boost*. Para esse projeto o foco será no tipo *buck*, também chamado de abaixador ou *step-down*, converte uma tensão contínua de entrada em uma tensão de saída de menor valor. Opera alternando a tensão de entrada através de uma chave e utiliza um indutor e um capacitor para suavizar a corrente e estabilizar a tensão de saída. Sua aplicação é comum em diversos dispositivos: como circuitos lógicos; em carregadores de bateria para celulares, *notebooks* e *power banks* e para a alimentação de computadores e placas-mães e carregadores solares (RASHID,2014).

Na Figura 12, é apresentada a estrutura básica de um conversor *buck*.

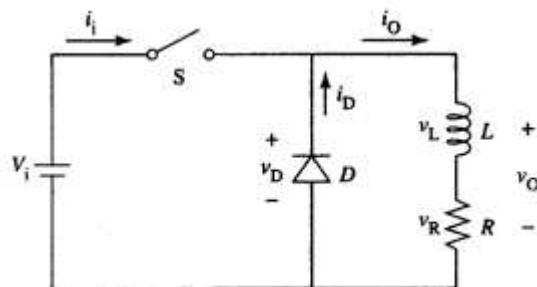


Figura 12 - Diagrama do conversor *buck* (fonte: Rashid (2014))

2.8 Motor de Passo

Um motor de passo é um tipo de motor elétrico projetado para mover em incrementos discretos, ou “passos”, ao invés de operar de forma contínua como os motores de corrente contínua (DC) ou de corrente alternada (AC). Cada rotação completa do motor é dividida em um número específico de passos, permitindo um controle preciso da posição do eixo.

A quantidade de movimento de cada passo depende do design do motor, sendo comum encontrar motores que se movem 1,8 graus por passo (como o modelo utilizado), resultando em 200 passos para uma rotação completa.

A estrutura básica do motor de passo, Figura 13, consiste em um estator, parte fixa do motor que contém os enrolamentos eletromagnéticos, quando energizado gera campos magnéticos são gerados. Rotor, parte móvel do motor, que pode ser feita de ímãs permanentes ou ser um núcleo de ferro laminado, dependendo do tipo de motor de passo.

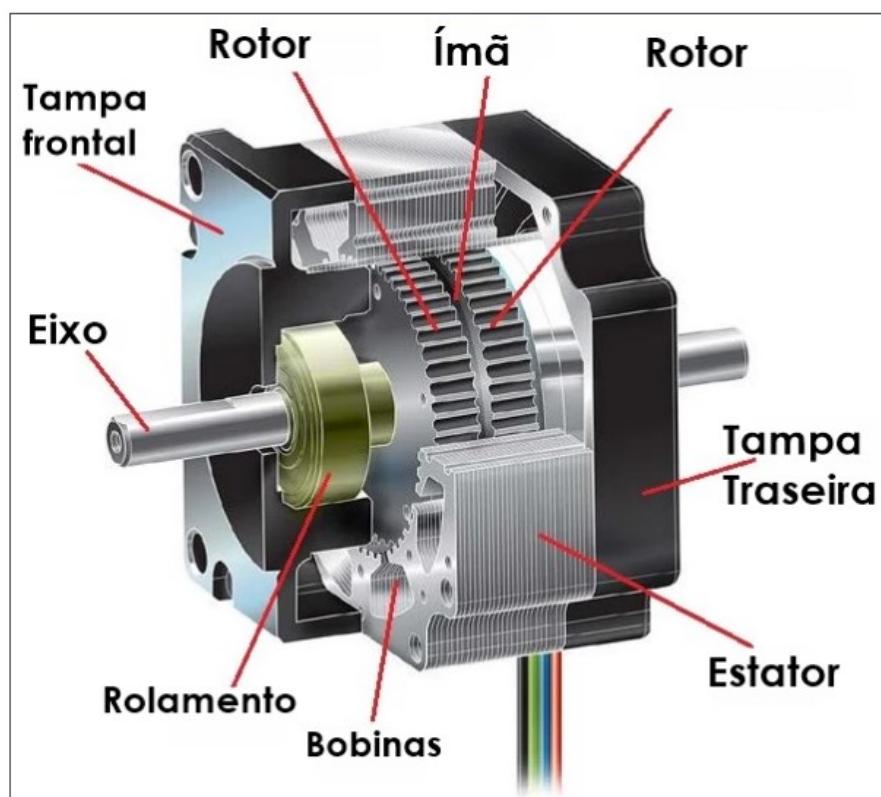


Figura 13 - Representação interna e externa de um motor de passo
(fonte: <https://curtocircuito.com.br/>)

O motor de passo opera com base na aplicação de impulsos elétricos aos enrolamentos do estator, fazendo com que o rotor se move em incrementos precisos. Quando uma bobina do estator é energizada, cria-se um campo magnético, o rotor (ímã permanente ou denteado) alinha-se com o campo magnético gerado pelos enrolamentos do estator. Ao alternar a corrente entre diferentes enrolamentos em uma sequência específica, o campo magnético se move ao redor do estator.

2.9 Arduino

O Arduino, Figura 18, é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, composta por placas de circuito com microcontroladores programáveis e um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) de fácil utilização. Ele permite a interação entre hardware e software, possibilitando o controle de sensores, atuadores e diversos dispositivos eletrônicos. Sua simplicidade, baixo custo e grande comunidade de usuários tornam o Arduino amplamente utilizado em projetos de automação, instrumentação, robótica e ensino de eletrônica e programação.

A comunicação serial é um dos principais recursos do Arduino, permitindo a troca de informações entre o microcontrolador e outros dispositivos, como computadores, sensores ou módulos externos. Nela, os dados são transmitidos bit a bit por meio de um canal único, geralmente utilizando os pinos RX (recepção) e TX (transmissão), ou a porta USB da placa. Esse tipo de comunicação é simples, confiável e amplamente usado em aplicações de monitoramento, controle e integração de sistemas.

CAPÍTULO III

3

Metodologia

A metodologia aplicada no desenvolvimento do projeto elétrico deste trabalho consiste em utilizar como ponto de partida os cinco materiais já dimensionados e disponibilizados pelo LTAD como ponto central do dimensionamento e desenvolvimento projeto elétrico-eletrônico do tribômetro. Esses equipamentos foram o motor de passo (Figura 14), a fonte de alimentação (Figura 15) e o *driver* (Figura 16) dele, célula de carga e condicionador de sinais. A partir das configurações deles, apresentado mais adiante, foi elaborado o projeto elétrico.

Durante o processo o *driver* STR6-RS485 (Figura 16), apresentou problemas de comunicação. Como o prazo de entrega do projeto estava atrasado, foi decidido substitui-lo pelo *driver* 7080 e substituição do conversor usb-485 pelo Arduino.

3.1 Componentes e Dispositivos do Projeto Elétricos

A seguir serão apresentados os principais componentes e dispositivos do projeto elétrico, como o motor, driver, os dispositivos de proteção (disjuntores) e os equipamentos da parte de comando do circuito, como os sensores para a instrumentação geral da máquina, relé, fontes, entre outros.

3.1.1 Motor de Passo

O motor de passo disponibilizado para o projeto é o Motor de Passo Nema 42 KTC-110HS165 (Figura 14) da marca Kalatec Automação NEMA 42, uma escolha robusta e potente para aplicações que exigem alto torque e precisão. Sua classificação NEMA 42 indica que ele possui um flange de

montagem de 110mm, um tamanho considerável que reflete sua capacidade de potência. Na Tabela 1 estão as informações do motor.



Figura 14 - Motor de Passo Nema 42 KTC-110HS165 (fonte: <https://www.kalatec.com.br>).

Tabela 1 - Informações do Motor de Passo Nema 42 KTC-110HS165

Motor de Passo Nema 42 KTC-110HS165

Flange:	110mm;
Comprimento da Carcaça:	165mm;
Passo em Ângulo:	1,80°;
Resolução:	200 PPR;
Torque Estático Bipolar:	24 Nm (240 Kg.cm)
Quantidade de Fios:	4;
Ligações Possíveis:	Bipolar Série;
Corrente:	6,0 A/fase;
Indutância:	14 mH/fase;
Certificação:	CE;
Resistência	0,9 Ohms/fase;
Temperatura de Operação:	-20 a +50 °C;
Classe de Isolamento:	Classe B (130 °C);
Inércia:	10.900 g.cm ² ;
Diâmetro do Eixo:	19mm;
Peso:	8,9 Kg;

3.1.2 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação disponibilizada para o projeto é a Fonte Chaveada 48V PSK-LRS-350-48 (Figura 15) da marca Kalatec, no qual recebe a energia da rede elétrica, que é corrente alternada (AC), nas tensões de 90~132 VAC ou 180~264 VAC e, através de um processo de comutação de alta frequência, a transforma em 48 VDC em corrente contínua para alimentar o motor de passo do projeto. A Tabela 2 apresenta as informações da fonte.

Tabela 2 - Informações da Fonte Chaveada 48V PSK-LRS-350-48

Fonte Chaveada PSK-LRS-350-48	
Potência:	350W;
Corrente:	7,3 A;
Saída:	48VDC;
Alimentação:	90~132 VAC ou 180~264 VAC;
Range de Ajuste de Voltagem:	43~52 VDC;
Tempo Máximo de Setup:	800ms, 40ms/230VAC;
Eficiência:	89%;
Frequência:	43~63Hz;



Figura 15 - Fonte Chaveada 48V PSK-LRS-350-48 (fonte: <https://www.kalatec.com.br>)

A segunda fonte de alimentação escolhida é para a alimentação do condicionador de sinal (apresentado a frente) e componente de sinalização, como sinaleiros. Ela é alimentada com corrente alternada (AC), nas tensões de 90~132 VAC ou 180~264 VAC e, através de um processo de comutação de alta frequência, a transforma em 24 VDC em corrente contínua para alimentar o motor de passo do projeto. Na Tabela 3 é apresentado as informações da segunda fonte.

Tabela 3 - Informações da Fonte Chaveada 24VDC – 1,5A

Fonte Chaveada 24VDC – 1,5A	
Potência:	36W;
Corrente:	1,5 A;
Saída:	24VDC;
Alimentação:	90~132 VAC ou 180~264 VAC;
Tempo Máximo de Setup:	800ms,40ms/230VAC;
Eficiência:	89%;
Frequência:	43~63Hz;

3.1.3 Driver Motor

O Modelo STR6-RS485 (Figura 16) permite comunicação em rede para alterar variáveis, como velocidade, posição, corrente, resolução e a possibilidade de obter controles especiais. Além disso, é possível que o driver Motor de Passo Modbus ocasione uma aceleração adequada e suave por meio de comandos. STR6-RS485 utiliza uma interface para o seu PLC através da rede Modbus/TCP. STR6-RS485 utiliza uma interface para o seu PLC através da rede Modbus/TCP. Reduzindo os custos totais do sistema com instalação simplificada.



Figura 16 – Drive STR6-RS485 (fonte: <https://www.kalatec.com.br>).

Contudo, o modelo STR6-RS485 (Figura 16) apresentou problemas com relação a troca de dados com programa. Para contornar o problema decidiu-se utilizar o *driver* 7080, Figura 17, modelo mais simples, sem comunicação Modbus, no qual o Arduino manda sinais de pulso, direção e habilitação de 5 V para dizer quando e como o motor deve girar.



Figura 17 - *Driver 7080* (fonte: <https://cbisurplus.com>).

3.1.4 Arduino

Arduino é uma plataforma de eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. As placas Arduino são capazes ler sensores, controlar atuadores (LEDs, motores etc.). Para isso, usa a linguagem de programação Arduino e o Software Arduino (IDE), escrita em Java, baseada no ambiente *Processing/Wiring*, compatível com C/C++ simplificado.

A maioria das placas Arduino como Uno, Nano e Mega incorpora um módulo UART (*Universal/Asynchronous Receiver-Transmitter*) que permite a troca de dados bit a bit pela TX (transmissão) e RX (recepção) usando níveis TTL (Lógica Transistor-Transistor). A Figura 18 apresenta um Arduino Uno.

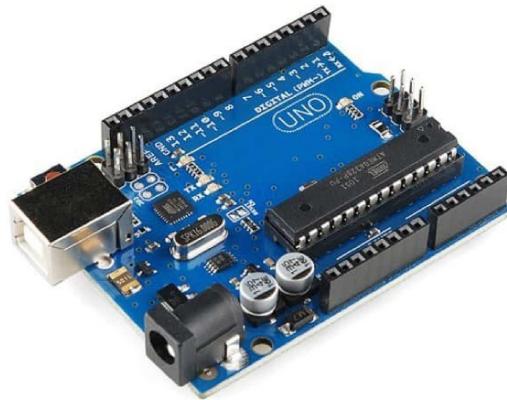


Figura 18 - Arduino Uno. (fonte: <https://www.arduino.cc>).

3.1.6 Célula de Carga U2B

A célula de carga escolhida é o modelo U2B (Figura 19) da marca HMBD, na forma de diafragma, ou seja, utiliza um elemento elástico em forma de disco fino (o diafragma) que se flexiona sob a aplicação de uma força axial, sendo assim bidirecional (tração ou de compressão) e se utiliza do princípio strain gauge.

O sensor escolhido trabalha na faixa de 0,5 kN a 200 kN com precisão classe até 0,1%, saída de 2 mV/V, com possibilidade de monitoramento de integridade do sensor via IO-Link, sendo assim ideal para ambientes industriais e testes estáticos/dinâmicos.



Figura 19 - Célula de carga modelo U2B (fonte: <https://www.hbm.com>).

3.1.7 Disjuntor

Disjuntores são dispositivos de segurança e proteção essenciais em circuitos elétricos, interrompendo o fluxo de eletricidade instantaneamente em caso de sobrecarga ou curto-círcuito. O principal objetivo é blindar tanto os equipamentos quanto a fiação contra danos severos, como superaquecimento ou picos de corrente perigosos. A Figura 20 apresenta um disjuntor bipolar da WEG.



Figura 20 - Disjunto bipolar WEG (fonte: <https://www.weg.net>).

Funcionando de forma similar a um interruptor, com a diferença de que ele é projetado para atuar automaticamente em situações de falha no sistema ou condições anormais. Com a vantagem de depois de um desarme, ele pode ser rearmado manualmente, ao contrário dos fusíveis, que precisam ser substituídos após queimar.

Quando uma condição anormal é detectada, o disjuntor ativa um mecanismo interno para interromper a corrente. Esse mecanismo pode ser do tipo térmicos, no qual se baseia no aquecimento de uma lâmina bimetálica, que se curva quando superaquecida devido ao aumento da corrente, acionando a abertura do circuito ou magnéticos, que utilizam um eletroímã que reage de forma instantânea a correntes altíssimas, típicas de um curto-círcuito.

3.1.8 Clipe Bm40 -Condicionador de sinais

Para realizar a leitura e condicionamento do sinal da célula de carga foi feito a escolha do CilpeX BM40 (Figura 21), um módulo condicionador de sinal industrial de alta precisão da HBM, projetado para transdutores como células de carga, *strain gauges*, LVDTs, entre outros.



Figura 21 - Condicionador de sinais ClipX BM40 (fonte: <https://www.hbm.com>)

A devido a sua configuração *Plug and Play*, até seis dispositivos podem ser conectados simultaneamente em uma configuração modular e os dados medidos podem ser pré-calculados. Ao contrário dos condicionadores de sinal de medição convencionais, o ClipX não requer um módulo de controle separado para processamento direto de dados.

Dentre suas principais características esta, entrada configurável para 7 tipos de sensores, com taxa de amostragem de até 19.2 kHz, saída analógica com seleção entre ± 10 V ou 4-20 mA, integrações nativas com protocolos modernos de automação industrial: PROFINET, EtherCAT, PROFIBUS, Ethernet/IP, OPC-UA, e funciona com alimentação de 10 – 30 V DC.

3.1.9 Relés

Os relés são dispositivos elétricos eletromagnético utilizados para controle de circuitos elétricos e automação a partir da abertura e fechamento de contatos. Sua principal aplicação está no controle de circuitos de baixa potência e em funções de proteção e monitoramento de sistemas. Possui um mecanismo eletromagnético que abre ou fecha uma chave quando sua bobina é eletrizada.

Dentre os vários tipos de relés, no projeto se faz a necessidade de utilizar no projeto o relé de interface, no qual isola os sistemas de comandos, nas entradas ou saídas, protegendo os equipamentos contra curtos-circuitos e surtos de tensão. Ele controla um circuito elétrico por meio de contatos NA (normalmente aberto) ou NF (normalmente fechado). A Figura 22 apresenta uma relé de interface.

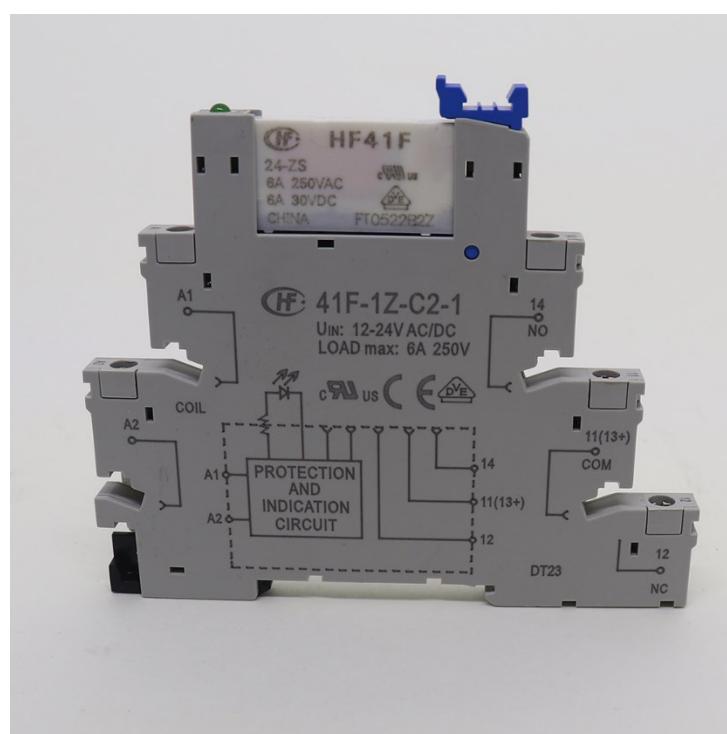


Figura 22 - Relé de Interface (fonte: <https://www.eletricaecotech.com.br>).

Para o projeto elétrico, o relé foi utilizado para duas funcionalidades distintas. A primeira é o acionamento de sinaleiros, que serão utilizados como identificação do que está sendo acionado ou não. Com relação a

segunda funcionalidade adotada para os relés neste projeto elétrico, estes foram utilizados como parte do circuito de emergência e acionamento da máquina.

3.2 Dimensionamento

O dimensionamento constitui uma etapa fundamental no desenvolvimento deste projeto elétrico, pois é a partir dele que se definem os principais tipos dos componentes mencionados anteriormente. Também, a NBR 5410 fornece os parâmetros necessários para realizar todos os cálculos que garantem a escolha mais adequada dos elementos.

Para os disjuntores, é recomendável que a sua corrente nominal seja entre 1,25 a 1,5 vezes maior dos dispositivos que serão protegidos. No caso do projeto, foram selecionados disjuntores de 6 A e 10 A, ambos bipolares. A Figura 23 apresenta os disjuntores escolhidos.



Figura 23 - Disjuntores bipolares de 6 A e 10 A (fonte: Autor).

O disjuntor de 10 A foi dimensionado com o objetivo de proteger as duas fontes de alimentação (7 A e 1,5 A) que são responsáveis por toda a alimentação dos equipamentos. Já o disjuntor de 6 A foi dimensionado para proteger uma fonte de alimentação de computador ou notebook caso o local de instalação do tribômetro não disponibilize uma tomada.

Os disjuntores escolhidos possuem uma curva de disparo do tipo curva C, que tem como principal característica o disparo instantâneo para correntes entre 5 a 10 vezes a corrente nominal. Por isso, são aplicados na proteção de circuitos com instalação de cargas indutivas. A Figura 24 apresenta a curva de disparo dos disjuntores utilizados.

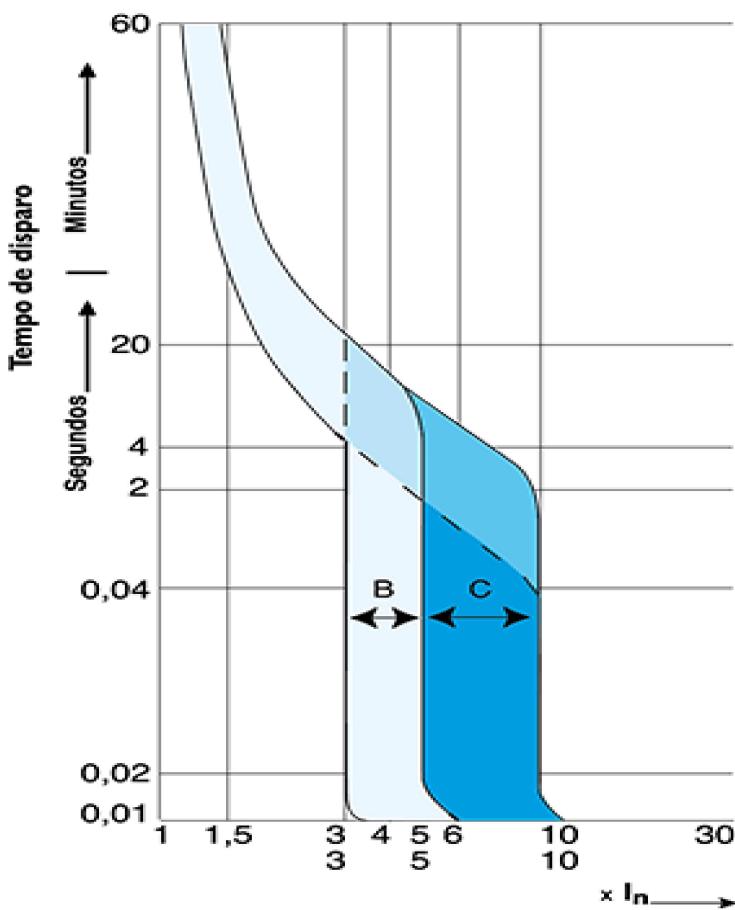


Figura 24 - Curva de disparo dos disjuntores escolhidos (fonte: <https://www.weg.net>).

Essenciais em qualquer projeto elétrico, os cabos seguem um dimensionamento seguindo a Tabela 37 (Figura 26) da norma NBR-5410, de acordo com a Figura apresentada a seguir. Para tal, é necessário considerar o tipo de instalação utilizado para o projeto e o tipo escolhido como referência foi o valor B1 da referida Tabela 33 (Figura 25) da norma NBR-5410.

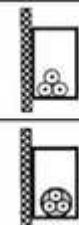
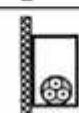
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2

Figura 25 - Tabela 33, referente ao tipo de instalação dos cabos (fonte: NBR-5410, Tabela 33 (2004))

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144

Figura 26 - Tabela 37, referente a capacidade de condução de corrente, em amperes, para bitola de cabos (fonte: NBR-5410, Tabela 37 (2004))

Equipamentos como as fontes de alimentação se fez necessário fazer multiplicação por um fator de correlação de agrupamento de 0,8 vezes os valores da corrente de alimentação das fontes. Esse fator reduz a

capacidade de condução de corrente dos condutores quando eles estão agrupados em um mesmo eletroduto devido ao calor.

Com o desenvolver do projeto se fez necessário a adição de uma segunda fonte de alimentação chaveada com um valor de tensão menor para a alimentação do condicionador de sinais e os semáforos de sinalização das condições do sistema. Por se tratar de equipamentos de baixa corrente, foi dimensionado com alimentação de saída de 24 V e 1,5 A.



Figura 27 - Fonte de alimentação chaveada do tipo colmeia
(fonte: <https://www.embralumi.com.br>).

Para o relé foi escolhido um relé de interface com dois contatos reversíveis, no qual cada contato reversível fornece ao mesmo tempo um contato normalmente fechado (NF) e um normalmente aberto (NA), com um ponto em comum (COM).

Como o intuito é a utilização no circuito de comando do projeto, ou seja, um circuito de baixa potência, o modelo selecionado é o Relé de Interface Finder 24 VCC, suporta até 8 A e possui 2 Contatos Reversíveis (Figura 28), da marca Finder, possui dois polos com função reversível, alternando entre esses estados conforme a bobina é açãoada.

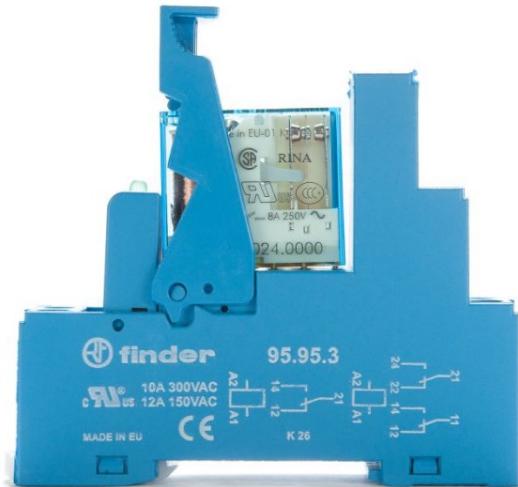


Figura 28 - Relé de interface com 2 contatos reversíveis da Finder
(fonte: <https://www.findernet.com>)

CAPÍTULO IV

4

Resultados

A partir da revisão bibliográfica, metodologia e materiais vistos anteriormente tornou-se possível o desenvolvimento do projeto elétrico completo, que contempla todos os componentes integrados.

4.1 Energização do Painel

A Figura 29 a seguir mostra a energização inicial do painel, projetada por meio do uso de uma chave seccionadora bipolar. É possível observar alguns dados importantes, como os valores da alimentação total do painel elétrico e o dimensionamento dos cabos utilizados.

O tipo de alimentação escolhida foi F-F sem neutro, no qual tensão de 220V é o resultado da diferença de potencial entre duas fases.

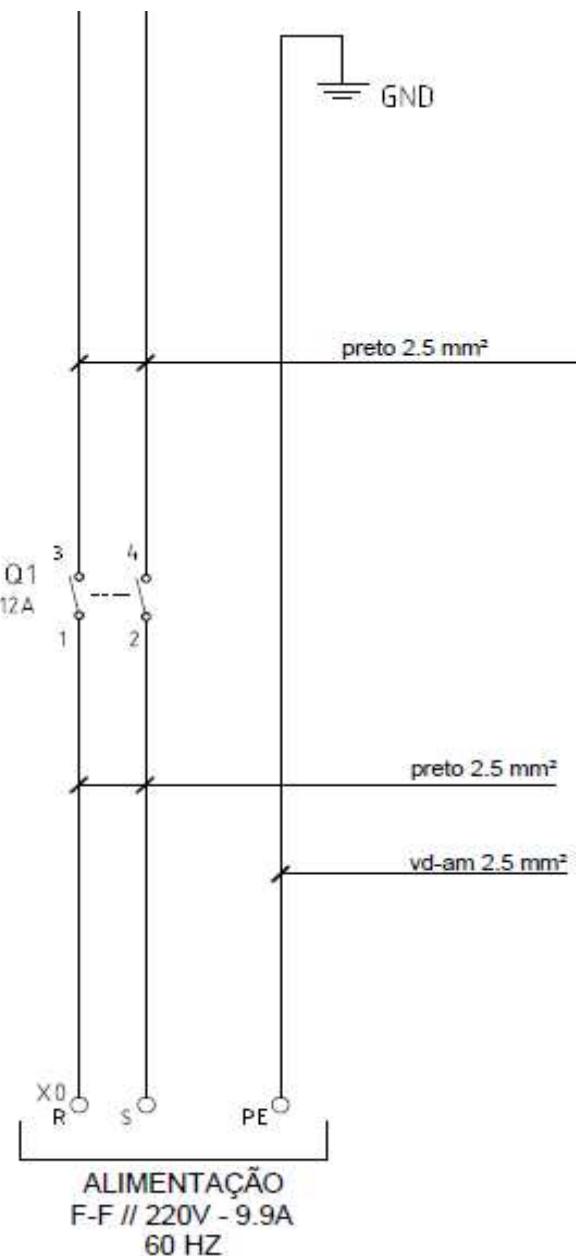


Figura 29 – Diagrama de alimentação e acionamento do painel elétrico

4.2 Contato de selo

Para a energização completa de todos os componentes e habilitação do motor, foi inserido no projeto um botão de acionamento que deve ser acionado todas as vezes em que se liga o painel elétrico e após casos em que houve o uso dos botões de emergência.

Assim, para a completa energização do painel, onde só então será possível realizar todas as atividades, é necessário ligar a chave

seccionadora e, logo em seguida, acionar o botão habilitar motor. A Figura 30 revela como foi projetado.

Para tal, foi feito um contato de selo utilizando o relé de interface para criar um comando elétrico para realizar o acionamento do motor e assim que o botão de emergência for acionado ele rompe o selo abrindo o circuito e desenergizando.

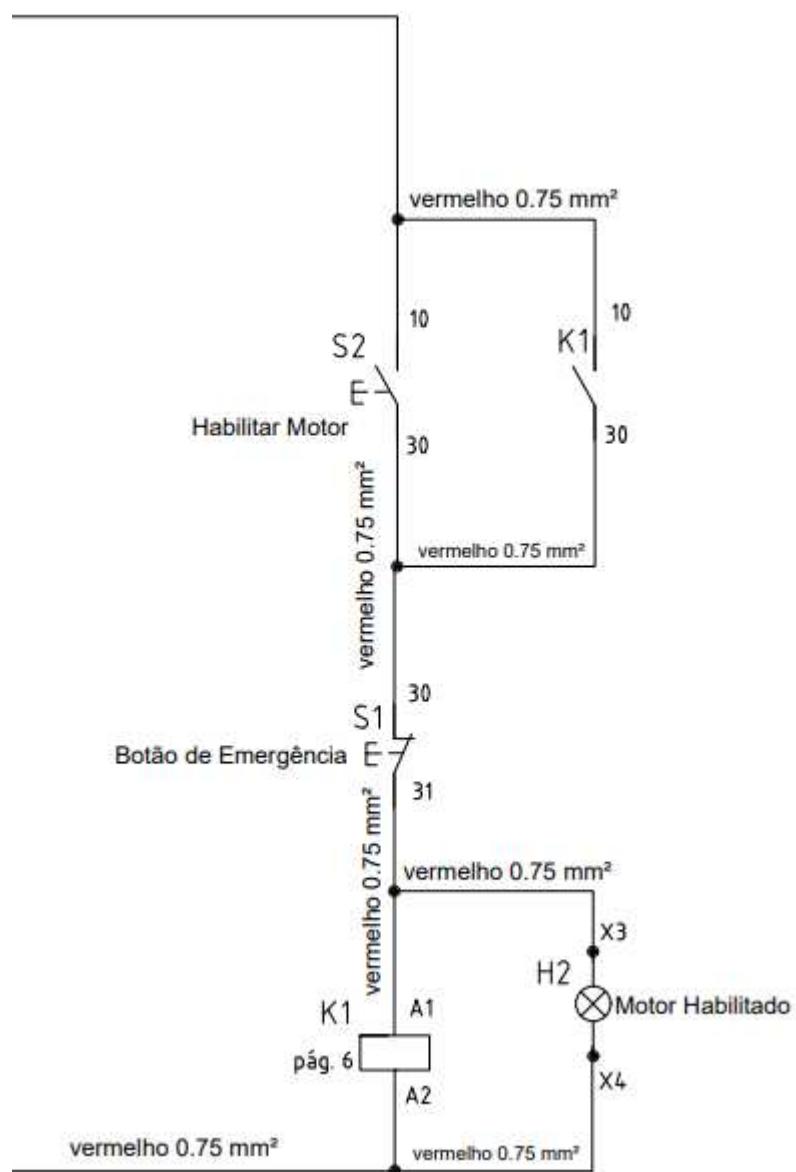


Figura 30 - Circuito de contato de selo para acionamento do motor.

4.3 Conexões Arduino

A princípio a ideia era utilizar o driver de motor STR6-RS485 para fazer o controle e energização do motor de passo. Contudo ele apresentou problema então para contornar a situação utilizou-se de um Arduino uno a fim de realizar a comunicação com o computador e enviar sinais para o outro *driver* (7080) mais simples.

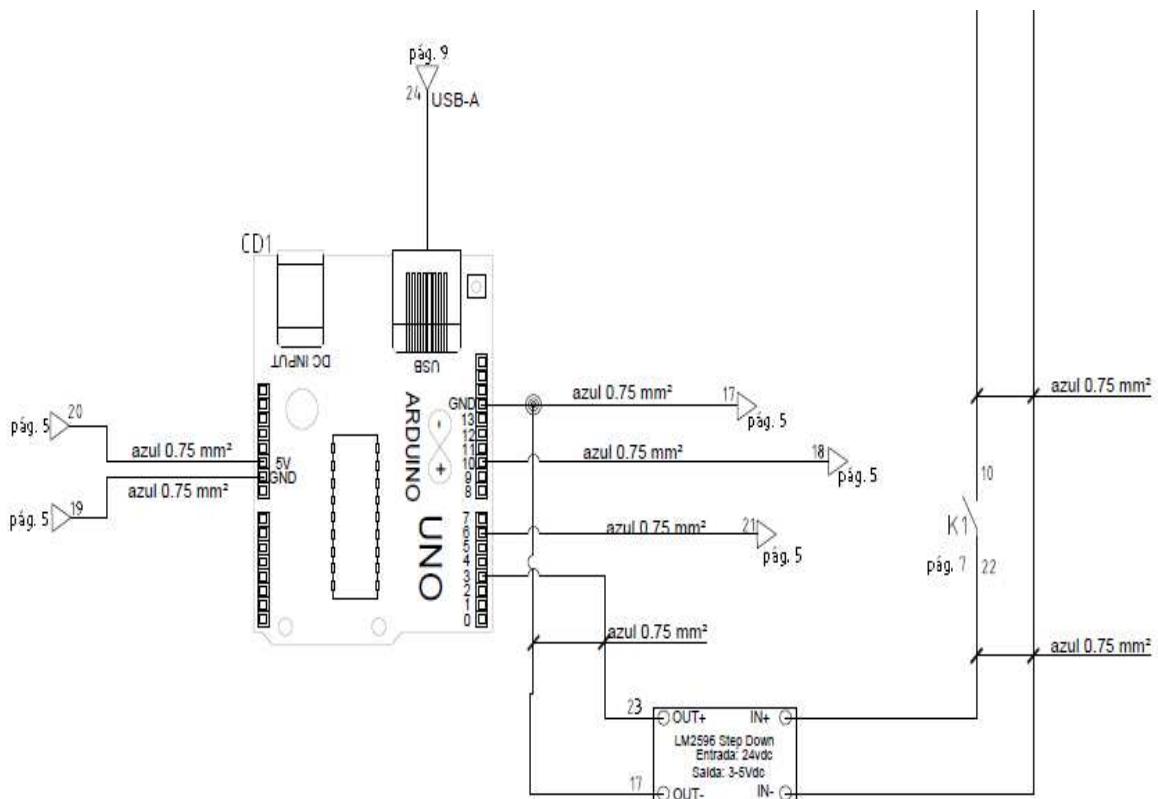


Figura 31 – Diagrama de conexões do Arduino.

Na Figura 31, é possível observar alguns componentes, o LM2596, no qual é um circuito integrado (chip) que funciona como um regulador de tensão DC-DC no modo *step-down*, também conhecido como conversor *buck*. O uso de um LM2596 se fez necessário para reduzir a tensão para 5 V para o Arduino realizar a leitura sem queimar suas portas de entrada.

4.4 Conexões *Driver* do Motor

As conexões do *driver* para o controle da direção, velocidade e até mesmo habilitação do motor de passo. Na Figura 32 é possível observar as entradas DIR, responsável pela direção de rotação do motor, STEP, para o envio dos pulsos para gerar o movimento do motor e EN, para o controle de habilitar o motor.

Observando as numerações dos cabos na Figura 30 e 31 é possível ver as conexões e portas do utilizadas no Arduino para controlar cada função do *driver*.

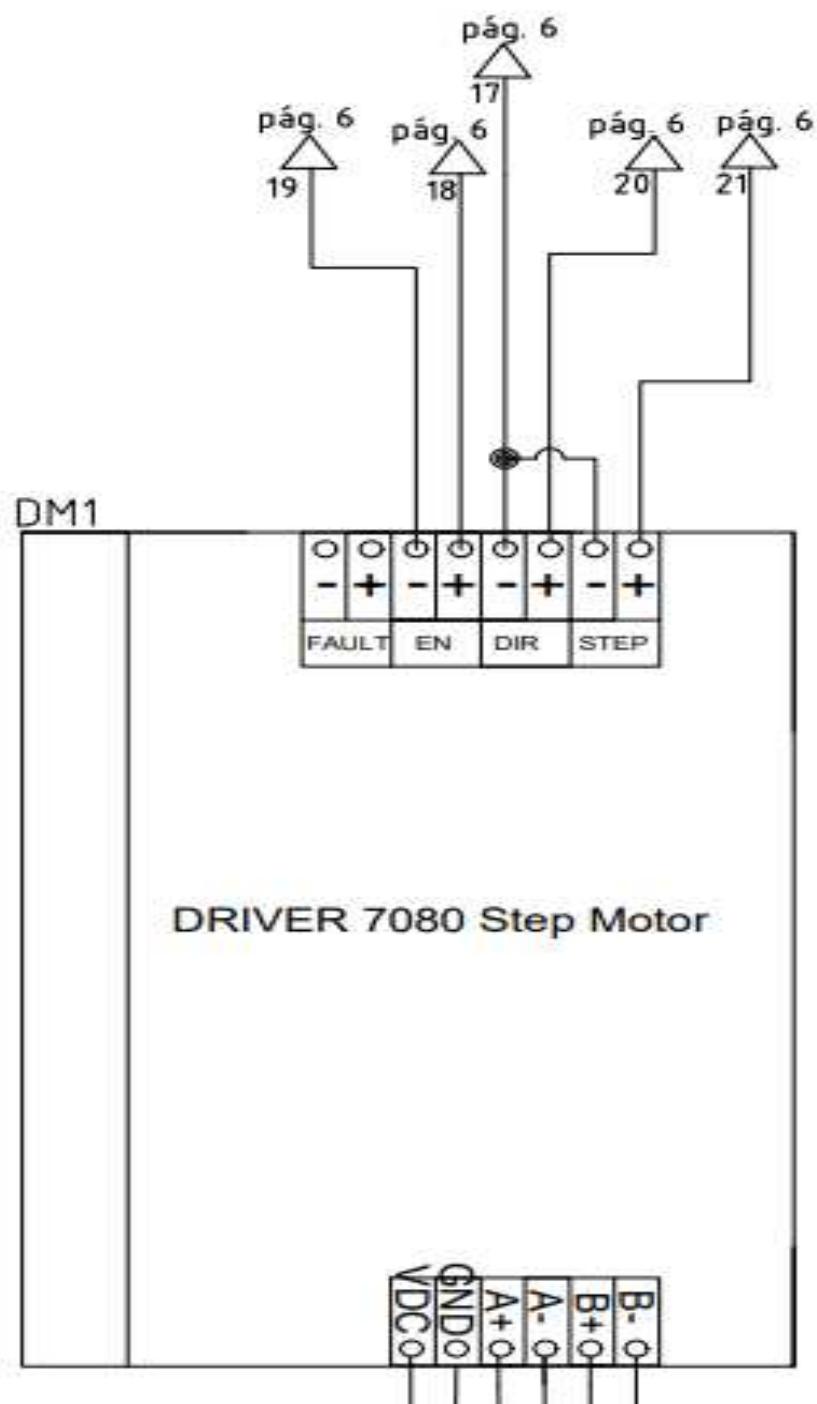


Figura 32 – Diagrama de conexões do *driver* do motor.

4.5 Quadro de Comando

Após realizar o estudo e projeto de todas as conexões e montagens dos dispositivos elétricos foi realizado a montagem dos equipamentos dentro

de um quadro de comando de comando de dimensões 500x400x200, como visto na Figura 33. A construção do quadro foi realizado pelo técnico Fernando do LTAD.



Figura 33 - Quadro de comando ou painel elétrico.

Vale observar a disposição na parte interna do quadro de comando, Figura 34, localizando a fonte de alimentação do motor de passo (Figura 34, a), fonte de alimentação chaveada do tipo colmeia (Figura 34, b), driver do motor (Figura 34, c), Arduino (Figura 34, d), conversor LM2596 (Figura 34, e) e o condicionador de sinais (Figura 34, f).

As entradas disponibilizadas lateralmente para a conexão USB e Ethernet, Figura 35, foram posicionadas para a porta do quadro não ficar aberta para realizar as conexões, protegendo os equipamentos internos de interferência externa e o usuário de contato com fios elétricos.



Figura 34 - Vista interna do quadro de comando.



Figura 35 - Vista das entradas usb e ethernet na lateral do quadro de comando.

A estrutura completa e disposição dos equipamentos é possível ver na Figura 36.



Figura 36 - Estrutura do tribômetro.

4.6 Fluxograma

Para um melhor entendimento do programa desejado foi feito um fluxograma, Figura 37, para a lógica da programação no Labview, possibilitando uma representação visual do algoritmo e processos do programa do Labview, facilitando um melhor entendimento e compreensão dos algoritmos utilizados.

A partir da Figura 37 é possível entender que ao iniciarmos o programa precisamos inserir dados como taxa de aquisição, duração e frequência, após, clicamos no botão start para iniciar o ensaio. Se o programa estiver comunicando com Clipx e Arduino os valores são enviados e o motor de passo iniciado. Após inicialização, o programa começa a receber os dados obtidos pelo Clipx e a célula de carga, salvando em um arquivo de texto caso a opção esteja marcada. O ensaio é concluído com o tempo determinado, finalizando todo o processo.

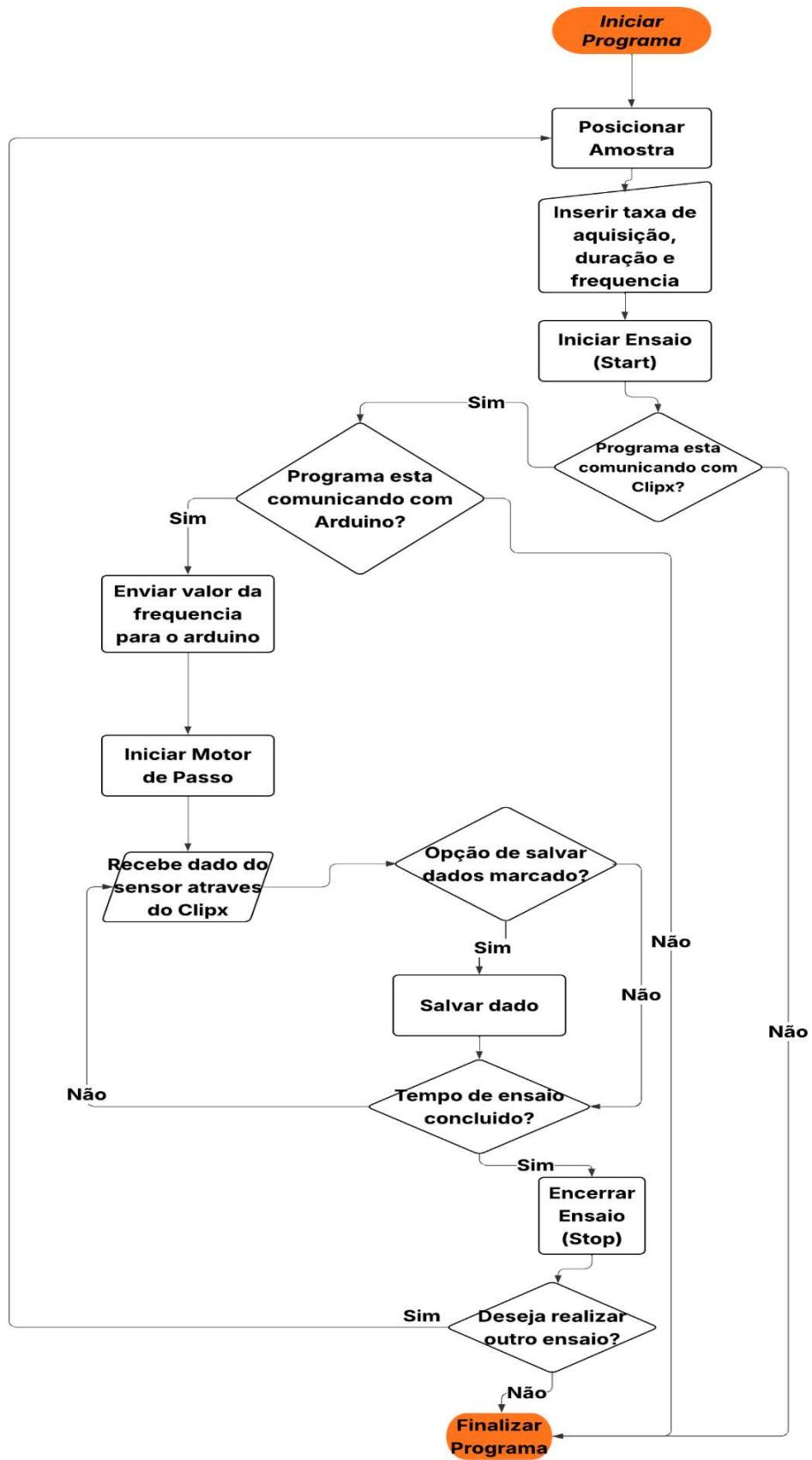


Figura 37 - Diagrama de Blocos na Lógica de Programação.

4.7 Interface

Na Figura 38 se destaca a interface criada no Labview, no qual é possível observar os valores de entrada para o funcionamento da máquina, sendo o tempo de experimento, frequência do motor de passo e taxa de aquisição de amostras por segundo. Os dois gráficos mostram os valores de Força (N) adquiridos em função do tempo, sendo um acumulativo e outro no decorrer do tempo.

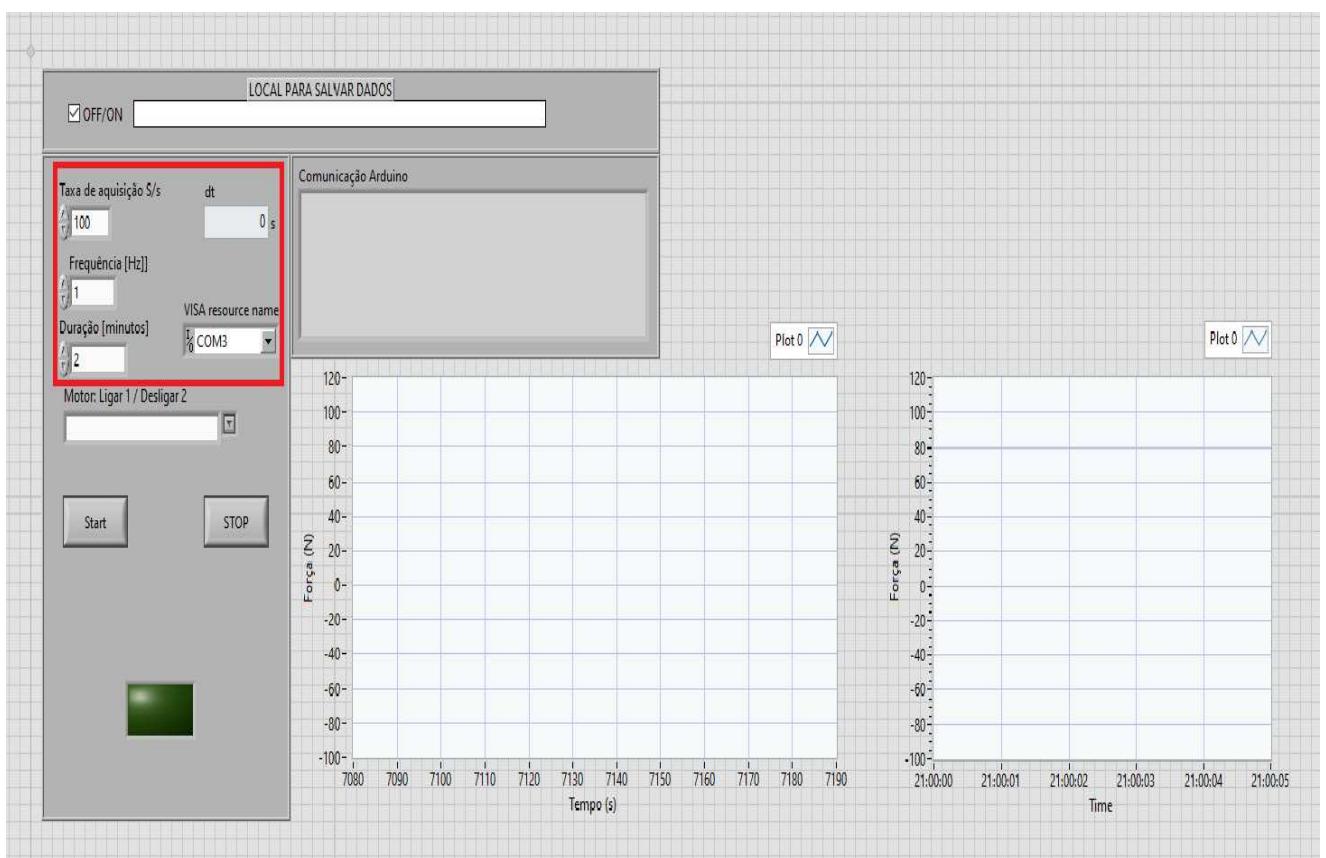


Figura 38 - Interface de Controle do Labview.

Os dados gerados são salvos em um arquivo de texto, sendo importante ressaltar que apenas os valores da célula de carga e tempo são salvos, o Labview não possui uma função para salvar os gráficos gerados, sendo apenas para efeito visual e verificação em tempo real durante o experimento.

O Labview é responsável por fazer a comunicação com o condicionador de sinal para receber os valores mensurados com a célula de carga, utilizando uma biblioteca de funções disponibilizados pela própria fabricante do Clipx BM40.

O programa também é responsável por pegar os dados de entrada do usuário e enviar para o Arduino fazer o controle do *driver*, consequentemente do motor de passo. Na Figura 39 é possível observar o campo ‘Comunicação Arduino’ no qual retorna o estado de comunicação com Arduino. É importante estar atento ao escolher a ponta de comunicação (COM) com Arduino, para não acabar escolher outro dispositivo conectado as portas do computador.

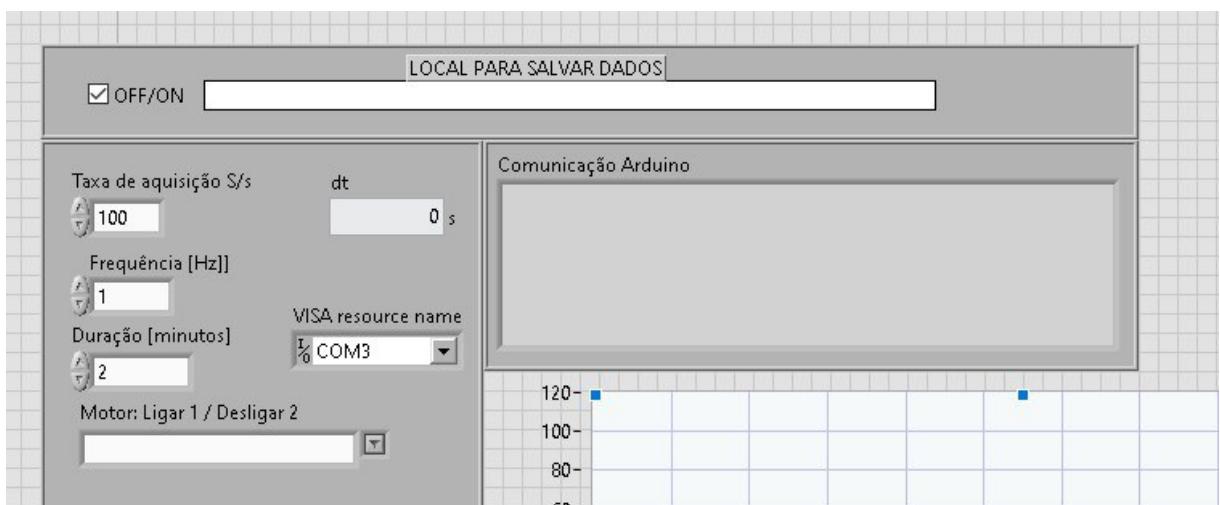


Figura 39 - Área da interface de controle para inserção de dados, controle do local para salvar os dados e status de comunicação com Arduino.

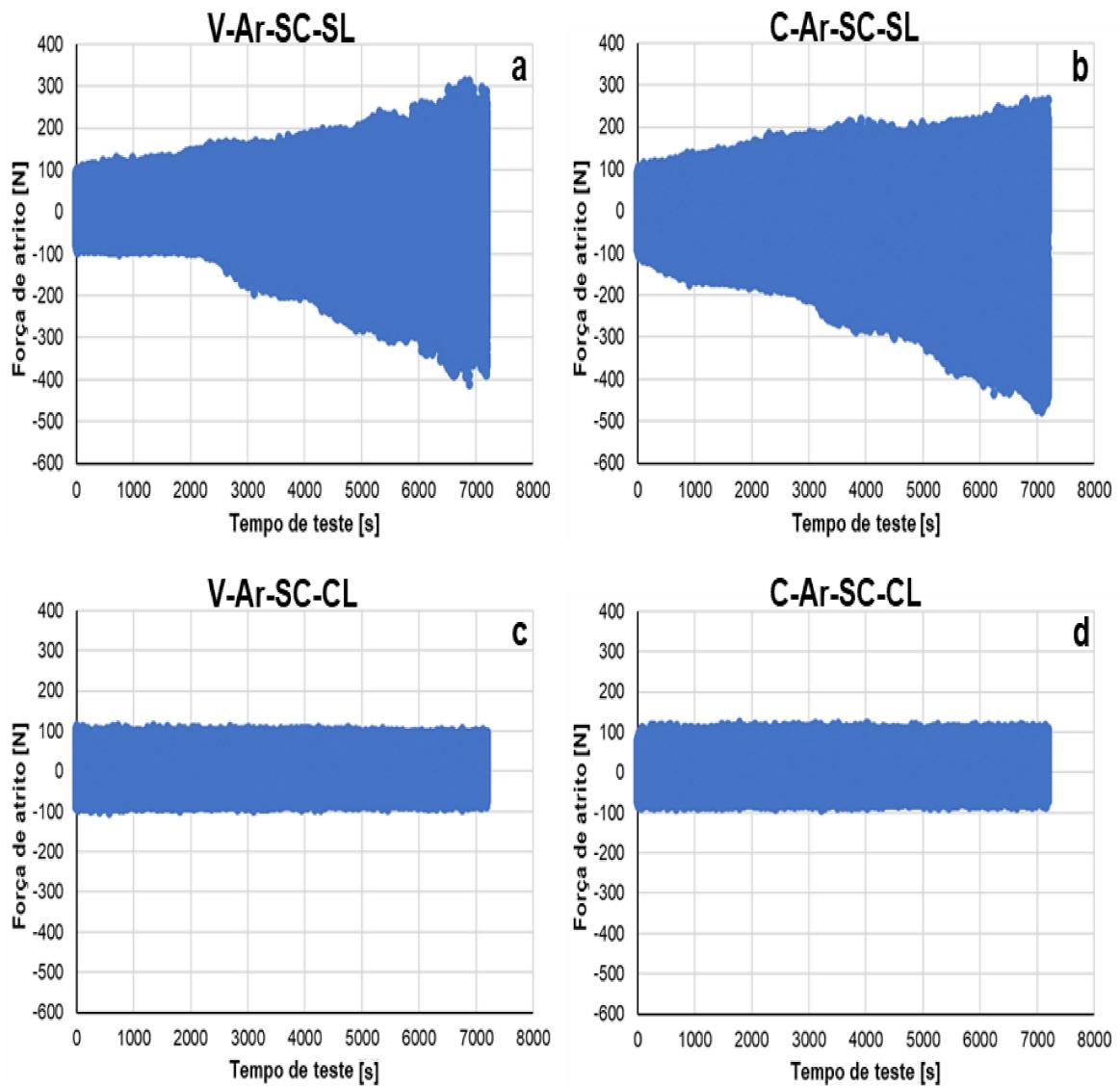
O usuário tem a opção de escolher se desejar salvar os dados obtidos e o local para salvar os dados.

4.8 Dados

Abaixo na Figura 40 se encontra alguns resultados obtidos de ensaio onde indica a condição do experimento, com lubrificante (CL) ou sem (SL), aberto ao ar livre (Ar), o tipo de ferro fundido usado no bloco, C para cinzento e V para vermicular, a condição da amostra, SC para amostras que não foram submetidas a difusão de H₂ e CC para amostras que foram submetidas.

Como é possível observar nos gráficos da Figura 40, todas as amostras foram submetidas ao ensaio por 2 horas. Após a execução dos ensaios, os resultados foram recopilados e analisados. A Figura 40 apresenta os resultados característicos da força de atrito no tempo de ensaio para ensaios em ambiente aerado.

Os valores positivos da força indicam a parte dos ciclos de ida e os valores negativos os de volta. Observa-se que o comportamento para os ensaios com condições lubrificadas (Figura 40 c, d, g, h) não variam ao longo do tempo e aparecem ter os mesmos valores independe do tipo de ferro fundido (V ou C) e condição da amostra (com (CC) ou sem (SC) difusão de H₂). Enquanto para condições seca (sem lubrificante, SL) o as forças de atrito foram evidentemente maiores, sendo que para condições sem difusão de H₂ (SC, Figura 40 a, b) o atrito foi aumentando conforme o tempo do ensaio, enquanto para condições com difusão de H₂ (CC, Figura 40 e, f) o atrito aumentou aproximadamente nos primeiros 2000 s de ensaio e depois se manteve no máximo atrito até o fim do ensaio.



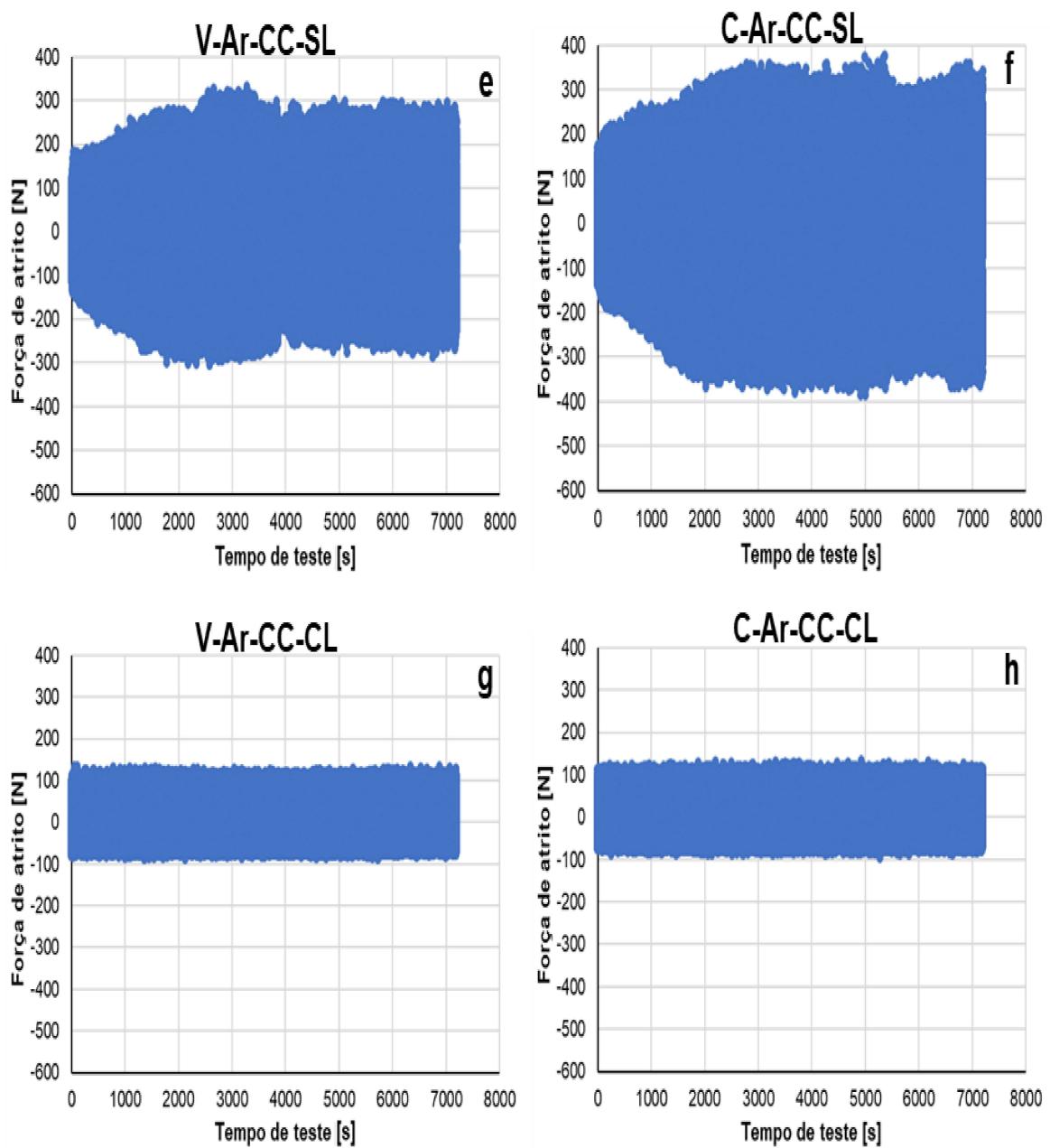


Figura 40 - Comportamento característico da força de atrito ao longo do tempo de ensaio do sistema bloco/anel em ambiente aerado.

Observando os gráficos da Figura 40, percebemos que as amostras que foram lubrificados para o ensaio (Figura 40, c, d, g, h) mantiverem a força de atrito constante durante todo o experimento. Enquanto amostras sem lubrificação (Figura 40, a, b, e, f) foram aumentando a força de atrito com o passar do tempo devido aos desgastes que as amostras foram sofrendo durante ensaio.

Desta forma, conseguimos concluir e ressaltar a importância da lubrificação de materiais e peças, afim de evitar desgastes com a atrito e consequentemente gastos com substituições de peças e equipamentos.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso teve como objetivo principal da instrumentação, automação e desenvolvimento de interface para um tribômetro de ensaios em componentes de motores de combustão, levando em consideração as normas técnicas e a segurança das instalações. Durante a execução do projeto, foram abordados diversos aspectos técnicos e normativos essenciais para a concepção de um sistema elétrico seguro e eficiente.

Ao longo do projeto, foi possível rever e aplicar conceitos teóricos adquiridos ao longo do curso, como eletrônica de potência, controle e automação, entre outros. A utilização de alguns softwares importantes no mercado de trabalho como, o AutoCAD Electrical, permitiu a realização do desenho do projeto elétrico e Labview para a interface e controle do sistema.

Os principais resultados obtidos incluem a elaboração de um projeto elétrico completo, incluindo o dimensionamento de circuitos, a escolha dos dispositivos elétricos como de alimentação e proteção.

Também se obteve resultados quanto a eletrônica de controle e automação do sistema, com uma interface simples, robusta e fácil de se utilizar, possibilitando todo o controle do equipamento. Os dados obtidos durante os ensaios comprovam a eficácia do sistema de controle na coleta e armazenamento de dados.

Por fim, foi percebido alguns pontos a serem melhorados como utilizar o *Driver STR6-RS485* no qual era pensado inicialmente, mas não foi possível devido ao mal funcionamento. O *driver* possui uma melhor compatibilidade com o motor utilizado e possibilita o controle de forma mais precisa do que o

Arduino. Melhora no local de disposição da máquina visto que pequenas vibrações podem afetar o resultado.

O projeto também apresentou ser uma solução viável e mais barato frente aos disponíveis no mercado.

Para trabalhos futuros, sugiro fazer um controle melhor da velocidade do motor de passo, conseguindo a partir de alguma medição em tempo real o valor da velocidade do motor de passo e uma adequação mecânica para possibilitar o tribômetro fazer análise de outros matérias, não somente componentes de motores a combustão. Também fica a sugestão de fazer o projeto utilizando um *Driver* STR6-RS485, para ter maior controle do motor de passo.

1 REFERÊNCIAS

ALL ABOUT CIRCUITS. **Wheatstone Bridge Calculator.** Disponível em: <<https://www.allaboutcircuits.com/tools/wheatstone-bridge-calculator/>>. Acesso em: 2 summer. 2025.

ARDUINO. **Serial.** Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/communication/serial/>>. Acesso em: 1 dez. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5410.** [s.l.] ABNT, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR10.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

CARLOS, DE P. F. **A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Armando-Carlos-Pina-Filho/publication/267251565_A_Evolucao_do_CAD_e_sua_Aplicacao_em_Projetos_de_Engenharia/links/5487038c0cf289302e2eb583/A-Evolucao-do-CAD-e-sua-Aplicacao-em-Projetos-de-Engenharia.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2024.

DE AGUIAR MARIA FERNANDA, F. **DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DIDÁTICO COM REGULADOR DE TENSÃO LM2596 PARA ENSINO EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA.** [s.l.] Instituto Federal de Ciências e Tecnologia da Paraíba, 2025.

ENDAQ. **https://blog.endaq.com/strain-gauges-how-they-work-applications-and-types.** Disponível em: <<https://blog.endaq.com/strain-gauges-how-they-work-applications-and-types>>. Acesso em: 14 fev. 2025.

ERNEST, D. **Measurement Systems : Application and Design.** [s.l.] Mcgraw Hill Higher Education, 2003.

FLINTEC. O que é um Sensor de Força? Disponível em: <<https://www.flintec.com.br/aprender/sensor-de-forca>>. Acesso em: 13 fev. 2025.

HAKAN, K. Tribology in Industry. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/305266254_New_Universal_Tribometer_as_Pin_or_Ball-on-Disc_and_Reciprocating_Pin-on-Plate_Types/fulltext/57c5a6f108ae424fb2cf7ca7/New-Universal-Tribometer-as-Pin-or-Ball-on-Disc-and-Reciprocating-Pin-on-Plate-Types.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2024.

HBM. ClipX - condicionador de sinais industrial preciso e fácil de integrar. Disponível em: <https://www.hbm.com/pt/7077/clipx-condicionador-de-sinais-preciso-e-facil-de-integrar/?product_type_no=ClipX>. Acesso em: 8 out. 2024a.

HBM. The Wheatstone Bridge Circuit Explained. Disponível em: <<https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/strain-measurement-basics/strain-gauge-fundamentals/wheatstone-bridge-circuit>>. Acesso em: 2 summer. 2025c.

HBM. Sensor de força U2B: sensor experimentado e testado para força de tração e compressão. Disponível em: <https://www.hbm.com/pt/2407/u2b-sensor-de-carga-altamente-versatil-para-forcas-de-tracao-e-compressao/?product_type_no=U2B>. Acesso em: 8 out. 2024b.

KALATEC. Drive Motor de Passo STR6-RS485 Modbus. Disponível em: <<https://www.kalatec.com.br/drive-motor-de-passo-modbus-rs485/>>. Acesso em: 8 out. 2024a.

KALATEC. Motor de Passo Nema 42-Torque 24Nm. Disponível em: <<https://www.kalatec.com.br/motor-de-passo-nema-42-torque-24nm/>>. Acesso em: 8 out. 2024b.

KALATEC. Fontes Chaveadas 48VDC. Disponível em:
<<https://www.kalatec.com.br/fonte-chaveada-48v/>>. Acesso em: 8 out. 2024c.

MODBUS ORGANIZATION. Modbus. Disponível em:
<<https://www.modbus.org/>>. Acesso em: 7 set. 2024.

MORRIS, A. S.; LANGARI, R. Measurement and Instrumentation: Theory and Application. <https://apeditora.com.br/>: AP, [s.d.].

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. Strain Gauge Measurement – A Tutorial. Disponível em:
<http://elektron.pol.lublin.pl/elekp/ap_notes/ni_an078_strain_gauge_meas.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2025.

NOVUS. Gateways & Conversores. Disponível em:
<<https://www.novus.com.br/pt/produto/gateways-conversores/usb-i485>>. Acesso em: 8 out. 2024.

PEPPERL-FUCHS. NBB1,5-F79-E2 Inductive sensor. Disponível em:
<<https://www.pepperl-fuchs.com/pt-br/products-gp25581/4814>>. Acesso em: 9 ago. 2024.

VOYAGER DESIGN BRASIL. Aula AutoCad Electrical - INÍCIO PROJETO / COMPONENTES - S01/EP02. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=VINes-on18Q>>.

WEG. Minidisjuntores MDW. Disponível em:
<https://www.weg.net/catalog/weg/DE/pt/Controls/Disjuntores/Minidisjuntores/MDW---Minidisjuntores/Minidisjuntores-MDW/p/MKT_WDC_GLOBAL_PRODUCT_CIRCUIT_BREAKER_MDW>. Acesso em: 16 ago. 2024.

WEIS, O. **Modbus vs RS485**. Disponível em: <<https://www.virtual-serial-port.org/pt/articles/modbus-vs-rs485/>>. Acesso em: 7 dez. 2024.

1 APÊNDICE

1 2 3 4 5 6 7 8

A A

B B

PROJETO ELÉTRICO

CLIENTE: LZ ENERGIA

PROJETO: TRIBOMETRO

DESCRIÇÃO: Tribômetro para ensaios de desgaste

Desenhado por: Caio

Data: 20/07/2024

Revisões: Nro. Data Revisado por

C C

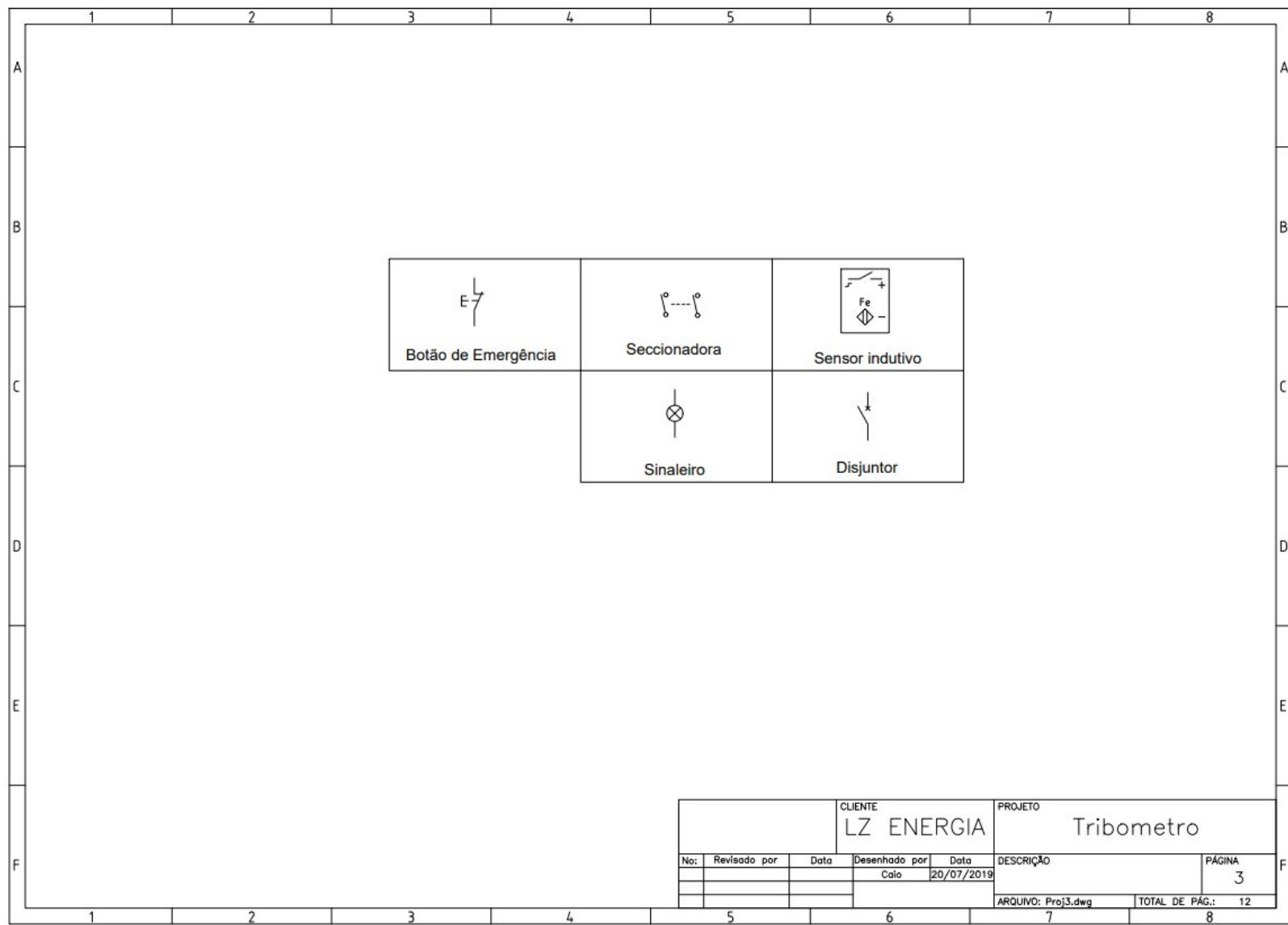
D D

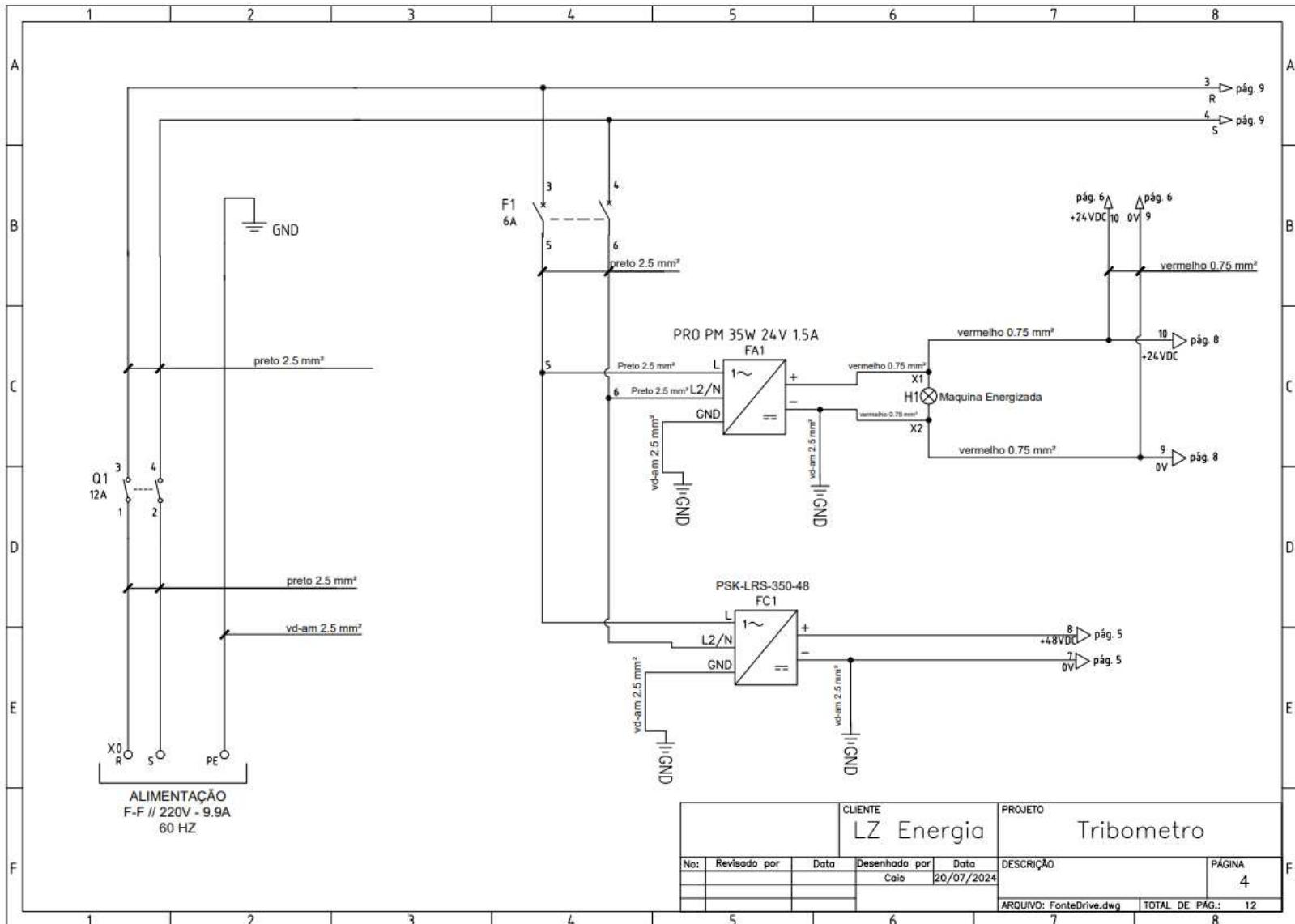
E E

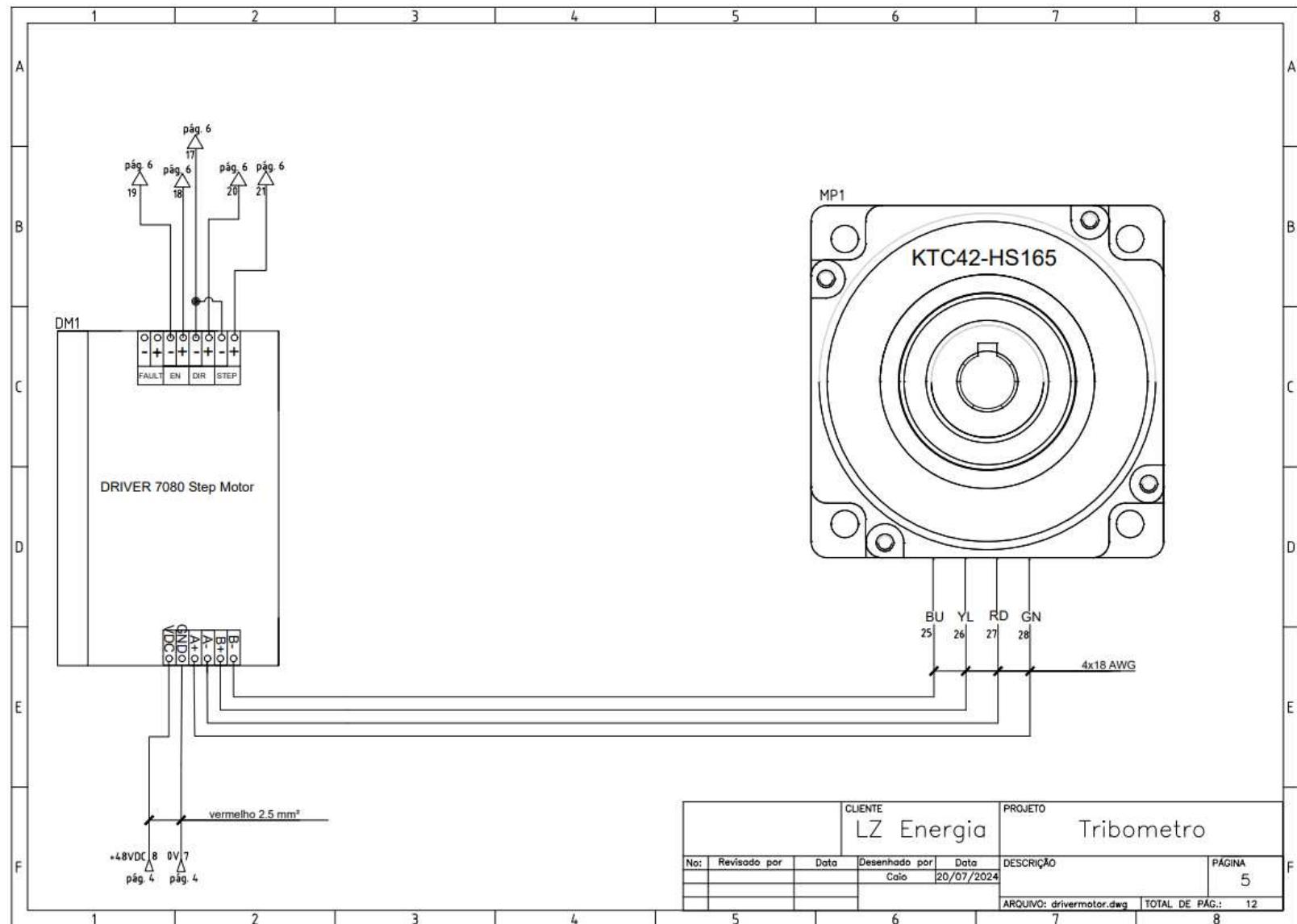
F F

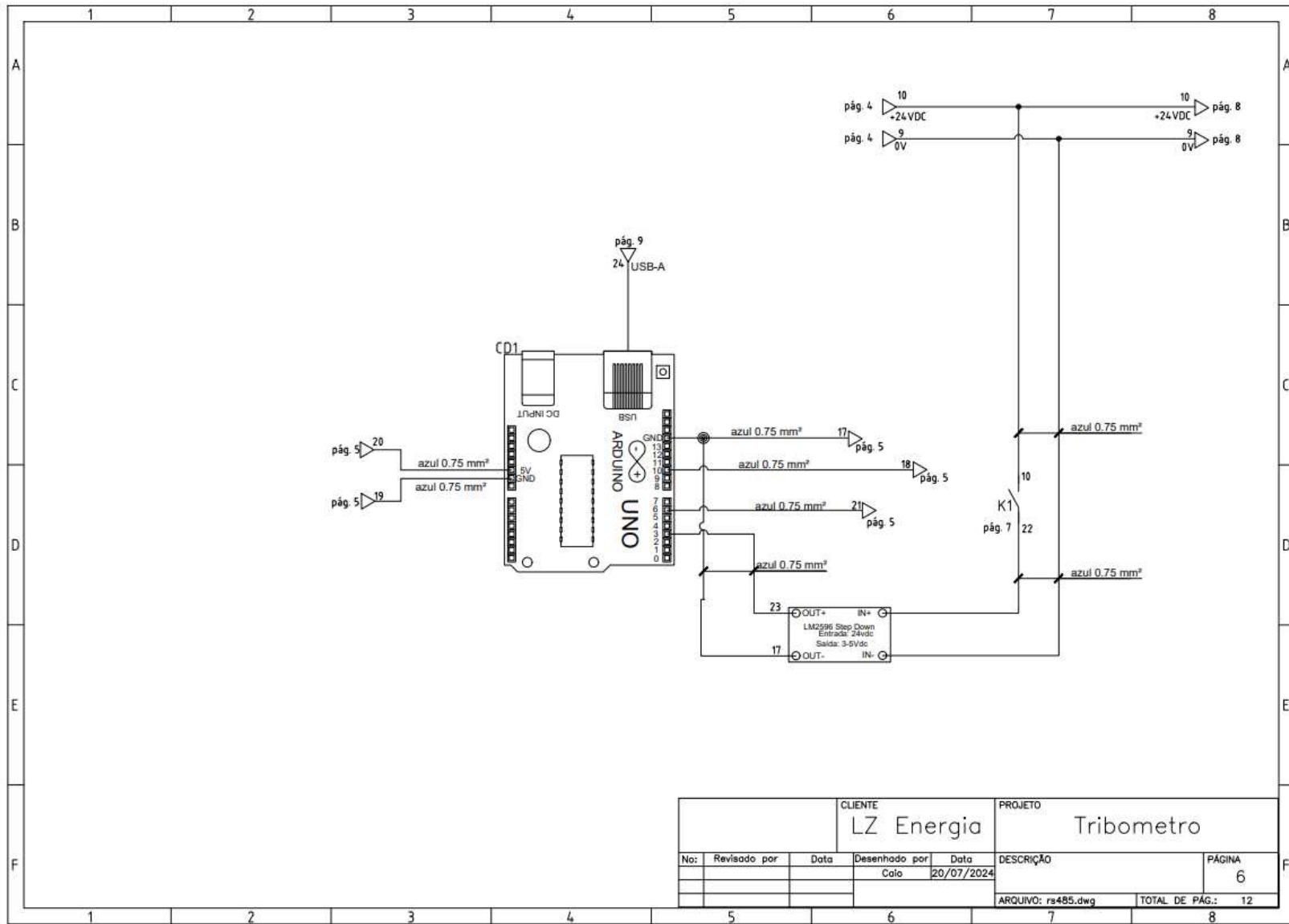
1 2 3 4 5 6 7 8

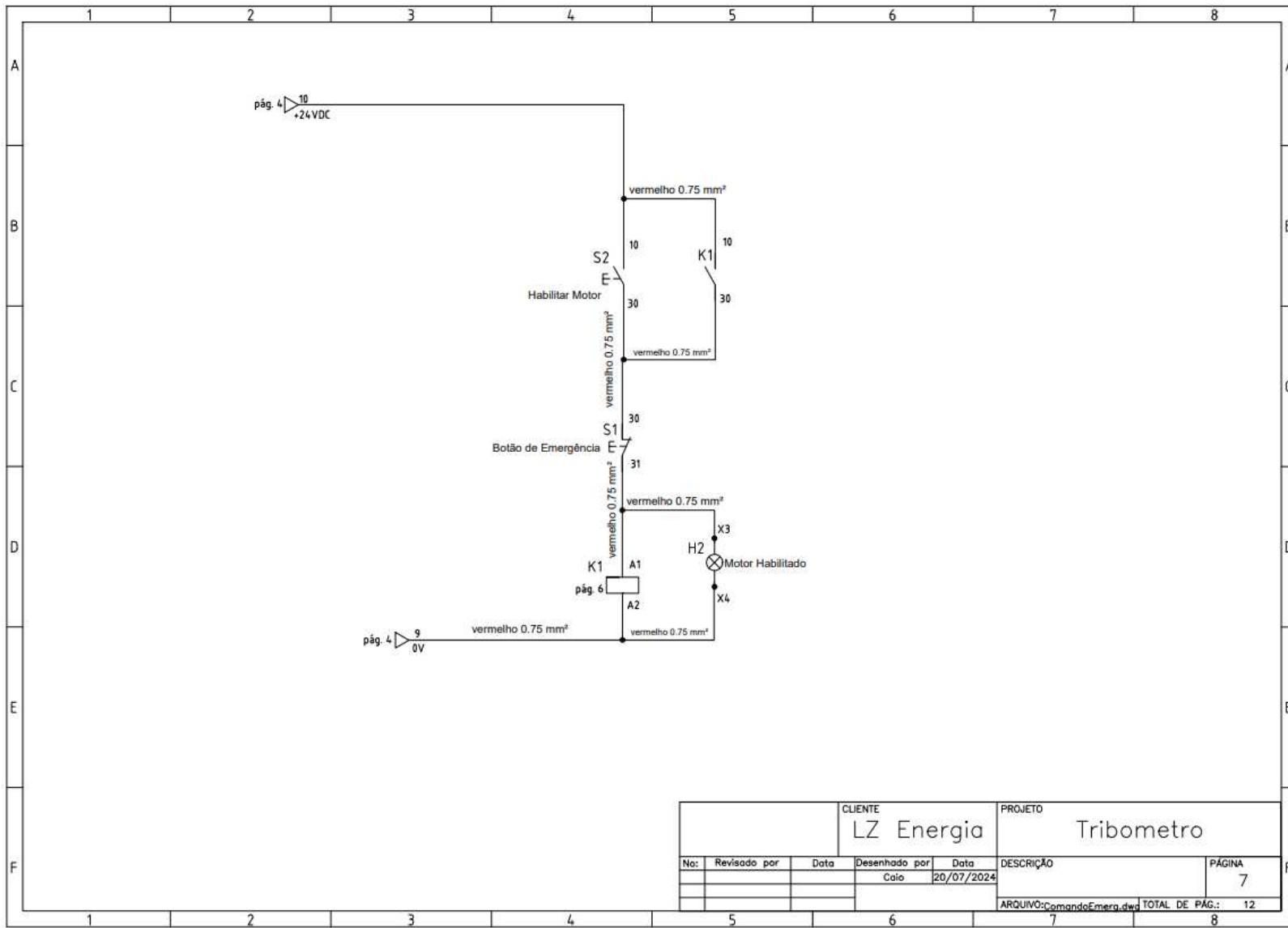
PÁGINA 1
ARQUIVO: Capa.dwg TOTAL DE PÁG.: 12

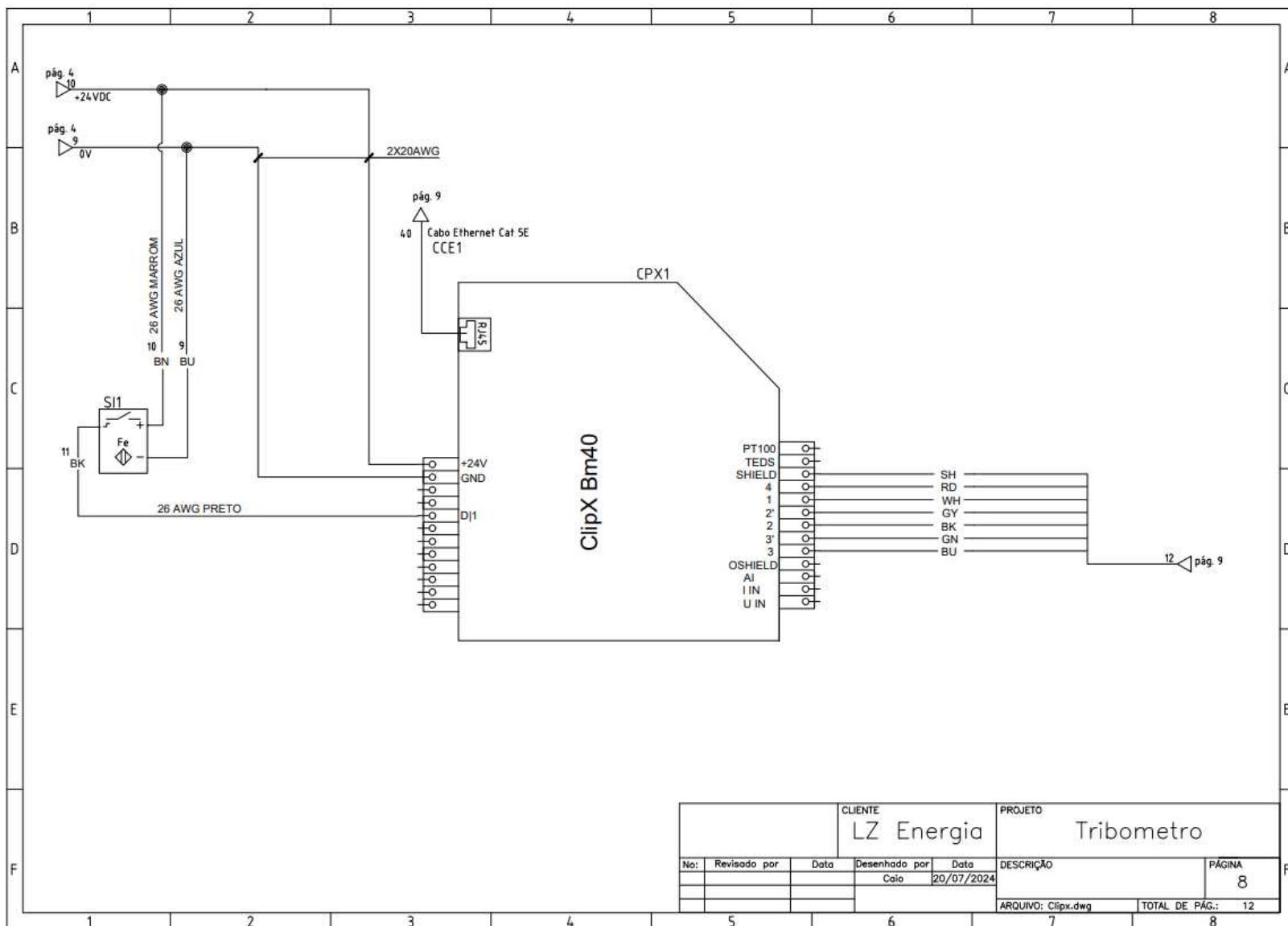


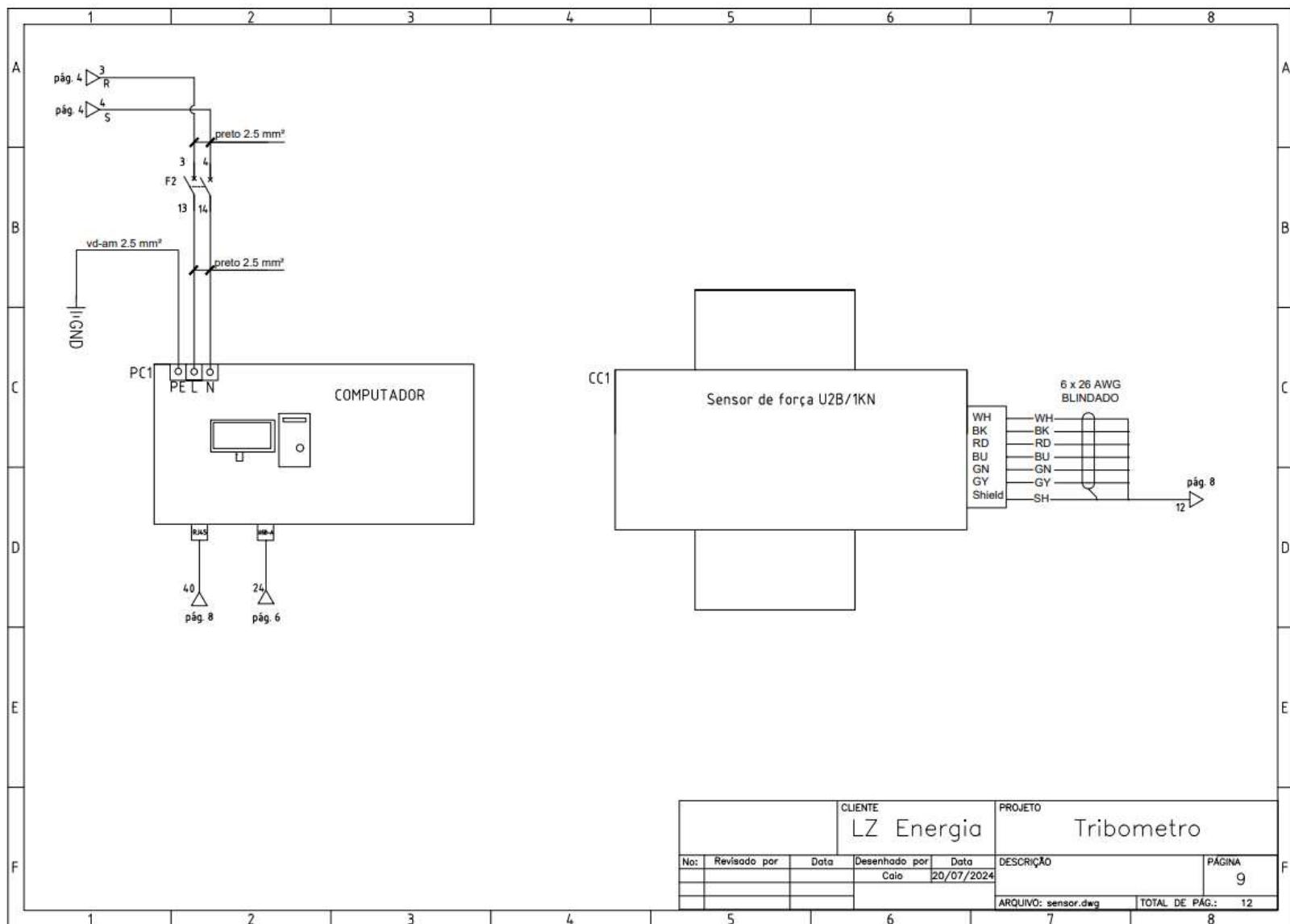


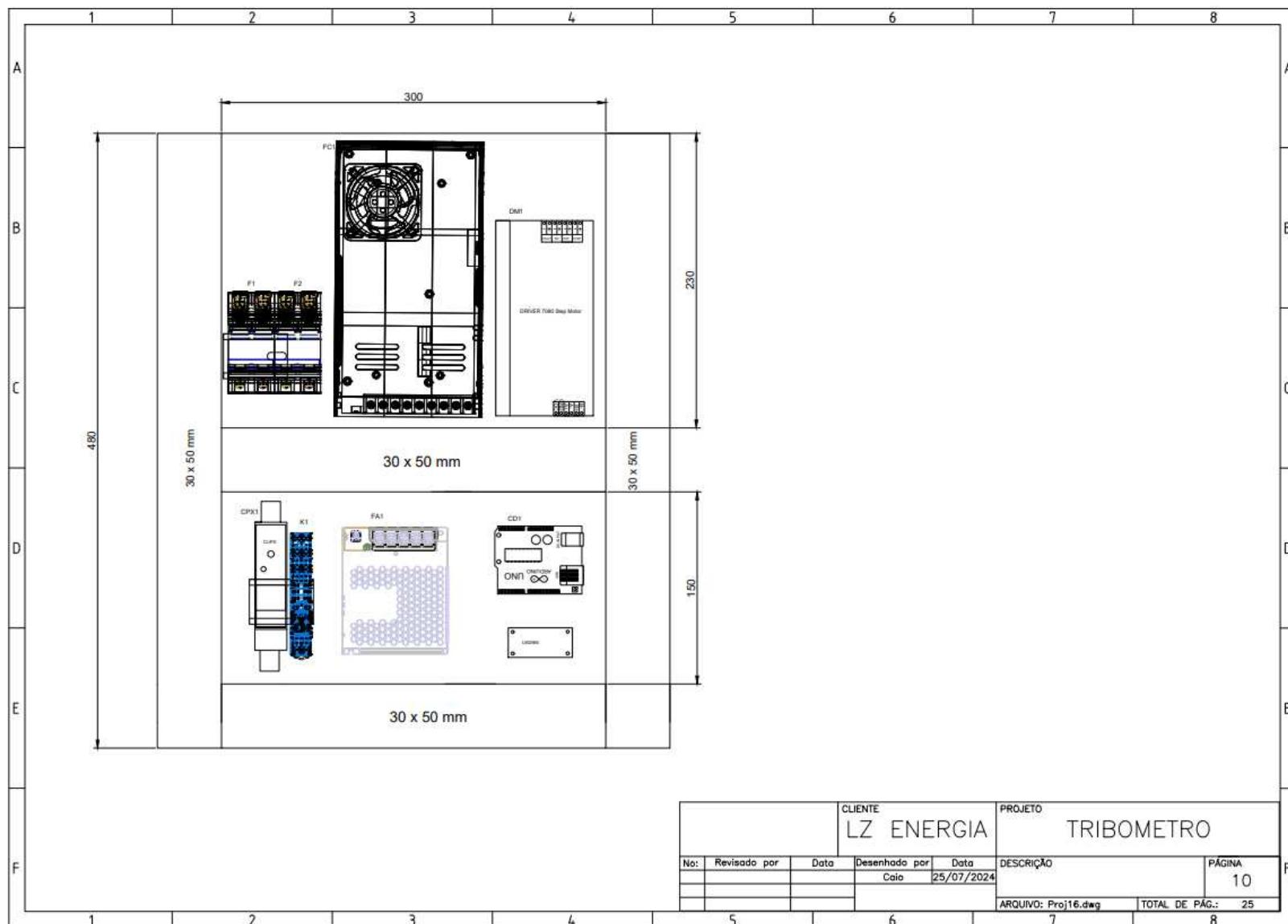


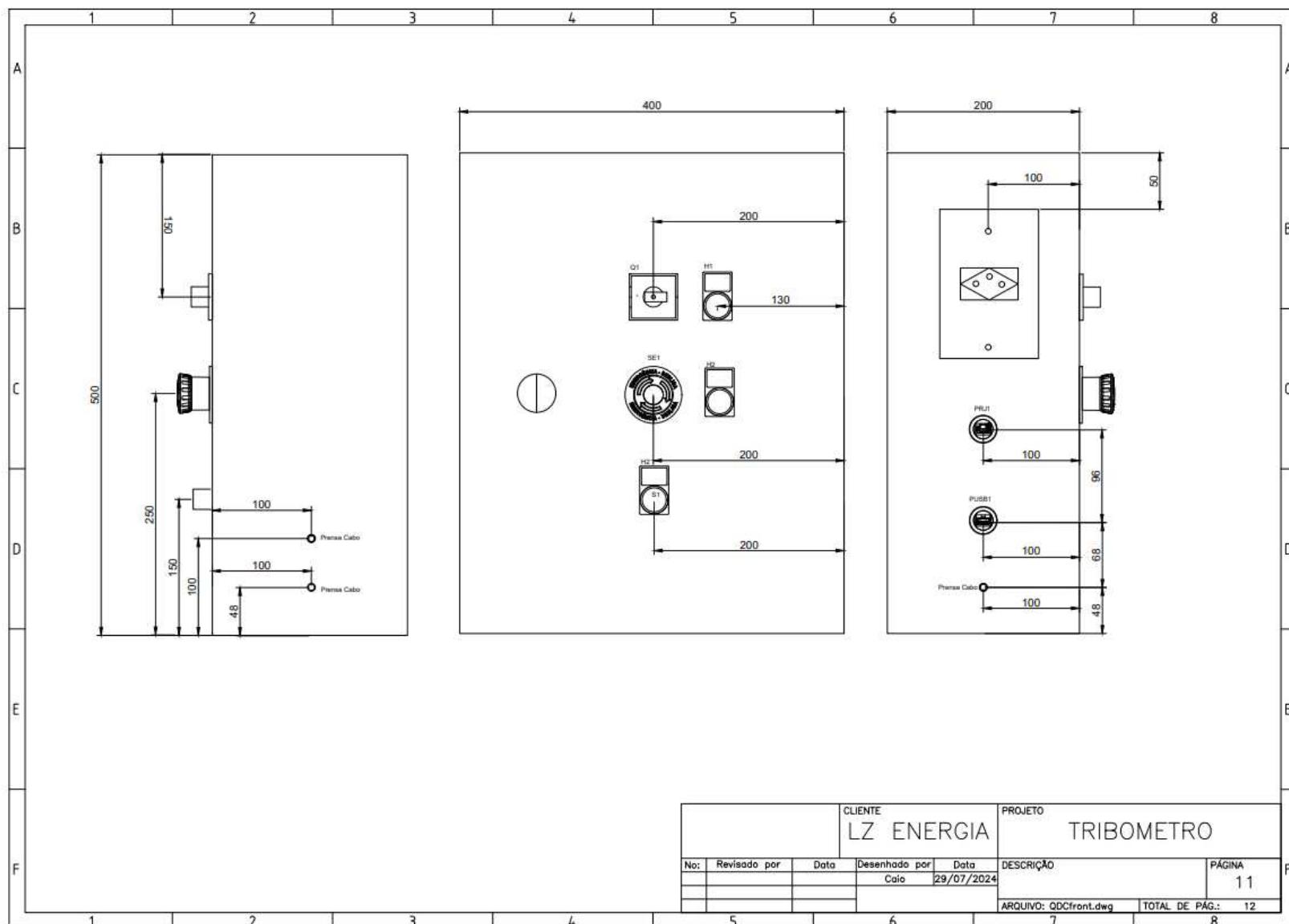












1	2	3	4	5	6	7	8	
A	ITEM	TAG	MATERIAL	CÓDIGO	QUANTIDADE	FABRICANTE		
1	---		3x Prensa cabo PG-7		3			
2	---		Cabo 3X26 AWG Blindado - 5 metros		1			
3	---		Cabo 2X24 AWG - 1 Metro		1			
4	---		Cabo AFT 300V 70G Preto 4:18AWG - 10 metros		1			
5	---		Cabo CAT.5e 24AWGX4P 10 metros azul Claro		1			
6	---		Cabo Flex Flexivel PP 3X4mm ² 3 vias -5 metros		1			
7	---		Cabo Flexivel 750V 0,75mm ² Antichama - Azul - 10 metros		1			
8	---		Cabo Flexivel 750V 2,5mm ² Antichama - Preto - 20 metros		1			
B	9	---	Cabo Flexivel 750V 2,5mm ² Antichama - Verde/Amarelo- 10 metros		1			
10	---		Cabo Flexivel 750V 2,5mm ² Antichama - Vermelho - 10 metros		1			
11	---		Cabo USB 2.0 Blindada A Macho x Mini-USB 30cm		1			
12	---		CABO USB-A MACHO X USB-A MACHO 2.0 - 2 metros		1			
13	---		Conserto total aberto 50x50 pvc 2 metros		1			
14	---		Conector RJ45 Cat. 5E macho	RJ45 Cat. 5E	5	Furakawa		
15	---		Conjunto 1 tomada Energia 3P 10A 4x2		1			
C	16	---	Flange de montagem de 3 posições para blocos no frontal	AF3F	2	Weg		
17	---		Plug 20A 2P+T		1			
18	---		Quadro de Comando 500x400x200		1			
19	---		Trilho DIN em Ago Galvanizado 35 x 7,5 - Barra de 1 Metros		1			
20	CC1		Cellulo de Carga U2B/1KN	1 U2B/1KN	1	HBM		
21	CD1		Arduino		1			
22	CPX1		ClipX Condicionador de Sinais Industrial	ClipX BM40	1	HBM		
23	CRS1		Cabo Microfone Balanceado AF(T) + Alumínio - 2 x 22 AWG	TX30	1	Tiaflex		
24	DM1		Drive Motor de passo Modbus RS485	STR6-RS485	1	Kalatec		
25	F1		Minidisjuntor Bipolar 10A curva C	MDWP-C10-2	1	Weg		
26	F2		Minidisjuntor Bipolar 6A curva C	MDWP-C6-2	1	Weg		
27	FA1		Fonte de alimentação 35W 24VDC 1.5A	PRO PM 35W 24V 1.5A	1	Weldmueller		
D	28	FC1	Fonte Chaveada 48VDC	PSK-LRS-350-48 (7452)	1	Kalatec		
29	H1/H2		Sinalizadores Verde (Ø22 mm) - 24VDC	CEW-SM2-E26 24VCA/VCC	2	Weg		
30	H1/H2/S1		Conjunto de porta placa preta e plaq. transp. 27 x 18 mm	APP30T	3	Weg		
31	K1		Rele Interface 24 Vcc 8 A Leds Verde 2 Reversíveis	495270240050SPA	1	Finder		
32	MP1		Motor de Passo Nema 42-Torque 24Nm	KTC-110HS165	1	Kalatec		
E	33	PRJ1	Porta RJ45 plástica para montagem em furo Ø22mm	XBSRJ45	1	Schneider Electric		
34	PUSB1		Porta USB plástica para montagem em furo Ø22mm	XBSRUSB3	1	Schneider Electric		
35	Q1		Chave Seccionadora Rotativa 2 polos 20A	MSW 20 P2 H	1	Weg		
36	S1		Botão Faceado verde 22mm	CSW-BF2-WH	1	Weg		
37	S1		Blocos de contato - montagem em flange - 1NA	BC10F-CSW	1	Weg		
38	SE1		Blocos de contato - montagem em flange - 1NF	BCM01F-CSW	1	Weg		
39	SE1		Botão Emergência Gira para soltar com gravação circular EMERGÊNCIA	CSW-BESG46 WH	1	Weg		
40	SE1		Placa para botão de emergência	APE2	1	Weg		
41	S1		Sensor Indutivo PHP	NBB1,5-F79-E2-0,5M	1	pepperl-fuchs		
F				CLIENTE LZ ENERGIA	PROJETO TRIBOMETRO			
	No:	Revisado por	Data	Desenhado por	Data	DESCRIÇÃO	PÁGINA	
					Caio	Lista de Materiais	12	
					30/07/2024			
						ARQUIVO: ListaMateriais.dwg	TOTAL DE PÁG.: 12	
	1	2	3	4	5	6	7	8