

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEMEC
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

DOUGLAS DA SILVA CARVALHO

Projeto Elétrico de um Tribômetro para Vidro de Alta Rotação

Uberlândia - MG

2024

DOUGLAS DA SILVA CARVALHO

Projeto Elétrico de um Tribômetro para Vidro de Alta Rotação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecatrônica.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Uberlândia - MG

2024

DOUGLAS DA SILVA CARVALHO

Projeto Elétrico de um Tribômetro para Vidro de Alta Rotação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecatrônica.

Uberlândia, 19 de novembro de 2024

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva – UFU (Orientador)

Prof. Dr. Luciano José Arantes – UFU

MSc. Felipe Chagas – UFU

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha
irmã, pelo apoio incondicional em todos os
momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e à minha família – meu pai, Geraldo Magela; minha mãe, Maria Amélia; e minha irmã, Maria Fernanda – por todo o apoio e gratidão que me foi dado ao longo de toda minha vida, e não somente durante a minha faculdade. Sem eles, não seria nada e nem estaria onde estou.

Em segundo lugar, agradeço a todos os amigos que tive e ainda tenho durante toda minha vida, os da família, os de infância e adolescência e os da faculdade, por estarem ao meu lado durante todos esses anos e pelas amizades que pude fazer, gerando diversos momentos de colaboração, apoio e alegria, essenciais para todas as vivências que encontramos em nosso caminho. Apesar de não citar nomes para não cometer o equívoco de me esquecer de alguém, sou eternamente grato a todos.

Também deixo meu agradecimento ao meu Professor Orientador, Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva, pela oportunidade que me foi oferecida, pelo apoio constante nesta jornada final da minha graduação, por toda inteligência e experiência que me foi compartilhada e por, principalmente, ter confiado em mim para esse Trabalho desde o começo.

Não posso deixar de expressar também minha completa gratidão a todas as pessoas do LTAD – Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste – que estiveram ao meu lado, compartilhando ensinamentos, oferecendo todo o suporte possível e sempre se mostrando presentes em todos os momentos que pude vivenciar. A eles dedico também meu humilde e singelo Trabalho de Conclusão.

E, finalizando, gostaria de agradecer a toda fonte de conhecimento da qual pude absorver os ensinamentos da faculdade, com meus professores, autores e pesquisadores que foram essenciais para o meu desenvolvimento e para este Trabalho.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem a vitória, nem a derrota.”

(Theodore Roosevelt)

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresenta um projeto elétrico desenvolvido para o controle de um tribômetro de vidro de alta rotação, para análises e pesquisas. O objetivo principal do trabalho consiste no estudo e dimensionamento dos elementos eletrônicos que devem estar presentes para o desenvolvimento do projeto elétrico, que é responsável por todo o funcionamento e controle do referido tribômetro. O desenvolvimento consistiu na análise inicial, e posterior definição, de todos os elementos mecânicos necessários para a construção do tribômetro e, deste estudo inicial, foram definidos quais os componentes eletrônicos essenciais para o projeto elétrico. Posteriormente, foi realizado o processo de dimensionamento dos itens, determinando quais os tipos específicos de componentes seriam utilizados e como estariam dispostos entre si, focando nas conexões dos circuitos de potência e de comando, nos elementos de controle e de proteção e os responsáveis pela instrumentação. Subsequente, foi desenvolvido, por meio de software, o projeto elétrico, com todos os itens apresentados e devidamente identificados, juntamente com todas as conexões elétricas necessárias. O resultado obtido do projeto elétrico expõe de forma clara e detalhada todo o funcionamento e controle do tribômetro, e é necessário para a construção do painel elétrico onde todos os componentes eletrônicos são instalados. Ainda, como resultado, o projeto apresenta todo o detalhamento necessário para que futuras adequações ou manutenções no painel elétrico possam ser realizadas de forma clara e precisa. Em conclusão, o desenvolvimento do projeto elétrico é primordial para a definição dos elementos que farão parte do controle do sistema – sistema este, neste caso, o tribômetro – e para a construção do painel elétrico.

Palavras-chave: projeto elétrico; componentes eletrônicos; circuito de potência; circuito de comando; instrumentação; dimensionamento.

ABSTRACT

The present Course Completion Thesis (TCC) presents an electrical project developed for the control of a high-speed glass tribometer, for analysis and research. The main objective of the work consists of studying and sizing the electronic components that must be present for the development of the electrical project, which is responsible for the entire operation and control of the aforementioned tribometer. The development involved an initial analysis and subsequent definition of all mechanical elements necessary for the construction of the tribometer, and based on this initial study, the essential electronic components for the electrical project were defined. Subsequently, the sizing process of items was carried out, determining the specific types of components to be used and how they would be arranged among themselves, focusing on connections of the power and control circuits, as well as the control and protection elements and those responsible for instrumentation. Following this, the electrical project was developed using a software, with all items presented and duly identified, along with all necessary electrical connections. The result obtained from the electrical project clearly and thoroughly exposes the entire operation and control of the tribometer and is necessary for the construction of the electrical panel where all electronic components are installed. Additionally, as a result, the project presents all necessary detailing for future adjustments or maintenance of the electrical panel to be carried out clearly and accurately. In conclusion, the development of the electrical project is essential for defining elements that will be part of the control of the system – the system, in this case, the tribometer – and for the construction of the electrical panel.

Keywords: electrical project; electronic components; power circuit; control circuit; instrumentation; sizing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Exemplo de Vidro Float.	14
Figura 2 –	Exemplo de rebolo com perfil abaulado.	15
Figura 3 –	Tribômetro fabricado para geometria do tipo bloco e anel.	19
Figura 4 –	Tribômetro universal nos tipos pino ou bola sobre disco.	19
Figura 5 –	Diagrama unifilar de parte de um projeto elétrico de uma bancada didática.	22
Figura 6 –	Exemplo de projeto desenvolvido em AutoCAD Electrical.	25
Figura 7 –	Ideia principal do tribômetro proposto.	27
Figura 8 –	Esboço inicial do tribômetro projetado.	29
Figura 9 –	Motor WEG W21 acoplado com um motorreductor WEG Cestari.	32
Figura 10 –	Motor Spindle GDK.	32
Figura 11 –	Inversor WEG CFW500.	34
Figura 12 –	Inversor HNC Electric.	34
Figura 13 –	Fusíveis aR WEG FNH00 e chave seccionadora.	37
Figura 14 –	Curva Tempo x Corrente de fusíveis aR WEG FNH00.	38
Figura 15 –	Minidisjuntores MDW, da linha WEG, utilizados no projeto elétrico.	39
Figura 16 –	Contator WEG CWB utilizado no projeto elétrico.	41
Figura 17 –	Relés de Interface Phoenix Contact utilizados no projeto elétrico.	42
Figura 18 –	CLP Siemens 1215C DC/DC/DC utilizada no projeto elétrico.	44
Figura 19 –	Draw Wire Encoder escolhido para o projeto.	47
Figura 20 –	Tabela 37 referente a capacidade de condução de corrente, em amperes, para bitola de cabos.	50
Figura 21 –	Acionamento inicial do painel elétrico.	51
Figura 22 –	Acionamento secundário por meio do botão RESET.	52
Figura 23 –	Acionamento do motorreductor pelo inversor WEG.	53
Figura 24 –	Acionamento dos motores <i>spindle</i> pelo inversor HNC.	54
Figura 25 –	CLP e suas conexões no projeto elétrico.	55
Figura 26 –	Sensores indutivos utilizados para a emergência do projeto.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Características principais do motor de indução, motorreductor e motor <i>spindle</i> .	31
Tabela 2 –	Características dos inversores utilizados no projeto elétrico.	35
Tabela 3 –	Dados mecânicos e elétricos do <i>encoder</i> do projeto.	36
Tabela 4 –	Dados característicos dos sensores indutivos do projeto elétrico.	46
Tabela 5 –	Funções dos demais componentes de sensoramento do projeto.	48

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 –	Relação existente entre frequência e velocidade síncrona de um motor.	33
Equação 2 –	Relação entre velocidade linear e velocidade angular.	47
Equação 3 –	Cálculo do volume de ar necessário para resfriamento interno do painel elétrico.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abravidro	Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
CLP	Controle Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Considerações Iniciais	13
1.2	Justificativa	16
2	OBJETIVOS.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	Tribômetro	18
3.2	Retificação	19
3.3	Projeto Elétrico	20
3.4	Normas NR-10, NR-12 e NBR-5410	22
3.5	CAD.....	23
4	METODOLOGIA.....	26
4.1	Tribômetro para Vidro de Alta Rotação	26
4.2	Aplicação das normas NR-10 e NR-12.....	28
4.3	Componentes e Dispositivos do Projeto Elétrico	30
4.3.1	Motorreductor e motores <i>spindle</i>	30
4.3.2	Inversores de Frequência	31
4.3.3	<i>Encoder</i> no motor	35
4.3.4	Dispositivos de Proteção.....	36
4.3.5	Contatores e Relés	40
4.3.6	Fonte de Alimentação	42
4.3.7	CLP	43
4.3.8	Instrumentação (Sensoriamento)	45
4.4	Dimensionamento	48
5	RESULTADOS	53
5.1	Energização do Painel	53
5.2	Acionamento Secundário do Painel	54
5.3	Conexões entre os Inversores e os Motores	55
5.4	CLP	57
5.5	Sensores Indutivos para Emergência.....	58
5.6	Discussão.....	59
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	60
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Destacado como um dos materiais mais utilizados atualmente e durante boa parte da história da humanidade, o vidro não possui uma origem certa devido a uma escassez e imprecisão de dados e registros. Alguns historiadores apontam que o vidro foi “descoberto” (não se trata propriamente de uma invenção humana) por povos fenícios comerciantes que, ao acenderem uma fogueira em uma praia utilizando blocos de salitre (compostos por nitrato de potássio), produziram vidro por meio da união entre areia, nitrato de potássio e o calor do fogo (REVISTA VIDRO IMPRESSO, 2014).

Como mencionado anteriormente, a origem exata desse material não é precisa, tendo historiadores encontrado também vestígios de vidro em necrópoles egípcias datadas em 4000 a.C., aproximadamente. Já os romanos, durante o século I a.C., começaram a desenvolver técnicas com a utilização de sopros e moldes, o que possibilitou o começo da fabricação em série do vidro. Anos depois, com o avanço da Revolução Industrial, a produção desse material começou a se tornar uma arte, quase “uma fórmula secreta”, o que permitiu, com o passar do tempo, a criação de diversos tipos de vidros, compostos por materiais diferentes, tornando-se até mesmo um estilo de arte na modernidade (CEBRACE). A Figura 1 a seguir ilustra um tipo de vidro Float, caracterizado por ser planos, uniformes e quase sem nenhuma distorção óptica.

Figura 1 - Exemplo de vidro Float.



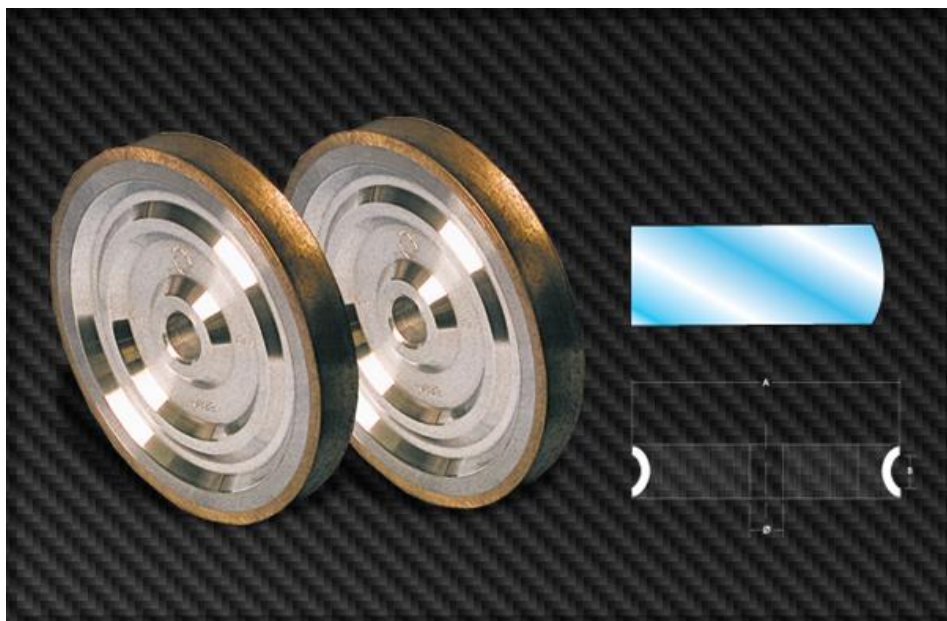
Fonte: <https://www.multipainel.com.br/vidro-float-o-que-e/>. Acesso em: 26 out. 2024.

Já no Brasil, o mercado de vidro atualmente se apresenta como um ótimo negócio e movimenta uma quantia significativa da economia. De acordo com dados da Abravidro, referentes ao exercício de 2023 e coletados entre janeiro e abril de 2024, a indústria nacional de base na produção de vidros planos contabilizou uma quantidade de 7.350 t/dia, segundo declarado pelas principais usinas produtoras desse material, uma produção essa que ultrapassa mais de 2 mi/anual.

É notável que a importância do vidro na atual indústria é grandiosa, o que faz com que cada vez mais tecnologias sejam desenvolvidas para melhorar a qualidade e dinamizar a produção. Uma dessas tais tecnologias referem-se aos rebolos.

O rebolo é uma ferramenta abrasiva, composta de vários grãos (a composição dos grãos varia de acordo com o tipo de rebolo e seu uso) que possui a função de retirar matéria de algum outro material que esteja em contato. Por sua característica de ser composto por vários grãos de pequenas dimensões, os rebolos fazem uma redução de material em quantidades muito pequenas, o que permite uma retificação bem precisa, com tolerâncias bem reduzidas. Neste ponto, vale destacar que a retificação se trata de um processo de fabricação composta por remoção de material. Tal manufatura torna-se atrativa quando há a necessidade de precisão dimensional e geométrica, além de excepcional acabamento superficial. A Figura 2 a seguir apresenta um tipo de rebolo que é testado no projeto desenvolvido.

Figura 2 - Exemplo de rebolo com perfil abaulado.



Fonte: <https://diamanfer.com.br/rebolos-perifericos/perfil-abaulado/>. Acesso em: 26 out. 2024.

Além disso, o funcionamento de um rebolo é caracterizado pela alta rotação entre este componente e o outro material a ser retificado, que, em contato, começa a ser desgastado de forma minúscula e precisa.

Em particular, o presente trabalho trata-se de um projeto de um tribômetro, com uso de rebolos para desgaste de vidros circulares; mais especificamente o projeto elétrico deste tal maquinário. O problema apresentado para o desenvolvimento deste trabalho foi a concepção e criação de um mecanismo capaz de utilizar rebolos de diversos materiais distintos para retificação de uma chapa de vidro de formato circular, com o objetivo final de testar e analisar tais usos de rebolos distintos e, assim, obter resultados de que possam definir qual a melhor peça a ser utilizado, a depender da necessidade.

No caso, o mecanismo trata-se de um tribômetro, responsável pela medição de grandezas tribológicas, como coeficiente de atrito e desgaste, lubrificação, dentre outras, resultados da tribologia. “A tribologia é a de aplicar análises operacionais em problemas de grande importância econômica” (MARJANOVIC, TADIC, IVKOVIC E MITROVIC, 2006).

1.2 Justificativa

Tendo em vista a necessidade de um projeto de um tribômetro para análise de rebolos, é necessário o desenvolvimento de um projeto elétrico, responsável por toda a energização, controle e funcionamento de tal maquinário.

E para o referido desenvolvimento, são trabalhados conceitos difundidos ao longo de toda a graduação do curso de Engenharia Mecatrônica, como eletrônica básica, eletrônica de potência, controle e automação, entre outros, o que faz do projeto uma experiência abrangente e engrandecedora.

Outro ponto que justifica o presente trabalho é o fato de que um tribômetro corresponde a uma aplicação única devido a cada necessidade de análise tribológica. Assim sendo, cada maquinário desse tipo é próprio e único, necessitando assim de um projeto de mesmas características.

Além disso, o desenvolvimento do projeto elétrico, futuramente, será utilizado também para outras melhorias e funcionalidades da máquina desenvolvida, operando no mesmo tipo de cenário, porém com outras aplicações.

Por fim, todo o presente trabalho contribui para o avanço tecnológico e pesquisas nas mais diversas áreas, principalmente na área de materiais, e é esperado que, assim, como mencionado, futuras pesquisas e avanços sejam constantemente alcançados e aperfeiçoados, buscando contribuir com o Brasil e com o futuro.

2 OBJETIVOS

Este trabalho de conclusão de curso tem por objetivo o desenvolvimento de um projeto elétrico, capaz de energizar, controlar e comandar todo um maquinário desenvolvido para análises tribológicas de rebolos. Considerando que tais análises são únicas, pois dependem do tipo de material que será testado e da situação em que ocorrerão os testes, é necessário um projeto específico, diferente do que se pode ser encontrado no mercado.

Assim, inicialmente, é feito a definição do que será atendido no projeto, o que no caso corresponde ao desenvolvimento de um tribômetro para estudo do comportamento de diferentes tipos de rebolos na retificação de vidros.

Em seguida, tendo o esboço inicial claro do que deverá ser feito, é então realizada uma revisão detalhada de equipamentos semelhantes e metodologias que abrangem a teoria necessária para o desdobramento do projeto. Neste ponto, são coletadas da revisão as vantagens, as limitações e as oportunidades que podem ser consideradas e que, assim, são úteis para serem aplicadas.

Após, são então desenvolvidos os projetos mecânicos e elétricos, sendo o propósito deste trabalho o projeto elétrico. Neste ponto, conforme o objetivo vai sendo ampliado e concebido, diversas melhorias e mudanças são feitas, a fim de adaptar as atuais condições e possíveis problemas para, tão logo, obter o resultado, o projeto elétrico.

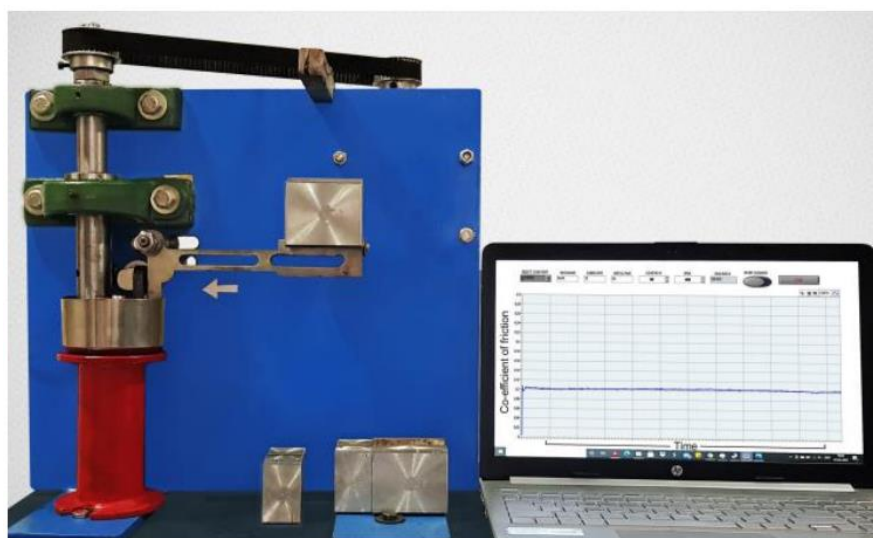
Também, como parte do objetivo, este trabalho serve de base e pode ser utilizado como uma metodologia para futuras realizações que se assemelhem ao que será apresentado. Além do mais, diversas melhorias no projeto podem ser executadas no amanhã, frutos de diversas pesquisas que podem ser realizadas e evoluções que podem ser implementadas, contribuindo cada vez mais para o desenvolvimento de tecnologias.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tribômetro

Um relevante instrumento de análises de materiais, como por exemplo atrito e desgaste, lubrificação e outros, é conhecido como tribômetro. Este equipamento avalia a resistência ao movimento entre superfícies em contato, medindo a força de atrito e o desgaste ao longo do ensaio. Como também mencionado anteriormente, um tribômetro é projetado de diferentes maneiras, a depender do que se deseja estudar e o tipo de material a se avaliar. Alguns trabalhos (SHAH, SHUKLA E PATEL, 2021; KALELI, 2016) mostram avaliações em diferentes tipos de estruturas, porém com um mesmo objetivo: pesquisa tribológica. As Figura 3 e Figura 4 a seguir ilustram esses trabalhos, respectivamente.

Figura 3 - Tribômetro fabricado para geometria do tipo bloco e anel.



Fonte: Shah, Shukla e Patel (2021).

Figura 4 - Tribômetro universal nos tipos pino ou bola sobre disco.



Fonte: Kaleli et al (2016).

Além disso, é possível quantificar o material perdido durante os ensaios por conta do desgaste, com a medição do volume ou massa perdidos dos insumos testados, colaborando assim com a durabilidade e vida útil de tais insumos.

Em relação ao contexto de avanços em investigações e estudos, é notável o essencial aprimoramento de tribômetros, cada vez mais relevantes dentro do setor industrial. Diversos segmentos da indústria transformam-se em fontes de pesquisas, como apontamentos (SUDHAKAR, JITHENDER E MISHRA, 2020) que destacam a importância da tribologia na indústria alimentícia, como uma estratégia para otimização de processos e controle de qualidade.

Ainda, a tribologia e os tribômetros estão sendo empregados para análises e teste de materiais que se tornam cada vez mais frequentes em sua aplicação, como cerâmicas, metais e polímeros. Adicionalmente, os tribômetros têm contribuído em pesquisas de materiais futuros e tecnológicos, como nanofluidos.

3.2 Retificação

A retificação, como citado anteriormente, é um processo de usinagem por abrasão de alto nível, caracterizado pela remoção de material em quantidades pequenas e precisas, excepcional acabamento superficial com tolerâncias reduzidas. A ferramenta para esse tipo de atividade é conhecida como rebolo, também descrita anteriormente, e o todo o processo sofre influência de fatores como velocidade de corte, tipos de lubrificantes, velocidade de avanço e de rotação dos rebolos, dentre outros fatores.

Esse método de usinagem apresenta diversas frentes de pesquisa relacionadas aos diferentes parâmetros de influência, e ramos de pesquisas relacionadas aos materiais que compõem os rebolos. Como mencionado em certos trabalhos (WEBSTER E TRICARD, 2004), esses componentes são formados por grãos abrasivos que, na prática, exercem a função de retificação, sendo que características como precisão de corte, taxa de remoção de material e acabamento superficial são fortemente definidos por tais grãos. Estes, por sua vez, são compostos por materiais como diamante ou quartzo, ou sintéticos como óxido de alumínio (Al_2O_3) e carbetto de silício (SiC).

Outro ponto importante é o processo de dressagem, caracterizado como responsável pela topografia dos rebolos. Em termos práticos, um dressador remodela a superfície de m rebolo, de modo a restaurar sua forma original e sua habilidade de corte. De acordo com alguns trabalhos de pesquisa (MARINELLI FILHO, 1997), a técnica de dressagem define, de forma

convicta, as características de um rebolo, como seu tempo de vida útil, sua geometria e superfície (consequentemente, sua qualidade como peça), dentre outros fatores. Ainda, como a retificação e a dressagem são processos complementares, diversas linhas de pesquisas buscam entender a importância de tais (SOUZA, 2009).

Um fator que deve ser destacado – e que se faz importante para o entendimento do projeto do tribômetro – é a diferença entre um tribômetro (ou uma análise tribológica) e uma retificadora (ou um processo de retificação).

O projeto do tribômetro que foi desenvolvido se utiliza das características de um processo de retificação para que, posteriormente, possa ser realizada uma análise tribológica. O processo de desgaste do vidro pelos rebolos ocorre por meio de uma retificação, com a extração contínua e vagarosa de material do vidro. Porém, o interesse do projeto é na análise material dos rebolos pós ensaio.

Assim, como o foco principal do projeto do tribômetro são os rebolos e seu estado material ao invés do vidro (que é retificado) e de seu estado material, conclui-se que o projeto se trata de um tribômetro, e não de uma retificadora. A retificação é apenas uma atividade de suporte para o bom funcionamento do tribômetro.

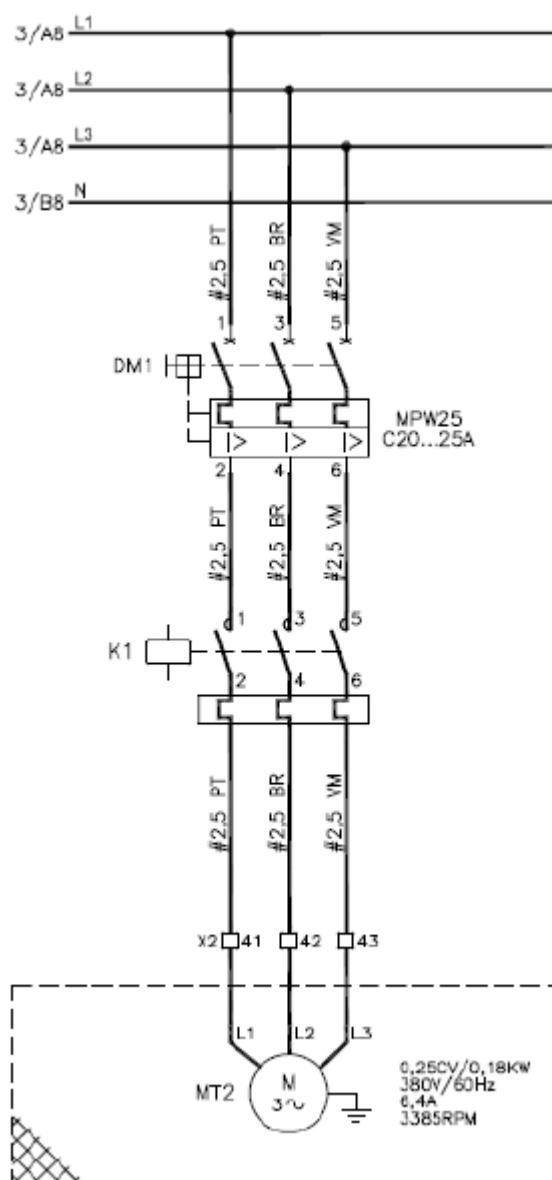
3.3 Projeto Elétrico

Toda residência, indústria ou um maquinário – a exemplo deste trabalho – requer a formalização do sistema elétrico que irá integrar determinada proposta. Neste cenário, o projeto elétrico é um documento que descreve as normas, cálculos e representações elétricas que deverão fazer parte de determinado projeto – seja residencial, industrial ou maquinário.

Nesse documento devem constar as especificações dos componentes que serão empregados, como também todas as conexões elétricas para acionamento e controle do sistema, de modo que fique claro para o profissional encarregado como deverá ser montado o referido projeto elétrico.

Outra parte fundamental presente nesses documentos são os diagramas unifilares, que apresentam um esquema visual dos componentes e as suas ligações exatas, com todas as devidas especificações de cabos, proteções, acionadores entre outros. Um exemplo de trabalho (ROVEA, JANUÁRIO E HOFFMAN, 2016) mostra um exemplo de projeto elétrico para implementação de uma bancada de acionamento e controle de máquinas elétricas para ensino, como mostrado na Figura 5 a seguir. Esse exemplo e muitos outros atentam para o fato de que qualquer ideia, simples ou complexa, necessita de projeto elétrico adequado.

Figura 5 - Diagrama unifilar de parte de um projeto elétrico de uma bancada didática.



Fonte: Rovea, Januário e Hoffman (2016).

Compreendendo a importância de um projeto elétrico, alguns passos são essenciais de serem realizados para garantir um bom resultado. Primeiro (e sempre o mais importante) é ter um entendimento da problemática envolvida, como por exemplo, o projeto de um maquinário, onde são levantados também todas as necessidades de componentes e equipamentos eletrônicos. Posterior, temos os esboços iniciais, onde a ideia principal é apresentada para, então, serem realizadas as melhorias e alterações necessárias.

Além do mais, algumas vantagens são destacadas e amplificam a de um projeto elétrico, como redução de custos, segurança e eficácia, facilidade de futuras manutenções caso necessário, menor risco de acidentes, garantia de qualidade, dentre outros.

3.4 Normas NR-10, NR-12 e NBR-5410

Para um projeto elétrico, a depender do real objetivo, algumas normas são essenciais de serem aplicadas, servindo como um guia com todo o embasamento prático que deve ser aplicado. Porém, algumas possuem uma importância maior para o presente projeto elétrico deste trabalho, como o caso das normas NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) (1978), NR-12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos) (1978) e a norma NBR-5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão) (2004), da ABNT.

A norma NR-10 (1978) é uma norma reguladora que estabelece os requisitos mínimos para segurança e trabalho de profissionais em ambientes de instalações e serviços com eletricidade. Abrange pontos importantes como medidas seguras de trabalho, medidas de proteção coletiva e de proteção individual, segurança em construção, montagem, operação e manutenção; procedimentos de operação (POP), medidas de emergência dentre outras.

Já a norma NR-12 (1978) é uma norma reguladora do Ministério do Trabalho e Emprego, de caráter obrigatório, que estabelece os requisitos e condições mínimas para garantir a segurança no uso de máquinas e equipamentos no ambiente de trabalho, prevendo acidentes e assegurando a integridade dos trabalhadores.

Esta norma abrange uma série de diretrizes sobre um projeto, a fabricação, a instalação, a operação, a manutenção e a inspeção de máquinas e equipamentos, sendo o foco principal a conformidade desses pontos com os padrões de segurança, evitando os riscos diversos (mecânicos, elétricos, térmicos, de movimentação e outros) que possam causar danos.

Alguns dos pontos abordados dizem respeito a segurança no projeto e fabricação, instalação e manutenção, requisitos de proteção, treinamento e capacitação, sinalização e alertas, EPIs, inspeções e avaliações periódicas, dentre outros. No caso deste presente trabalho, esta norma é um guia de como proceder com o desenvolvimento do projeto elétrico, atentando-se para questões de segurança elétrica abordadas na norma.

Em complemento, outra norma essencial para o desenvolvimento deste trabalho é a norma NBR 5410 (2004). Esta estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento da instalação e a conservação de bens. No caso, a norma aplica-se também aos circuitos elétricos alimentados sob 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 (condição que se aplica ao projeto elétrico deste trabalho).

Alguns outros pontos da norma incluem dimensionamento dos circuitos elétricos e instalação de dispositivos de proteção; segurança, como por exemplo proteção à choques elétricos, isolamento adequada de condutores, dispositivos de proteção (disjuntores, fusíveis) dentre outros; dimensionamento e capacidade dos circuitos, entre outras coisas mais.

Assim, essas duas normas mencionadas anteriormente, além de referência para toda a concepção do projeto elétrico, também garantem a segurança de instalações e máquinas, proporcionam confiabilidade e bom desempenho, e estabelecem padrões técnicos de execução, manutenção, adequação de sistemas elétricos, durabilidade e eficiência.

Alguns trabalhos (SANTOS, SAMPAIO, OLIVEIRA, HONORATO, OLIVEIRA, PRADO, GIROTO, GOMES E VERALDO JUNIOR, 2021) exemplificam a importância da segurança do trabalho e análise sistemática de processos como forma de prevenção de acidentes. Outros apresentam a importância de aplicar normas principalmente como um quesito de validação final e garantia (LIMA e LAGE, 2019), o que fortalece a necessidade de aplicação das normas nos mais diferentes cenários possíveis.

3.5 CAD

Considerando a modernidade e os diversos avanços tecnológicos existentes, o CAD se torna uma ferramenta indispensável para diversas aplicações na indústria, nas universidades e no cotidiano em geral.

Computer-Aided Design, ou Desenho Assistido por Computador, é uma tecnologia para desenhos, modelagem e elaboração de projetos em diversas áreas da engenharia e arquitetura, com o auxílio de softwares especializados. Um CAD permite a criação de representações de objetos em formatos tridimensionais (3D) ou bidimensionais (2D), a depender da aplicabilidade.

O surgimento desse recurso possui seus primórdios no final da década de 50 e início da década de 60, com o desenvolvimento de computadores digitais, resultados de pesquisas dos trabalhos de cientistas como Alan Turing. Com os avanços tecnológicos, a computação digital tornou possível o uso de tecnologias para fins gráficos, o que inicialmente possuía um uso exclusivo de militares e indústrias. Porém, em 1961, Ivan Sutherland criou o que é amplamente considerado o primeiro software de CAD, o programa chamado Sketchpad.

Desenvolvido em seu trabalho de pós-graduação no *Massachusetts Institute of Technology*, o MIT, esse programa consistia no uso de uma caneta de luz para criação de

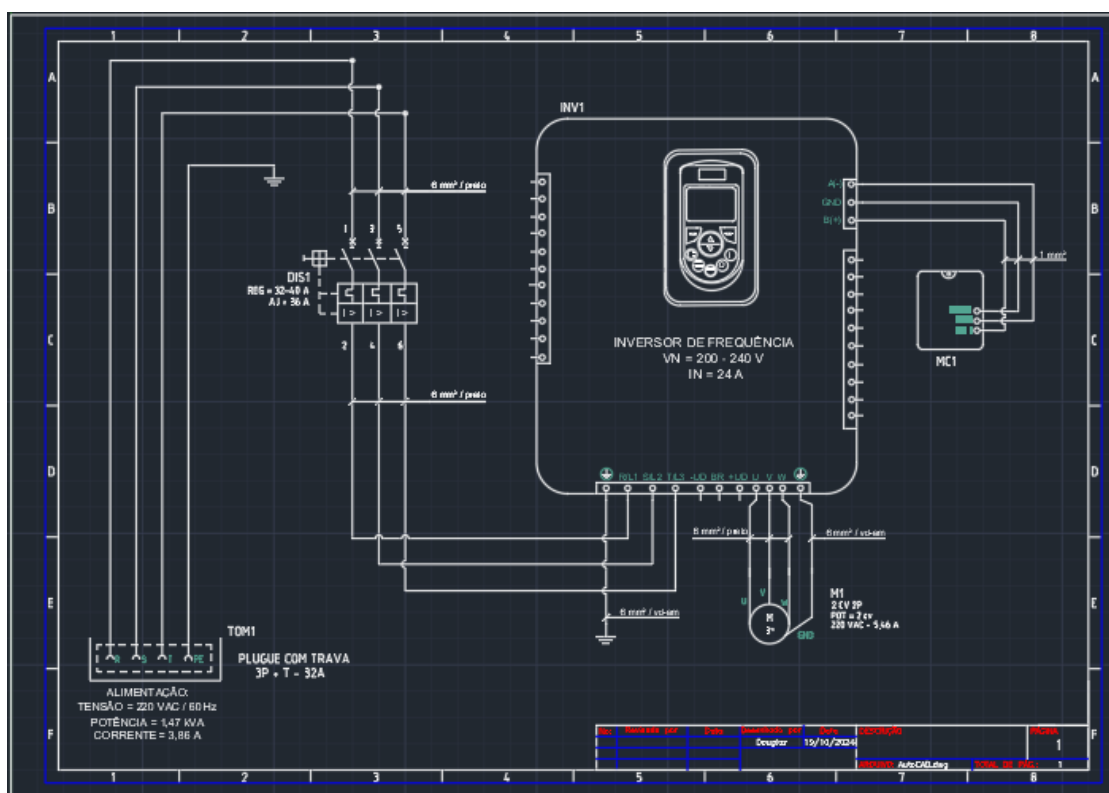
imagens na tela de um computador gráfico, o que marcou o início de um novo ciclo de tecnologias e evoluções.

Com o passar dos anos, vários outros programas e softwares foram sendo desenvolvidos e aprimorados. Certos artigos (AMARAL E PINA FILHO, 2010) apresentam uma dissertação sobre a evolução do CAD, com o surgimento de novos tipos de softwares e suas diversas aplicações em projetos de engenharia. Alguns desses novos tipos são o CAD/CAM (Desenho e Fabricação Assistidos por Computador), CATIA (*Computer-Aided Three Dimensional Interactive Application*), dentre outros, possibilitando o surgimento de diversos outros softwares atuais.

Dentre os diversos recursos apresentados anteriormente, possui destaque também o AutoCAD Electrical, da empresa Autodesk, utilizado para a concepção do projeto elétrico apresentado neste trabalho.

A Figura 6 a seguir exemplifica um tipo de CAD/CAE (Desenho e Engenharia assistido por Computador). Esse software apresenta uma série de recursos para a criação de um projeto ou esquema elétrico.

Figura 6 - Exemplo de projeto desenvolvido no AutoCAD Electrical.



Ainda, com os recursos que são disponíveis, é possível realizar a trabalho de um projeto elétrico com o uso de imagens, componentes pré-disponibilizados no software, criação de novos itens, conexões e identificação necessária, permitindo também a impressão de todo o material. Pela versatilidade de funções, torna-se uma ferramenta essencial de aplicação em diversos projetos de engenharia e uma auxiliadora com desenhos e projeções.

Alguns trabalhos de pesquisa também mostram a importância dos CADs na educação e no aprendizado de softwares como SolidWorks, Chief Architect X12 e AutoCAD Electrical (para projetos de mecânica, construção e elétrica, respectivamente) auxilia na formação de profissionais mais capacitados para o mercado de trabalho, com a inserção do estudo desses programas dentro das universidades (BAWA, RABIU E MOHAMMED, 2022).

Todos os pontos apresentados anteriormente em relação a CAD (em especial para esse projeto o AutoCAD Electrical) evidenciam de maneira clara e objetiva a importância do uso de tais tecnologias em projetos nas mais diversas áreas.

4 METODOLOGIA

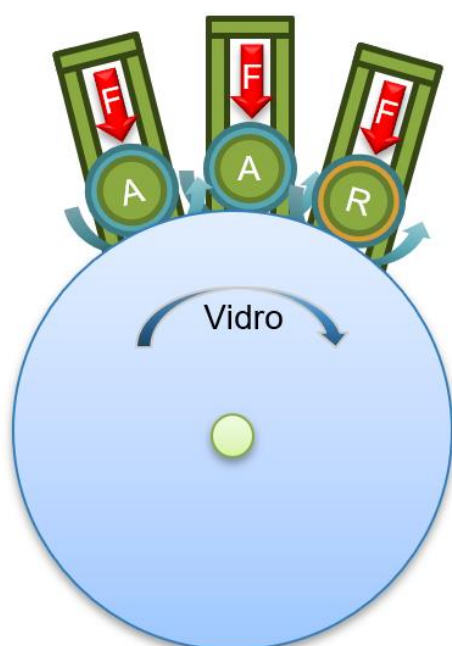
A metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto elétrico deste trabalho consiste em um amplo detalhamento e descrição que envolvem diversas etapas, começando pela concepção do maquinário do projeto elétrico, a aplicação das normas NR-12, o detalhamento teórico dos componentes eletrônicos e elétricos utilizados e os métodos para dimensionamento dos principais itens, com o auxílio da norma NBR-5410.

4.1 Tribômetro para Vidro de Alta Rotação

O primeiro ponto desta metodologia destaca a máquina projetada que será acionada e controlada, apontando o objetivo principal do projeto elétrico. Tal equipamento é um tribômetro para vidro de alta rotação, com o objetivo de analisar as propriedades tribológicas (como atrito e desgaste) dos rebolos que farão a retificação de tais vidros e, assim, indicando aqueles que são melhores para determinadas aplicações.

A Figura 7 a seguir ilustra a concepção do tribômetro, que envolve o uso de 3 rebolos distintos, 2 de perfis abaulados para o desgaste arredondado, e outro de perfil reto para manter a circularidade do vidro constante, permitindo que o teste ocorra até um diâmetro mínimo do vidro.

Figura 7 - Ideia principal do tribômetro proposto.



Porém, para um processo de desgaste satisfatório para o maquinário e, posteriormente, as análises necessárias, é preciso que os componentes anteriormente mencionados estejam com alta rotação e em contato direto, permitindo uma força de atrito entre eles. Para tal necessidade, foi estipulado então o uso de motores de alta rotação, os motores *spindles*, e um motorreductor para permitir a rotação do vidro.

Os motores *spindles*, utilizados principalmente em máquinas CNC (devido as suas características que serão apresentadas a seguir), possuem como atributos alta precisão e estabilidade, devido a sua forma robusta; alta velocidade de rotação, o que permite cortes de materiais com precisão em máquinas CNC e é a principal característica para a escolha deste item no tribômetro; elevada potência e arrefecimento, pois como geram uma quantidade significativa de calor, necessitam de um sistema de refrigeração líquida ou a ar, evitando assim superaquecimento. Com a necessidade de rotação dos rebolos a uma velocidade de 5000 rpm, constante, os motores *spindle* acabaram se mostrando uma ótima solução.

Já o motorreductor caracteriza-se pela combinação de um motor elétrico com um sistema de engrenagens redutoras de velocidade, projetado para reduzir a velocidade de rotação com o aumento do torque. A escolha deste item para o referido tribômetro se dá pelo fato de que, durante os ensaios, espera uma velocidade linear constante do vidro de 10 m/s enquanto o mesmo é desgastado pelos rebolos. Assim, para se manter tal velocidade linear, é necessário um aumento constante da velocidade angular do vidro, considerando que haverá uma diminuição de seu raio com o desgaste.

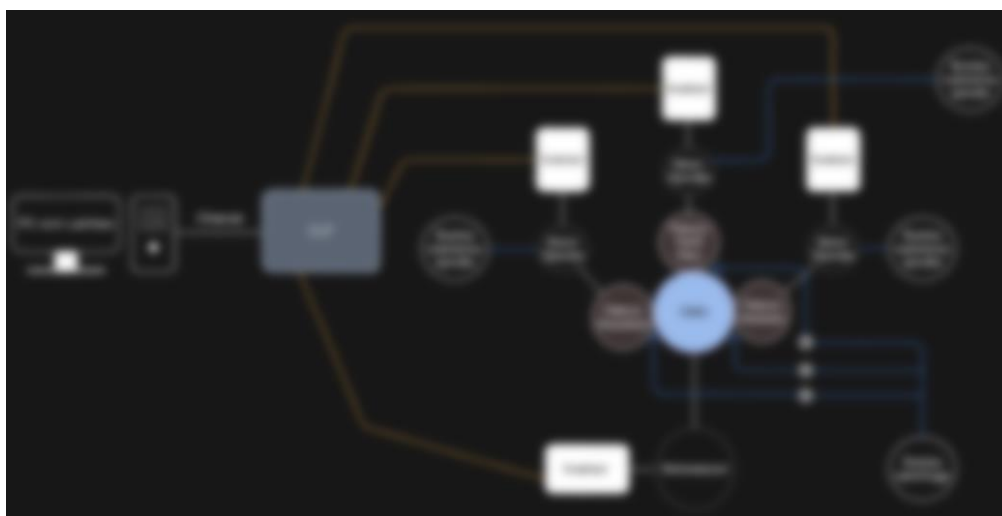
Assim, foi definido a necessidade de um motorreductor para o projeto com a capacidade de rotacionar o vidro, com um aumento constante de sua velocidade angular; bem como o uso de motores *spindles* para a uma alta rotação dos rebolos. Além disso, para o acionamento dos equipamentos mencionados, é necessário o uso de inversores de frequência (os componentes serão apresentados mais adiante neste documento) que possam fazer um controle constante das velocidades.

Adicionalmente, foi inserido também no projeto bombas responsáveis pelo bombeamento de água em dois diferentes circuitos hidráulicos do tribômetro. O primeiro é um circuito fechado que permite a circulação de água entre um reservatório e os motores *spindles*, pois estes necessitam de um sistema de refrigeração, como mencionado anteriormente. Logo, para cada um desses motores, foi alocado uma bomba submersa inserida dentro de um reservatório. Já o segundo tipo é de uma bomba centrífuga, responsável por bombear água no circuito fechado que realiza a lubrificação dos pontos de contato entre os rebolos e o vidro. Esses dois circuitos, juntos, representam o projeto hidráulico do tribômetro.

Por fim, é necessário também o uso de CLP (Controle Lógico Programável), que funciona como o “cérebro” da máquina; e de um programa supervisor (ou o programa de interface do usuário), desenvolvido em LabView e instalado em um computador, para que o operador do maquinário possa realizar as atividades necessárias.

Deste modo, após diversas argumentações e análises, definiu-se o esboço do tribômetro, apresentado na Figura 8 a seguir. É por meio deste esboço que todo o projeto mecânico e elétrico, este último o tema deste trabalho, foi então elaborado.

Figura 8 - Esboço inicial do tribômetro projetado.



4.2 Aplicação das normas NR-10 e NR-12

Para a execução do projeto elétrico, foi feita a aplicação das normas NR-10, NR-12 e NBR-5410, como forma de um guia e, principalmente, para manter o maquinário dentro dos padrões de segurança e qualidade. A norma NBR-5410 será melhor apresentada nos próximos capítulos, no auxílio do dimensionamento dos componentes internos ao painel elétrico. Os principais pontos extraídos da norma NR-12 serão discutidos adiante, com foco nos itens diretamente relacionados ao projeto elétrico.

A norma NR-10, que trata diretamente de segurança em instalações e serviços em eletricidade, foi utilizada em complemento a aplicação da norma NR-12. Considerando o fato da norma NR-12 apresentar um panorama geral em termos de segurança e trabalho, os pontos principais da norma NR-10 serviram como auxílio para o que foi implementado da outra.

A norma NR-12 (1978, cap. 12.1.1) e seus anexos definem diversos princípios fundamentais, a serem aplicados em quaisquer meios de trabalho com a utilização de máquinas

e equipamentos, com o objetivo de aplicar medidas de proteção para resguardar a saúde e integridade de trabalhadores, bem como estabelecer requisitos mínimos que promovam segurança e evitem acidentes de trabalho diversos.

O ponto a ser mencionado compreende tanto as medidas de segurança preventivas quanto a estabilidade de máquinas estacionárias (NR-12, cap. 12.2.6). Apesar do painel elétrico (estrutura metálica que abriga todos os componentes do projeto elétrico) não apresentar efeitos de vibrações ou choques próprios, esse pode sofrer com esses efeitos oriundos da própria máquina. Assim sendo, foi aplicado o uso de amortecedores de impacto e vibração para a referida estrutura.

Outro ponto da norma de grande valia (NR-12, cap. 12.3.2) atenta para a necessidade de aterramento de carcaças, invólucros, blindagens ou quaisquer partes condutoras capazes de condução de corrente elétrica. Foi projetado que todos os dispositivos internos do painel elétrico e externos da máquina apresentassem aterramento, como por exemplo os inversores, os motores e outros dispositivos que serão apresentados mais adiante.

Pertinente também ao projeto elétrico (NR-12, cap. 12.3.7), foi inserido dois dispositivos de proteção contra sobretensão, disjuntores tripolares; um interno ao painel elétrico e o outro posicionado na saída do ponto de energia que irá alimentar toda a máquina.

Essencial para a segurança e utilização do tribômetro, foi necessário a inserção de dispositivos de parada de emergência e de acionamento ou partida (NR-12, cap. 12.4, cap. 12.6). Para permitir um sistema de parada de emergência em caso de algum problema ou acidentes, foram projetados 2 botões de emergência, sendo um para o painel elétrico e outro para o computador de onde o operador comandará os ensaios. Da mesma forma, foi projetado também um sistema com um botão “reset” que é responsável por não permitir o acionamento dos componentes somente com a energização do painel elétrico. Essa dinâmica de “reset” será abordada de novo posteriormente.

Por fim, em relação a norma NR-12, outro ponto pertinente ao projeto elétrico foi a alocação de um sistema de intertravamento (NR-12, cap. 12.5.7) para o enclausuramento do vidro. Como este apresenta o risco de quebra e assim, acidentes, foi necessário projetar um sistema em forma de cápsula que isola todo o espaço de rotação do vidro. E, para garantir que os ensaios não ocorram com tal proteção desativada, foi adicionado ao projeto um sensor indutivo para detectar o enclausuramento e, enfim, permitir um uso seguro da máquina. As características de tal sensor serão mostradas posteriormente, junto com os outros componentes relacionados a instrumentação da máquina.

4.3 Componentes e Dispositivos do Projeto Elétrico

A seguir serão apresentados os principais componentes e dispositivos do projeto elétrico, como os motores, os inversores, os dispositivos de proteção (fusíveis e disjuntores) e os equipamentos da parte de comando do circuito, como os sensores para a instrumentação geral da máquina, relés, CLP dentre outros.

4.3.1 Motorreductor e motores *spindle*

Como já mencionado, o projeto do tribômetro conta com a presença de 3 motores *spindles*, para a rotação de cada um dos rebolos, e de um motorreductor (acoplado a um motor de indução) para a rotação do vidro. A Tabela 1 a seguir apresentam as principais características desses equipamentos, e a Figura 9 e a Figura 10 mostram os modelos escolhidos.

Tabela 1 - Características principais do motor de indução, motorreductor e motor *spindle*.

Motor de indução trifásico tipo gaiola WEG W21	
Carcaça: AL90S	Fator de Potência: 0,80
Tensão Nominal: 220 V, 3 F	Faixa de Temperatura: -20 °C até 40 °C
Corrente Nominal: 5,69 A (220 V)	Rendimento: 86,5%
Potência: 1,5 kW (2 Cv)	Frequência: 60 Hz
Fator de Serviço: 1,25	Corrente de Pico: 7,4 x In
Rotação Nominal: 1750 rpm	Peso: 20 kg
Redutor VERTIMAX WCG20	
Torque Nominal: 820 Nm	Rotação de Entrada: 1750 rpm
Torque de Saída: 772,58 Nm	Rotação de Saída: 17,80 rpm
Fator de Serviço Mecânico: 1,06	Tipo de Entrada: Motor acoplado direto
Relação de Transmissão: 98,34	Tipo de eixo de saída: maciço
Motor <i>Spindle</i> GDK125-9Z/5.5	
Frequência Nominal: 50 – 450 Hz	Número de Polos: 6
Tensão Nominal: 220 V, 3 F	Rotação Nominal: 1000 – 9000 rpm
Potência Nominal: 5,5 kW (7,4 Cv)	Refrigeração: Água (desmineralizada)
Corrente Nominal: 19,5 A	

Fonte: WEG, Policomp.

Figura 9 - Motor WEG W21 acoplado com um motorreductor WEG Cestari.



Figura 10 - Motor *spindle* GDK.



Adicionalmente, o motor de indução junto com o motorreductor possuem um *encoder* acoplado. É de um modelo Dynapar B58N 1024. As características e funções de tal *encoder* será apresentado mais adiante, junto com as informações referentes ao inversor, para um melhor entendimento.

4.3.2 Inversores de Frequência

Os inversores de frequência são componentes eletrônicos utilizados para controlar a velocidade de motores por meio da variação da frequência da corrente alternada que é fornecida pela rede elétrica, sendo muito eficientes para controlar a velocidade de motores de indução. O inversor é dividido, basicamente, em 3 partes a serem descritas.

A primeira parte é uma seção retificadora, constituída por diodos e responsável pela conversão da tensão alternada da rede em uma tensão contínua. Já a segunda parte é um barramento DC, formado por um banco de capacitores com a função de filtrar e eliminar a

pulsção da onda de tensão contínua oriunda da seção retificadora. Assim, o barramento DC caracteriza-se por ter uma função linearizada. Por fim, a seção inversora (formada por um conjunto de transistores) geram pulsos de tensão em cada uma das fases da rede para, assim, promover uma tensão alternada de saída. Ainda, o controle dessa geração de pulsos é a responsável pela variação da frequência de saída e, então, da velocidade do motor.

A Equação 1 a seguir apresenta a relação existente entre a variação da frequência promovida pelo inversor e a variação de velocidade do motorreductor.

$$Ns = \frac{120 \times f}{P} \quad [\text{rpm}] \quad (1)$$

Onde:

Ns: velocidade síncrona do motor;

f: frequência definida pelo inversor.

P: número de polos do motor.

Outro ponto pertinente em relação aos inversores é o fato de que, basicamente, há duas formas distintas de controle dos inversores, a forma escalar e a forma vetorial.

O controle **escalar** caracteriza-se pela manutenção da constância do fluxo magnético do motor, definido pela relação $\Phi_m = K \cdot V/f$, onde K é uma constante do material do motor, V é a velocidade de rotação e f a frequência da tensão. Assim, há uma relação constante entre a variação da velocidade a partir da frequência. Apesar da simplicidade da operação, este modo de controle não apresenta muita eficiência e desempenho quando há variações significativas e constantes da frequência.

Já o controle **vetorial** é uma técnica mais avançada e eficiente para controle da velocidade dos motores de indução. Esse tipo de controle ocorre por meio do controle, de forma independente entre si, do fluxo magnético (que está relacionado ao campo magnético do motor) e do torque gerado. Ainda, com o intuito de se obter uma precisão ainda mais elevada (a depender da aplicação), essa técnica pode ser realizada em malha aberta, ou *sensorless*, ou em malha fechada, com o uso de um *encoder*. A vantagem do uso de uma malha fechada é a precisão do controle da velocidade por meio da comparação entre a velocidade real de saída e a esperada. Desta comparação é feito uma realimentação para manter ambas as velocidades (real de saída e a esperada) iguais.

Toda a parte de controle realizada por um inversor, bem como o detalhamento de informações que ele fornece como frequência de saída, velocidade do motor e várias outras, é

realizada por meio do uso de parâmetros, que são configurações internas do inversor que devem ser configuradas manualmente a fim de se obter o funcionamento desejado desse equipamento.

Os parâmetros, por tanto, são as instruções que o inversor irá receber para realizar as ações que são desejadas. Podem ser também divididos em algumas categorias, como: controle, ajuste de entradas e saídas analógicas e digitais, PID, frenagem reostática, falhas e alarmes, comunicação, entre outros, totalizando mais de 1000 parâmetros que podem ser configurados, a depender da necessidade do projeto.

A Figura 11 e a Figura 12 a seguir mostram os inversores escolhidos para o projeto elétrico.

Figura 11 - Inversor WEG CFW500.



Figura 12 - Inversor HNC Electric.



A Tabela 2 a seguir apresenta os inversores que foram selecionados para o projeto elétrico. Vale destacar que, como o motorreductor é da linha WEG, foi escolhido também um inversor WEG. Equipamentos de uma mesma fabricante, quando operando em conjunto, apresentam uma melhor integração de suas funcionalidades.

Tabela 2 - Características dos inversores utilizados no projeto elétrico.

Descrição	Corrente Nominal	Frequência de Chaveamento	Modelo	Fabricante
Inversor de frequência com comunicação Modbus-RTU (RS485)	24 A	4 kHz	CFW500	WEG
Inversor de frequência modular	25 A	0,5 kHz ~ 16 kHz	HV610-5R5G2	HNC Electric

Fonte: WEG, HNC Electric.

Devido ao fato do inversor WEG (que fará o controle da velocidade de rotação do motorreductor) ter que controlar uma velocidade angular variável, pelo fato do vidro diminuir de raio e ter sua velocidade linear constante, foi alocado um sensor de rotação, *encoder*, para um melhor controle, o que torna o controle do inversor do tipo vetorial com *encoder*.

4.3.3 *Encoder* no motor

O *encoder* acoplado junto ao motor, conectado diretamente no seu eixo, realiza a função de permitir um controle de velocidade em malha fechada. Analisando os dados referentes ao inversor WEG fornecidos pela própria fabricante, a utilização de um *encoder* permite uma regulação da velocidade de 0,1% da velocidade nominal, e uma variação de velocidade de até 0 rpm. Quando em operação, é altamente recomendado não desconectar o sensor do motor, podendo trazer danos severos para o componente.

A Tabela 3 a seguir apresenta as principais características do *encoder* modelo Dynapar B58N 1024. Possui uma conexão do tipo CONIN de 12 pinos com plug macho horário e rosca externa.

Tabela 3 - Dados mecânicos e elétrico do *encoder* do projeto.

Características mecânicas		Características elétricas	
Eixo:	Vazado	Alimentação:	5 a 26 Vcc
Rotação máxima:	6000 rpm	Saída:	HTL (5-26 Vcc)
Vida do rolamento:	20000 h	Consumo:	< 60 mA + cargas na saída
Torque inicial:	1,0 N.cm	Freq. máxima:	125 kHz
Momento de inércia:	28 g.cm ²	Resolução:	1024 PPR
Folga radial:	± 0,13 mm	Defasagem:	90° ± 30°
Folga axial:	± 1,27 mm	Simetria:	180° ± 18°

Fonte: Dynapar.

O *encoder* possui 3 sinais de saída (A, B e Z) e seus complementos ou inversores (-A, -B e -Z), cada uma correspondendo a uma saída separada. O sinal ‘A’ corresponde a um sinal de pulso de rotação. ‘B’ corresponde pulsos defasados de 90° em relação a ‘A’, determinando

assim a direção de rotação. Assim, juntos, ‘A’ e ‘B’ permitem o cálculo e direção de rotação. Já o sinal ‘Z’ refere-se a uma posição de referência, fornecendo um pulso único por volta.

Ainda, os sinais de complementos auxiliam, por serem versões invertidas dos sinais originais, em uma leitura mais precisa.

Os sinais do *encoder*, no caso do projeto elétrico, foram conectados em módulo plug-in específico para essa função, também da marca WEG, e somente os sinais ‘A’ e ‘B’ (e seus complementos) serão utilizados.

4.3.4 Dispositivos de Proteção

Os dispositivos de proteção são essenciais para um projeto elétrico pois, como o próprio nome sugere, são responsáveis por assegurar os componentes gerais em caso de sobrecargas ou curtos-circuitos.

Para o projeto elétrico deste trabalho foram designados, para proteção dos 4 inversores, fusíveis da classe aR, ou ultrarrápidos. Já para os demais itens, os disjuntores foram selecionados para o papel de segurança.

O fusível ultrarrápido é um dispositivo de proteção elétrica projetado para interromper rapidamente a corrente elétrica em caso de curto-circuito, evitando danos a equipamentos sensíveis como, por exemplo, os inversores de frequência. Além disso, possui uma atuação semelhante a um fusível comum, porém com o diferencial de resposta.

A principal característica deste dispositivo, como mencionado, é a sua capacidade de responder a curtos-circuitos extremamente rápidos, muitas vezes em frações de milissegundos (ms). Quando ocorre um curto-circuito, a corrente pode subir muito rapidamente a níveis perigosos, colocando em risco os componentes do circuito. Assim, o fusível ultrarrápido é projetado para detectar esse aumento rápido na corrente e desconectar o circuito antes que o dispositivo protegido sofra danos irreversíveis.

Esta proteção utiliza um elemento fusível com uma resistência muito baixa e uma estrutura que permite que ele derreta muito rapidamente. Quando a corrente que passa pelo fusível ultrapassa um valor predeterminado (geralmente muito maior do que a corrente nominal do circuito), o calor gerado pelo aumento da corrente faz com que o elemento fusível se aqueça rapidamente e derreta, interrompendo o fluxo de corrente. A Figura 13 mostrada mais adiante apresenta uma imagem dos modelos utilizados no projeto elétrico.

Outro aspecto importante está relacionado a curva Tempo x Corrente, que apresenta uma relação gráfica do tempo médio de fusão dos elementos fusíveis, também conhecido como

tempo de pré-arco, em função da corrente presumida (WEG, 2024). É a partir dessas curvas, como apresentada na Figura 14, que faz o dimensionamento do fusível ideal a ser utilizado.

Figura 13 - Fusíveis aR WEG FNH00 e chave seccionadora.

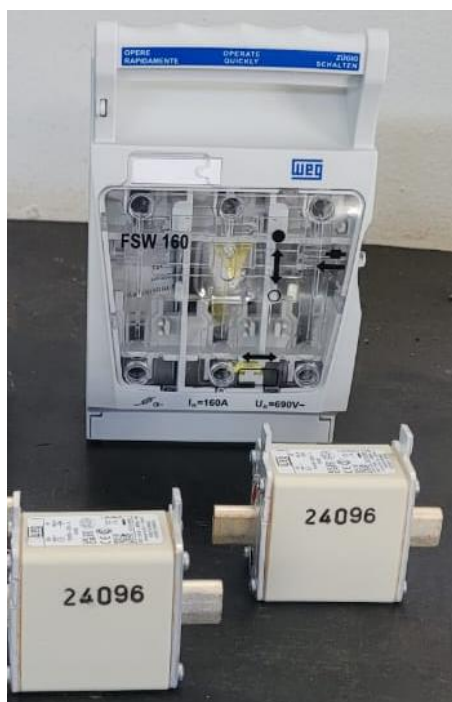
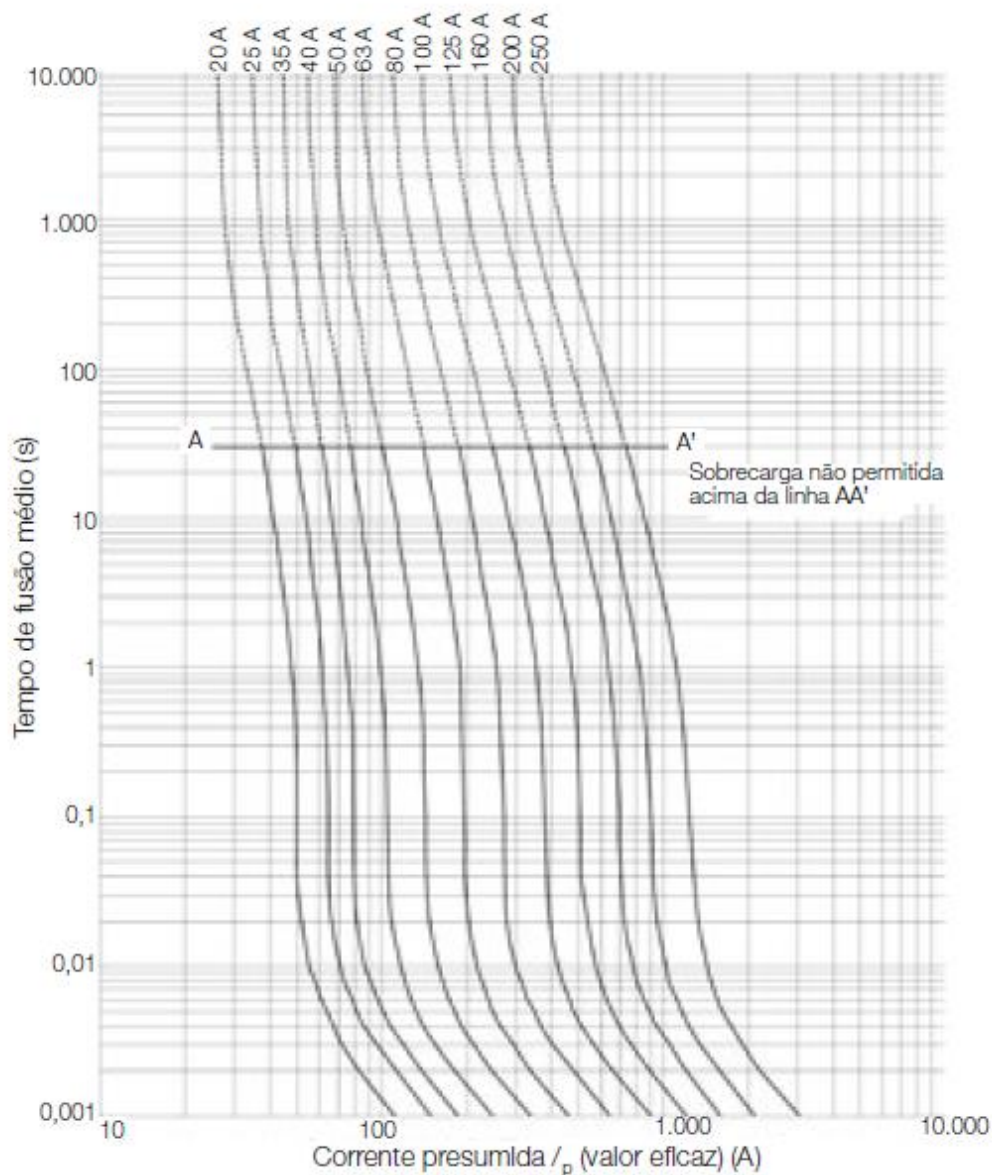


Figura 14 - Curva Tempo x Corrente de fusíveis aR FNH00 WEG.

Fusíveis FNH00 aR 690 V ca



Fonte: WEG, 2024.

Assim, foi selecionado como forma de proteção dos inversores e motores do projeto elétrico os fusíveis ultrarrápidos tipo FNH00, com contato faca. Estes dispositivos podem atuar por um breve período em segurança com um valor de corrente maior do que dimensionado e, devido a característica de resposta rápida mediante a altas valores de corrente e potência, foi uma opção adequada de proteção. Adicionalmente, a curva de tempo e corrente foi utilizada como fator de dimensionamento, explicado mais adiante.

Já os disjuntores são dispositivos de proteção usado em circuitos elétricos para interromper automaticamente a passagem de corrente elétrica quando há sobrecarga ou curto-circuito. O objetivo principal é proteger os equipamentos e os condutores do circuito elétrico, evitando que danos significativos ocorram devido a condições anormais de corrente, como o superaquecimento ou os picos de corrente que podem danificar os dispositivos.

O disjuntor funciona de maneira semelhante a um interruptor, mas com a diferença de que ele é projetado para atuar automaticamente em situações de falha no sistema ou condições anormais, como citado. Além disso, pode ser resetado manualmente após uma interrupção, ao contrário de um fusível, que precisa ser trocado após a queima.

Ao detectar sobrecarga ou curto-circuito, essa proteção aciona um mecanismo interno que interrompe o fluxo de corrente pelo circuito, sendo que tal mecanismo pode ser térmico ou magnético. O primeiro (térmico) é baseado no aquecimento de uma lâmina bimetálica, que se curva quando superaquecida devido ao aumento da corrente, acionando a abertura do circuito. Já o segundo (magnético) utiliza um mecanismo eletromagnético que reage instantaneamente a correntes muito altas, como as causadas por um curto-circuito.

Assim, além da vantagem de ser um dispositivo de proteção, os disjuntores possuem uma praticidade tanto de instalação quanto de uso, e, por sua condição de reusabilidade, acabam sendo vantajosos em relação aos fusíveis, principalmente para circuitos onde há a possibilidade de altas e constantes oscilações de corrente elétrica. A forma de um disjuntor da linha WEG (selecionados para o projeto elétrico) é mostrada na Figura 15 a seguir.

Figura 15 - Minidisjuntores MDW, da linha WEG, utilizados no projeto elétrico.



Fonte: WEG, 2024.

Outro item essencial para o projeto foi a utilização de um disjuntor tripolar. Esse componente de proteção funciona como uma chave-geral para todo o painel elétrico e possui o mesmo princípio de funcionamento de um disjuntor comum. É fundamental não apenas como uma medida de segurança, mas também como um auxiliador para reparos, manutenções e outras atividades que devam ser desenvolvidas no painel elétrico.

4.3.5 Contatores e Relés

Contatores e relés são dispositivos elétricos utilizados para controle de circuitos elétricos e automação. Porém, apesar de uma função semelhante, possuem aplicações bem distintas, sendo os contatores utilizados para a parte do circuito relacionado a potência (acionamento de bombas e motores, dentre outros) e os relés, para comando (acionamento de circuitos de baixa potência, normalmente associados a sensores, CLP e afins).

O contator funciona através de um mecanismo eletromagnético. Quando uma corrente elétrica é aplicada à bobina do contator, ela gera um campo magnético que atrai uma parte móvel, acionando os contatos internos. Esses contatos podem ser normais (normalmente abertos - NA) ou normalmente fechados (NF) e são usados para fechar ou abrir o circuito de potência, permitindo que a corrente flua ou seja interrompida. Além disso, possui uma vantagem de poder conduzir altos valores de corrente elétrica, um diferencial em relação aos relés.

Assim sendo, foram colocados no projeto elétrico deste trabalho 8 contatores (de 9 A e de 32 A, a depender do dimensionamento realizado) para permitir a condução de corrente elétrica para os inversores (e, conseqüentemente, para os motores) e para as bombas do projeto, responsáveis pela parte hidráulica. A Figura 16 a seguir apresenta o modelo utilizado, CWB (WEG, 2024).

Figura 16 - Contator WEG CWB utilizado no projeto elétrico.



Fonte: WEG, 2024.

Já o relé um dispositivo elétrico ou eletromagnético que abre ou fecha contatos em um circuito com base em um sinal elétrico de controle. O relé funciona de maneira similar ao contator, mas sua principal aplicação está no controle de circuitos de baixa potência e em funções de proteção e monitoramento de sistemas. Também similar ao contator, possui um mecanismo eletromagnético que abre ou fecha uma chave quando sua bobina é eletrizada. A Figura 17 adiante ilustra o modelo utilizado no projeto, da marca Phoenix Contact (Phoenix Contact, 2024).

Para o projeto elétrico, os relés foram utilizados 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. São responsáveis por garantir a manutenção desse circuito em caso de problemas ou acionamento dos botões de emergência. Além disso, também serão usados para o *RESET* da máquina, uma funcionalidade que não permite o acionamento do painel elétrico após ser ligado ou após uma parada de emergência. Essa funcionalidade mencionada faz parte de uma das exigências de segurança previstas pela norma NR-12.

Figura 17 - Relés de Interface Phoenix Contact utilizados no projeto elétrico.



Fonte: Phoenix Contact, 2024.

4.3.6 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação (ou alimentador) é um dispositivo que fornece energia elétrica para um circuito ou equipamento eletrônico. Ela converte a energia de uma fonte externa (geralmente da rede elétrica ou de uma bateria) para a tensão e corrente necessárias ao funcionamento de um determinado aparelho ou sistema.

No caso do projeto elétrico deste trabalho, sua aplicação é essencial para a conversão da tensão alternada da rede de 220 V (que alimenta a máquina), para uma tensão contínua de 24 V, responsável pela alimentação dos componentes associados ao circuito de comando (CLP, sensores, bobina dos relés, bobina dos contadores, entre outros). Assim sendo, foi utilizada uma fonte para esse projeto, modelo UNO-PS/1AC/24DC/150W da marca Phoenix Contact.

Com o uso dessa fonte, foi possível inserir os componentes de baixa tensão no projeto. Um ponto importante a ser lembrado é que, para a utilização de uma fonte de alimentação, é essencial observar a quantidade de corrente máxima que tais dispositivos suportam, a fim de promover toda a alimentação necessária de forma completa e segura, evitando sobrecargas.

4.3.7 CLP

Um CLP (Controlador Lógico Programável), também conhecido como PLC (Programmable Logic Controller, em inglês), é um dispositivo eletrônico utilizado para automação de processos industriais, controle de máquinas e sistemas de produção. Funciona a partir de instruções programadas que permitem controlar diferentes dispositivos, como motores, válvulas, sensores, atuadores, entre outros. Ele é capaz de monitorar entradas digitais ou analógicas (como sensores de temperatura, pressão, posição) e, com base na lógica programada, gerar saídas digitais ou analógicas (como ligar/desligar motores, abrir/fechar válvulas, entre outros).

Neste ponto vale mencionar o que são os sinais analógicos e digitais.

O sinal analógico é contínuo e pode assumir um número infinito de valores dentro de uma faixa específica. Ele representa informações variáveis de forma contínua e suave, como a intensidade de luz, a temperatura, a pressão, a velocidade de um motor, e afins. Alguns exemplos de sinais analógicos são: tensão contínua, corrente elétrica, sinais de rádio etc.

Já os sinais digitais são discretos e representados por valores binários. Eles só podem assumir dois estados: 0 ou 1, ou seja, um estado ligado (1) ou desligado (0), que são chamados de bits. Um exemplo de sinal digital são os sinais emitidos pelos sensores que serão apresentados mais adiante.

Ainda em relação a CLP, a programação deste equipamento segue um fluxo lógico, onde ele processa as entradas, executa operações de controle de acordo com o programa e, em seguida, aciona as saídas correspondentes.

Esse equipamento é composto por uma estrutura de 4 partes, basicamente, a serem descritas.

A primeira é a CPU (Unidade Central de Processamento), o "cérebro" do CLP. Ela executa o programa de controle e toma decisões com base nas entradas. Ela também se comunica com outros módulos do CLP e com dispositivos externos.

A segunda são as entradas e saídas analógicas e digitais já mencionadas.

A terceira é a memória interna onde o programa de controle é armazenado, bem como as informações temporárias necessárias para o processamento das entradas e saídas. A memória pode ser volátil (que se perde quando a energia é desligada) ou não volátil (que preserva os dados mesmo sem alimentação elétrica).

Por fim, O CLP possui uma interface (geralmente uma porta serial ou Ethernet) que permite a programação e a monitorização do processo de controle. A programação é feita

usando softwares específicos, que oferecem ambientes gráficos para a criação de lógica de controle. No caso deste projeto elétrico, será utilizado o software da marca Siemens, o TIA Portal. Já a programação utiliza linguagens específicas, e serão utilizadas lógica *Ladder* e Texto Estruturado.

Entretanto, a programação da CLP, bem como o programa de interface do usuário via LabView, serão atividades complementares a serem realizadas futuramente, não sendo assim o foco principal do projeto elétrico desse trabalho. Porém, ainda sim, sendo importante de ser mencionado.

Para este projeto elétrico, o CLP possui duas funções específicas: leitura de sinal dos sensores e acionamento e controle de toda a máquina. Os sensores irão enviar sinais digitais de entrada para este dispositivo que, de acordo com a programação que será realizada, irá emitir sinais digitais de saída com as funções de acionamento dos relés que, por sua vez, irão acionar os contadores dos motores e das bombas d'água.

Assim, todo o controle operacional da máquina fica concentrado no CLP, de forma lógica e dinâmica. A Figura 18 a seguir apresenta uma imagem do CLP Siemens, modelo 1215C DC/DC/DC, utilizado no projeto (Siemens, 2024). É composto de 14 entradas digitais e 10 saídas digitais, todas 24 V.

Figura 18 - CLP Siemens 1215C DC/DC/DC utilizada no projeto elétrico.



Fonte: Siemens, 2024.

4.3.8 Instrumentação (Sensoriamento)

A instrumentação da máquina corresponde a uma etapa essencial do projeto, pois a utilização de sensores garante a leitura precisa de informações que servirão como comando para determinadas ações. Essas ações, por sua vez, é que permitirão o funcionamento de todo o tribômetro durante os ensaios. A seguir serão apresentados os tipos de sensores utilizados nos projetos e suas funções.

4.3.7.1 Sensores Indutivos

Os sensores indutivos são dispositivos eletrônicos que detectam objetos metálicos sem necessidade de contato físico com o objeto a ser detectado. Eles são amplamente utilizados em aplicações industriais para monitoramento de posição, controle de presença, detecção de objetos ou detecção de falhas em sistemas mecânicos e automação.

Seu princípio de funcionamento é baseado na indução eletromagnética. Eles utilizam um campo magnético gerado por uma bobina em sua estrutura interna para detectar a presença de materiais metálicos. Quando um objeto metálico se aproxima do sensor, ele perturba o campo magnético e altera a impedância da bobina, o que é detectado pelo circuito eletrônico do sensor. Essa alteração é então processada para gerar um sinal de saída.

Tais sinais de saída baseiam em valores de máximo e mínimo de tensão, que podem ser lidos, a exemplo deste projeto elétrico, por uma CLP. Tal equipamento, ao receber um sinal de máximo ou mínimo, lê um valor digital, no valor de 1 ou 0, como explicado anteriormente.

Dentre as principais características, os sensores indutivos variam sua funcionalidade conforme tamanho, alcance de detecção e tipo de sinal de saída. Ainda, algumas das limitações apresentadas por esses equipamentos são a detecção de materiais metálicos condutores somente, alcance de detecção curto (a depender do modelo) e, principalmente, custo.

Para o presente projeto elétrico, foram utilizados dois tipos de sensores indutivos, ambos da marca Pepperl-Fuchs. O primeiro tipo possui a função de detectar o enclausuramento já mencionado anteriormente, referente a proteção durante os ensaios em caso de quebra de vidro. Já o segundo tipo, foi necessário como uma medida de segurança.

O primeiro tipo é o modelo NBB1,5-F79-E2 (Pepperl-Fuchs, 2024). Como mencionado, irá detectar o enclausuramento do vidro e só então permitir, via CLP, o acionamento dos

componentes de potência (motores e bombas) para a realização dos ensaios. É um dispositivo NA pois, somente com seu acionamento, é que será enviado um sinal digital.

Já o segundo tipo é o modelo NBB4-F1-E3 (Pepperl-Fuchs, 2024). Será utilizado como uma medida de segurança no caso da quebra do vidro. Caso haja uma quebra do vidro, os rebolos, que estão conectados ao motor *spindle*, irão ser “arremessados” no sentido da guia de movimentação na qual estão inseridos. Para evitar maiores problemas, esses sensores irão detectar a presença dos “carros” – conjunto dos rebolos e os motores *spindle* – e irão desativá-los, mantendo assim uma segurança. Por isso, foram dimensionados tais sensores, que são NF e possuem uma corrente de funcionamento elevada para essas aplicações. A Tabela 4 a seguir apresenta uma comparação com os principais dados desses dois sensores, enquanto a Figura 19 mostra tais dispositivos.

Tabela 4 - Dados característicos dos sensores indutivos do projeto elétrico.

Descrição	Tipo de Saída	Distância Nominal de Operação	Corrente de Operação	Instalação
NBB4-F1-E3	PNP	4 mm	0 ... 250 mA	Flush
NBB-1,5-F79-E2	PNP	1,5 mm	0 ... 100 mA	Flush

Fonte: Pepperl-Fuchs, 2024.

4.3.7.2 Draw Wire Encoder

O *draw wire encoder* (ou *encoder* de cabo revestido) é um tipo de sensor de posição utilizado para medir deslocamento linear. Ele utiliza um cabo ou fio enrolado que é puxado ou desenrolado à medida que o objeto em movimento (como uma máquina ou parte de um sistema mecânico) se desloca. O *encoder* converte esse movimento linear em um sinal elétrico, que pode ser processado por um controlador, como um CLP, para determinar a posição ou o deslocamento do objeto.

Esse sensor funciona através de um fio ou cabo que está enrolado em um tambor ou rolo dentro do dispositivo. A movimentação do objeto é transmitida para o cabo, que se desenrola ou enrola conforme o objeto se move. Esse movimento é então convertido em um sinal elétrico que representa o deslocamento linear.

No projeto elétrico, sua função está atrelada ao desgaste do vidro. Como mencionado, é preciso que haja uma manutenção da velocidade angular do vidro para manter a velocidade

linear constante. Essa manutenção ocorre, pois com o passar do tempo durante o ensaio, há um desgaste constante do vidro, diminuindo assim seu raio. E para tal ajuste de velocidade, será levado em consideração o tamanho do raio, que será medido com o *draw wire encoder*, conectado em um dos “carros” – conjunto dos rebolos e os motores *spindle*. O deslocamento desses determina a diminuição do raio do vidro. A Equação 2 a seguir apresenta a relação matemática existente para o controle da velocidade de rotação do vidro.

$$V = \omega \times r \quad [\text{m/s}] \quad (2)$$

Onde:

V: velocidade linear do vidro;

ω : velocidade angular do vidro;

r: raio do vidro.

O encoder escolhido é o modelo MPS-M, da marca Miran. Possui um sinal de saída entre 0 e 10 V (ideal para o CLP), um curso de 1200 mm, sendo que serão necessários entre 500 e 750 mm de espaço para percorrer o desgaste do vidro. Além disso possui uma precisão de 0,1 %, mais do que necessária (considerando que seria necessária uma precisão de 1 %). A Figura 19 a seguir ilustra o modelo escolhido.

Figura 19 - Draw Wire Encoder escolhido para o projeto.



Fonte: Lemaqs, 2024.

4.3.7.3 Demais sensores

Os demais sensores que fazem parte do projeto elétrico possuem uma função de leitura de algumas funcionalidades. Inicialmente, foram inseridos no projeto fluxostatos, que são sensores de vazão que, ao detectarem uma vazão de fluido por algum lugar, emitem um sinal elétrico. No caso, tais componentes foram inseridos para que haja uma leitura do resfriamento dos motores *spindle*, que não pode funcionar sem que o sistema de refrigeração esteja funcionando.

Ainda, no projeto elétrico também a presença de chaves boia, que farão o controle do nível de água da cuba, um compartimento que será instalado abaixo do vidro e que irá coletar a água armazenada da lubrificação dos contatos entre rebolos e vidro. Tais chaves irão acionar, com o auxílio do CLP, válvulas esféricas motorizadas, que irão direcionar o fluxo de água por todo o sistema hidráulico da máquina. A Tabela 5 a seguir apresenta um resumo de tais componentes.

Tabela 5 - Funções dos demais componentes de sensoriamento do projeto.

Componente	Função	Natureza da Chave
Fluxostatos	Leitura da presença ou ausência de vazão de água para os <i>spindles</i> .	NA
Chaves-Boia	Controle do nível de água dentro da cuba do tribômetro.	NA
Válvulas Esféricas Motorizadas	Direcionamento do fluxo de água pelo sistema hidráulico da máquina.	NA e NF

4.4 Dimensionamento

O dimensionamento é uma das partes do desenvolvimento do presente projeto elétrico, sendo essencial para determinar os tipos principais dos componentes mencionados anteriormente. Além disso, com o auxílio da norma NBR-5410, é possível realizar todos os cálculos necessários para a escolha ideal dos itens.

Inicialmente, foram feitos os cálculos para os dispositivos de proteção, no caso os fusíveis aR – para proteção dos inversores – e os disjuntores – para proteção dos motores e outros componentes.

Para os fusíveis aR, há uma tabela do fabricante WEG, conforme mostra a Figura 14, que auxilia para o dimensionamento. Há dois critérios que devem ser satisfeitos em conjunto. O primeiro, é calcular os valores da corrente de pico, I_p , e o tempo de pico, T_p , dos motores que serão acionados e, tendo tais valores, deve-se analisar a curva x corrente para encontrar o primeiro valor de corrente para o fusível aR. O segundo critério é realizar o cálculo da corrente ideal do fusível, I_f . Tal valor deve ser, no mínimo (de acordo com o fabricante) maior ou igual a 1,2 vezes o valor da corrente nominal do motor que será acionado, I_n .

Com os dois critérios analisados, e ambos se satisfazendo, é então obtido o valor da corrente dos fusíveis. Para o presente projeto elétrico, foram selecionados fusíveis de 35 A para o inversor WEG; e 63 A para o inversor HNC. Tal diferença se deu devido a diferença de corrente nominal dos motores *spindle* e do motorreductor.

Já para os disjuntores, o recomendável é que a sua corrente nominal seja entre 1,25 a 1,5 vezes maior dos dispositivos que serão protegidos. No caso do projeto, por uma questão de custo também, foram selecionados disjuntores de 2 A e 10 A, monopolar e bipolar, seguindo o critério mencionado acima. Já o disjuntor tripolar, considerando que a corrente total do circuito será de 109 A, foi escolhido para o projeto um disjuntor de 150 A.

Posteriormente, foram selecionados os contatores. De acordo com a fabricante, WEG, é recomendado que a corrente nominal dos disjuntores seja maior ou igual a 1,15 vezes a corrente nominal dos dispositivos que serão acionados. Assim, para o projeto, foram selecionados contatores de 32 A para ativação dos motores e 9 A para ativação das bombas d'água.

Já os cabos, essenciais para que haja as ligações elétricas, seguem um dimensionamento seguindo a Tabela 37 da norma NBR-5410, de acordo com a Figura 20 apresentada a seguir. Ainda, considerando o tipo de instalação, foi utilizado como referência o valor B1 da referida tabela.

Figura 20 - Tabela 37 referente a capacidade de condução de corrente, em amperes, para bitola de cabos.

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: EPR ou XLPE

Temperatura no condutor: 90°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

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

Fonte: NBR-5410, Tabela 37 (2004).

Outro dimensionamento necessário a se fazer foi em relação a ventilação interna do painel. Considerando os itens internos ao painel elétrico, esses liberam uma quantidade significativa de potência na forma de calor, o que faz necessário a implementação de um sistema de refrigeração para que não haja danificação dos componentes internos.

O cálculo realizado considerou o valor de dissipação de energia dos principais componentes, chegando a um valor de 2053,72 W, arredondados para 2100 W. Após isso, foi feito o cálculo do volume de ar necessário para resfriamento, de acordo com a Equação 3 a seguir.

$$Var = \frac{Pot.dis.}{\Delta T} * Const.Ar \quad [m^3/h] \quad (3)$$

Onde:

Var: volume de ar necessário;

Pot.dis: potência dissipada [W];

ΔT : diferença de temperatura, entre a interna desejada e a externa esperada [K];

Const.Ar: constante do ar igual a 3,5 [m³K/Wh] para altitudes entre 750 – 1000 m.

Assim, após os devidos cálculos, considerando $\Delta T = 15$ K, o valor necessário será $490 \text{ m}^3/\text{h} = 136 \text{ L/s}$. Considerando um fator de segurança igual a 2, o valor é: $980 \text{ m}^3/\text{h} = 272 \text{ L/s}$.

Foram selecionados para o projeto elétrico, dois ventiladores axiais, da marca Sibratec, com dimensões de 18×18 cm, e vazão de $433 \text{ m}^3/\text{h}$, totalizando $866 \text{ m}^3/\text{h}$. Apesar de não contemplar a necessidade real de $980 \text{ m}^3/\text{h}$ de vazão, tal modelo se mostrou o mais economicamente viável para ser utilizado.

E, para acionamento de tais ventiladores axiais, foi projetado o uso de um termostato NA que, quando detecta uma temperatura maior do que a desejada internamente, de 20°C , aciona os ventiladores.

No caso do CLP, o dimensionamento foi essencial para determinar todo o funcionamento da máquina, visto que este dispositivo possui a função de controlar todo o processo. Para tal dimensionamento, primeiro foi necessário calcular quantos dispositivos estariam conectados, para se ter o conhecimento de quantas entradas e saídas seriam necessárias (a maioria dos CLPs se diferenciam pelo número de entradas e saídas). E, depois, foi necessário inserir um módulo a parte no dispositivo, para a conexão do inversor WEG no CLP.

Também foram considerados os cálculos de corrente elétrica para os diversos componentes do projeto, a fim de garantir a segurança de funcionamento sem sobrecargas, sendo o CLP o principal fator de risco em tais cálculos.¹²

¹ Vale lembrar que, conforme mencionado anteriormente, equipamentos de uma mesma fabricante, quando operando em conjunto, apresentam uma melhor integração de suas funcionalidades. Assim sendo, vários itens que foram selecionados pertencem a WEG, como o motorreductor, inversores, contadores, disjuntores, fusíveis entre outros.

² Apesar de não mencionado, o projeto elétrico ainda conta com os bornes, componentes elétricos utilizados em sistemas de conexão elétrica. Eles são terminais ou pontos de contato onde os fios ou cabos de um circuito podem ser conectados, permitindo a passagem de corrente elétrica entre os diferentes elementos de um sistema. No projeto elétrico, são utilizados para integrar os itens externos e internos ao painel elétrico.

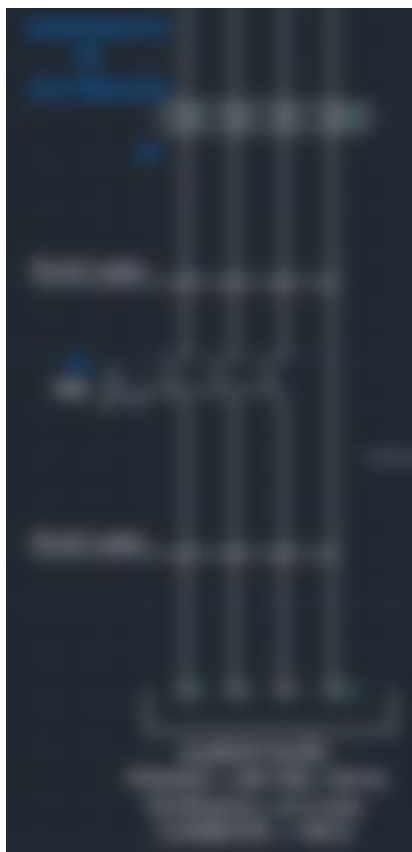
5 RESULTADOS

A metodologia anterior possibilitou o desenvolvimento do projeto elétrico completo, que contempla todos os componentes integrados.

5.1 Energização do Painel

A Figura 21 a seguir mostra a energização inicial do painel, projetada por meio do uso do disjuntor tripolar, funcionando como a chave-geral do painel. Além do mais, foi inserido no projeto também um barramento tetrapolar, com o objetivo de distribuir a energia para todos os pontos do painel elétrico.

Figura 21 - Acionamento inicial do painel elétrico.



Na figura anterior, também é possível observar alguns dados importantes, como os valores da alimentação total do painel elétrico e o dimensionamento dos cabos utilizados.

5.2 Acionamento Secundário do Painel

Como mencionado anteriormente, uma função essencial inserida no projeto foi a utilização de um botão *RESET* que deve ser acionado todas as vezes em que se liga o painel elétrico e também 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 o disjuntor tripolar e, logo em seguida, acionar o botão *RESET*. A Figura 22 mostrada logo abaixo revela como foi projetado.

Figura 22 - Acionamento secundário por meio do botão *RESET*.



Na figura acima, o botão *RESET* é projetado para ser acionado uma única vez e, após tal atividade, o próprio chaveamento do relé de interface KA7 mantém a condução de energia ativa.

5.3 Conexões entre os Inversores e os Motores

As ligações entre os inversores e os motores (motorreductor e os motores *spindle*) foram realizadas de maneira direta, e protegidas com o uso dos fusíveis. Além disso, o *encoder* acoplado ao motorreductor foi conectado ao inversor por meio das entradas exclusivas do módulo de comunicação de *encoder* no inversor de frequência (ver Figura 23 e Figura 24).

Figura 23 - Acionamento do motorreductor pelo inversor WEG.



Figura 24 - Acionamento dos motores *spindle* pelo inversor HNC.



É possível observar na Figura 23 que existe um sinal, RS485, saindo do inversor WEG. Tal sinal é um protocolo de comunicação entre o inversor e o CLP que irá fazer o controle de velocidade do motorreductor, como explicado na Metodologia.

Ainda, na figura acima é possível observar um sinal digital PLC-DO6 chegando no inversor HNC. Tanto neste como nos demais inversores HNC, existem sinais digitais que saem da CLP e chegam nesses dispositivos que serão responsáveis pelo acionamento do comando do inversor que, de fato, aciona os motores *spindle*.

Também é possível observar nas duas imagens anteriores a presença dos contatores, com as tags KM8 e KM5, também essenciais para o projeto elétrico.

5.4 CLP

Outro ponto chave do projeto elétrico é o uso do CLP. A Figura 25 a seguir apresenta como foi designado o uso desse equipamento. Na parte superior, é possível notar as entradas digitais, de onde vem todos os sinais dos sensores mencionados. Já na parte inferior, são conectadas as saídas digitais, responsáveis pelo acionamento dos motores *spindle*, bombas d'água e as válvulas esféricas motorizadas.

Ainda, é possível observar o módulo 'X20', responsável pela conexão e comunicação entre o inversor WEG e o CLP; e o cabeamento *Ethernet*, para conexão do CLP ao computador da máquina.

Figura 25 - CLP e suas conexões no projeto elétrico.



5.5 Sensores Indutivos para Emergência

Os sensores indutivos do projeto elétrico, modelo NBB4-F1-E3, como mencionado na metodologia fazem parte do sistema de emergência do projeto, acionados quando há uma falha de quebra do vidro. Logo, foram projetados para fazerem parte do circuito de Emergência.

Ao analisar a Figura 22 há duas chaves de dois relés distintos, KA8 e KA9. Tais componentes são acionados pelos sensores citados que, por serem NF, mantem acionados os relés constantemente. Ao haver uma quebra do vidro, esses sensores irão abrir seus contatos, desativando os relés e, conseqüentemente, ativando a emergência do projeto. A Figura 26 abaixo mostra esse acionamento para dois sensores (o mesmo vale para o terceiro sensor).

Figura 26 - Sensores indutivos utilizados para a emergência do projeto.



Nesta seção foram apresentados os pontos mais pertinentes em relação ao projeto elétrico.

5.6 Discussão

O projeto elétrico desenvolvido neste trabalho apresentou uma série de mudanças ao longo do tempo até ser finalizado como mostrado anteriormente.

Um dos principais desafios do projeto foi algumas atualizações que foram sendo inseridas a fim de resolver alguns problemas ou algumas adaptações que foram surgindo.

Inicialmente, o projeto elétrico não teria a presença do CLP, algo que foi alterado devido a necessidade de uma instrumentação muito ampla e precisa. Além disso, todo o ensaio realizado com esse tribômetro que foi projetado seria feito por meio de botões que seriam instalados no painel elétrico, algo que foi modificado para que o operador trabalhe somente pelo computador.

Todas essas mudanças foram estrategicamente trabalhadas para não mudar drasticamente a ideia principal do tribômetro e não alterar o uso de componentes significativos que já haviam sido adquiridos, a exemplo dos inversores e motores.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso teve como objetivo principal a elaboração de um projeto elétrico para um tribômetro para vidro de alta rotação, levando em consideração as normas técnicas, a eficiência energética 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 desenvolvimento, foi possível aplicar conceitos teóricos adquiridos ao longo do curso, como eletrônica básica, eletrônica de potência, controle e automação, entre outros. A utilização de um software especializado, o AutoCAD Electrical, permitiu a realização de representações gráficas precisas para que, quando necessário, os profissionais possam fazer a construção do painel elétrico.

Os principais resultados obtidos incluem a elaboração de um projeto elétrico completo, incluindo o dimensionamento de circuitos, a escolha de dispositivos de proteção, como disjuntores e fusíveis; o uso de um circuito de comando, controlado por um CLP e toda uma instrumentação embarcada; e o dimensionamento de todos os itens necessários.

Além disso, o cumprimento das normas regulamentadoras, como a NR-12 e a NBR-5410, foi assegurado em todas as etapas do projeto, garantindo que a instalação elétrica proposta atenda aos requisitos de segurança, qualidade e confiabilidade exigidos pelos órgãos competentes. A análise de riscos elétricos e a proposta de medidas de proteção também foram de fundamental importância para assegurar a segurança dos usuários e a integridade dos equipamentos.

Em termos de contribuições, este projeto não apenas atende às necessidades do cliente, mas também apresenta um roteiro que serve como base para vários outros projetos na área, mesmo que a contribuição seja básica.

Esse trabalho reforça a importância de se elaborar projetos elétricos com atenção, cautela e cuidado, seja para um maquinário, para uma indústria ou residência. É importante também que haja sempre espaço para melhorias e futuras adaptações que se mostrem necessárias e pertinentes.

Apesar de não ser mencionado neste presente Trabalho de Conclusão de Curso (por motivos de ainda não ser finalizado), ainda são pertinentes ao projeto a programação do CLP e do programa supervisorio, LabView, que será utilizado pelo operador para a realização dos ensaios. Tais atividades ainda estão em desenvolvimento no período de publicação deste trabalho.

Por fim, outros trabalhos futuros envolvem a criação de um sistema de controle de deslocamento dos eixos; um sistema de controle de rotação dos motores *spindles*, assim como é feito com o motorreductor; o uso de dinamômetros para aquisição de forças de retificação no processo; e uma adequação mecânica para análises não somente em vidros, mas em outros tipos de materiais, tornado o tribômetro versátil.¹

¹ Por motivos de sigilo do projeto, algumas imagens foram descaracterizadas – na forma borrada – do texto original, bem como algumas informações importantes foram retiradas da versão final desse texto, como a lista completa dos componentes e os desenhos completos do projeto elétrico, que estariam na sessão de apêndices.

REFERÊNCIAS

REVISTA VIDRO IMPRESSO. **Você sabe como surgiu o vidro?** 2014. Disponível em: <https://vidroimpresso.com.br/voce-sabe-como-surgiu-o-vidro/> . Acesso em: 26 out. 2024.

CEBRACE. **A História do Vidro**. Disponível em: <https://www.cebrace.com.br/area-tecnica/enciclopedia-do-vidro/a-historia-do-vidro/> . Acesso em: 26 out. 2024.

MULTPAINEL BLOG. **Vidro Float, o que é?** Disponível em: <https://www.multipainel.com.br/vidro-float-o-que-e/>. Acesso em: 26 out. 2024.

ABRAVIDRO. **Panorama Abravidro**. Disponível em: <https://abravidro.org.br/mercado/panorama-abravidro/>. Acesso em: 26 out. 2024.

BIANCHI, E. C., AGUIAR, P. R., HILDEBRANDT, R. A. **Estudo experimental do uso de rebolos convencionais na usinagem do aço VP-50 utilizado na retificação cilíndrica, por meio de diferentes métodos de lubrificarrefrigeração**. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/hthYNYX8kCTcDVzdqVtzM5P/?format=pdf> . Acesso em: 26 out. 2024.

DIAMANFER. **Perfil Abaulado**. Disponível em: <https://diamanfer.com.br/rebolos-perifericos/perfil-abaulado/> . Acesso em: 26 out. 2024.

MARJANOVIC, N., TADIC, B., IVKOVIC, B., MITROVIC, S. **Design of Modern Concept Tribometer with Circular and Reciprocating Movement**. 2006. Disponível em: <https://www.tribology.rs/journals/2006/3-4/1.pdf>. Acesso em: 28 out. 2024.

SHAH, K. R., SHUKLA, A., PATEL, N.S. **Analysis of Friction and Wear as a System Response Using Indigenously Fabricated Tribometer**. 2021. Disponível em : <https://www.tribology.rs/journals/2021/2021-3/9-907.pdf> . Acesso em: 28 out. 2024.

KALELI, H. **New Universal Tribometer as Pin or Ball-on-Disc and Reciprocating Pin-on-Plate Types**. 2016. 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: 28 out. 2024.

WEBSTER, J., TRICARD, M. **Innovations in Abrasive Products for Precision Grinding**. 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850607600316>. Acesso em: 28 out. 2024.

MARINELLI FILHO, N. **Monitoramento da operação de dressagem de rebolos através da emissão acústica**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-24072024-113625/> . Acesso em: 28 out. 2024.

SOUZA, A. G. O. **Monitoramento da Dressagem no Processo de Retificação**. 2009. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/4b7d274e-767f-4e7b-912c-0ad92e7bf01d/content#:~:text=Dressagem%20%C3%A9%20o%20processo%20de,et%20al.%2C%202002\)](https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/4b7d274e-767f-4e7b-912c-0ad92e7bf01d/content#:~:text=Dressagem%20%C3%A9%20o%20processo%20de,et%20al.%2C%202002)) . Acesso em: 28 out. 2024.

JANUÁRIO, M., ROVEA, S. B., HOFFMANN, K. **Implantação de uma bancada de acionamento e controle de máquinas elétricas para ensino na engenharia**. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303876748_Implantacao_de_uma_bancada_de_acionamento_e_controle_de_maquinas_eletricas_para_ensino_na_engenharia . Acesso em: 28 out. 2024.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR 10**: informação e documentação: referências: elaboração. 1978.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR 12**: informação e documentação: referências: elaboração. 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

SANTOS, R. O. B., SAMPAIO, H. C., OLIVEIRA, L. V. M., HONORATO, L. F. F., OLIVERIA, F. H. A., PRADO, P. H. C., GIROTO, L. G., GOMES, L. O., VERALDO JUNIOR, L. G. **A Importância da NR 12 em seus Diversos Contextos: Uma Análise Sistemática para Prevenção de Acidentes Industriais**. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ramon-Santos-6/publication/354342358_A_IMPORTANCIA_DA_NR_12_EM_SEUS_DIVERSOS_CONTEXTOS UMA ANALISE SISTEMATICA PARA PREVENCAO DE ACIDENTES INDUSTRIAIS/links/61326d6638818c2eaf7e673d/A-IMPORTANCIA-DA-NR-12-EM-SEUS-DIVERSOS-CONTEXTOS-UMA-ANALISE-SISTEMATICA-PARA-PREVENCAO-DE-ACIDENTES-INDUSTRIAIS.pdf . Acesso em: 29 out. 2024.

LIMA, K. E. N., LAGE, E. G. S. **Importância e aplicabilidade da Norma ABNT NBR 5410/2004 no quesito verificação final: segurança e confiabilidade do serviço**. 2019. Disponível em: <https://sapientiae.com.br/index.php/technologysciences/article/view/CBPC2674-6425.2019.001.0001>. Acesso em: 29 out. 2024.

AMARAL, R. D. C., PINA FILHO, A. C. **A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia**. 2010. 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: 29 out. 2024.

BAWA, K., RABIU, A., MOHAMMED, D. S. **Conceptual Model of Computer Aided Design and Drafting Software Integration in the Curricular of Universities in Kano, Nigeria**. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mahmoud-Hamash/publication/368535502_Effectively_Promoting_Data-Driven_Leadership_Among_Education_Leaders/links/63ed193331cb6a6d1d046e59/Effectively-Promoting-Data-Driven-Leadership-Among-Education-Leaders.pdf#page=67. Acesso em: 29 out. 2024.

POLICOMP – COMPONENTS INDUSTRIAIS. **Motor Spindle**. Disponível em: <https://www.policompcomponentes.com.br/produtos/motor-spindle/motor-spindle-55kw74cv-refrigerado-a-agua-220vac-1000-9000rpm.html>. Acesso em: 31 out. 2024.

WEG. **Fusíveis aR e gL/gG, Tipo NH, Contato Faca e Flush End**. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0a/h63/WEG-fusiveis-ar-e-gl-gg-50009817-catalogo-portugues-br-dc.pdf>. Acesso em: 31 out. 2024.

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: 31 out. 2024.

WEG. **Contatores CWB**. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Partida-e-Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Motores/Contatores/Pot%C3%A7%C3%A3o-de-Contatores-CWB/Contatores-CWB/p/MKT_WDC_BRAZIL_PRODUCT_CONTACTOR_CWB. Acesso em: 31 out. 2024.

PHOENIX CONTACT. **Módulo Relé RIF-1-RSC-LDP-24DC/1X21**. Disponível em: <https://www.phoenixcontact.com/pt-br/produtos/modulo-de-rele-rif-1-rsc-ldp-24dc-1x21-2903358>. Acesso em: 31 out. 2024.

PHOENIX CONTACT. **Fonte de Alimentação UNO-PS/1AC/24DC/150W**. Disponível em: <https://www.phoenixcontact.com/pt-br/produtos/fonte-de-alimentacao-uno-ps-1ac-24dc-150w-2904376>. Acesso em: 31 out. 2024.

SIEMENS. **CLP 1512C DC/DC/DC**. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/pt/Catalog/Product/6ES7215-1AG40-0XB0>. Acesso em: 31 out. 2024.

PEPPERL+FUCHS. **Sensor Indutivo NBB1,5-F79-E2**. Disponível em: https://www.pepperl-fuchs.com/brazil/pt/classid_143.htm?view=productdetails&prodid=4814. Acesso em: 31 out. 2024.

PEPPERL+FUCHS. **Sensor Indutivo NBB4-F1-E3**. Disponível em: https://www.pepperl-fuchs.com/brazil/pt/classid_143.htm?view=productdetails&prodid=31934. Acesso em: 31 out. 2024.

LEMAQS. Sensor de Deslocamento Linear, Cabo 1200 mm, Potenciômetro. Fio.

Disponível em: <https://www.lemasautomacao.com.br/sensor-de-deslocamento-linear-cabo-1200mm-potenciometro-fio/prod-9926096/>. Acesso em: 31 out. 2024.