

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

ISMAEL CORREIA JUNIOR

Projeto do hardware para automação : Máquina para extrusão de plástico.

Guaratinguetá

2019

Ismael Correia Junior

Projeto do hardware para automação : Máquina para extrusão de plástico.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica .

Orientador: Profº Dr. Samuel Euzédice de Lucena

Coorientador: Msc. Maurício de Oliveira Filho

Guaratinguetá

2019

C824p	Correia Junior, Ismael Projeto do hardware para automação: máquina para extrusão de plástico / Ismael Correia Junior – Guaratinguetá, 2019. 84 f : il. Bibliografia: f. 59-60 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2019. Orientador: Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena Co-Orientador: Prof. Dr. Maurício de Oliveira Filho 1. Plásticos - extrusão. 2. Arduino (Controlador programável). 3. Controle automático. 4. Processos de fabricação. I.Título. CDU 681.5
-------	--

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

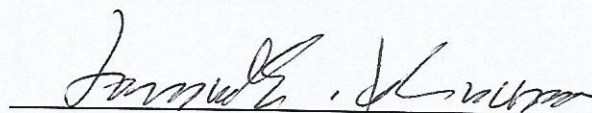
ISMAEL CORREIA JUNIOR

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO
REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUANDO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA "

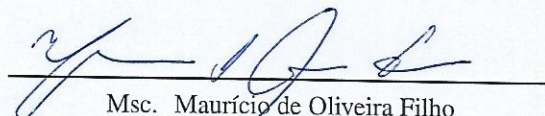
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA

Profª Drª . PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL
Coordenador

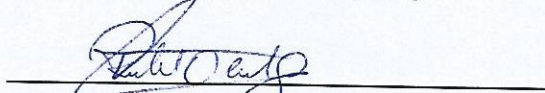
BANCA EXAMINADORA:



Profº Dr. Samuel Euzédice de Lucena
Orientador/UNESP-FEG



Msc. Maurício de Oliveira Filho
Coorientador/UNESP-FEG



Eng. Roberto Otsubo Garcia
Membro Externo

Agosto , 2019

Eu dedico esse trabalho a todos que conviveram comigo durante esse anos de graduação, de uma forma direta ou indireta sem a participação de vocês esse trabalho não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer a todos cujo tive o prazer de conhecer e a todos que indiretamente colaboraram para a minha graduação.

Desde os meus pais, *Ismael e Cidinha*, que me deram todo o suporte para me manter por esse anos na graduação. A todos aqueles cujos quais tive a oportunidade de morar junto nas Repúblicas e no Apartamento, em especial para o *Marcelo Aquiar* que me acompanhou durante o desenvolvimento deste trabalho. Aos meu professores que muito me ensinaram e a todos os meus colegas de classe que compartilharam os momentos de aprendizado. E também a todos os funcionários da FEG, deixo aqui a todos meus agradecimentos, sem todos vocês esse trabalho não seria possível.

Em especial gostaria de agradecer os membros da banca avaliadora que muito me auxiliou durante esse trabalho, meu orientador *Prof. Samuel E. de Lucena* por todo o suporte nos momentos difíceis do fim da graduação, meu coorientador *Msc. Maurício O. Filho* por ter me proposto a o projeto da máquina e por dela desenvolvido junto comigo e também ao *Eng. Roberto O. Garcia*, a partir dos teus ensinamentos esse projeto foi possível de ser desenvolvimento muito mais eficiente do que fora anteriormente proposto. Vocês foram importantes bases nesse projeto. E também ao *Prof. Rogério Hein* que me acolheu como membro do grupo de pesquisa para o qual esse projeto foi desenvolvido.

A todos voces, meu muito obrigado!

Este trabalho contou com o apoio da seguinte entidade:

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico, Processo CNPq 305959/2017-4

RESUMO

Os "Fab Labs" é uma filosofia laboratórios abertos e colaborativos, com equipamentos de custo reduzido e comumente de desenvolvimento interno ao próprio laboratório. Os equipamentos desenvolvidos priorizam o baixo custo e a replicabilidade na comunidade, utilizando peças de fácil acesso e a disponibilização de toda a documentação do equipamento de forma *open source*. As impressoras 3D são equipamentos comuns em Fab Labs e os filamentos utilizados como matéria prima na impressão são produzidos por máquinas extrusoras, onde plástico aquecido e conformado no formato de finalamento. Para garantir o correto processo de extrusão, é necessário o controle da temperatura e da velocidade de transporte do material. Uma solução de baixo custo para sistemas de controle é a utilização da plataforma ArduinoTM, que neste trabalho alinhado ao projeto dos componentes físicos foi capaz de atender os requisitos necessários para o funcionamento da máquina. O hardware se mostrou apto, atendendo as necessidades do processo de extrusão e ao fim do projeto toda a documentação necessária para a replicação física da parte elétrica, foi desenvolvida e será disponibilizada em plataformas abertas.

PALAVRAS-CHAVE: Fab Lab. Colaborativo. Extrusora. Plástico.

ABSTRACT

The "Fab Labs" is a new philosophy of open and collaborative laboratories where low cost equipment usually self-developed are used. These equipments look for low cost and are easily replicated in the community by using easy access parts and open source documents. The 3D printers are common in Fab Labs and the filaments used for print are produced by extruder machines, where plastic is heated and shaped to the filament format. To ensure the process is necessary the temperature and velocity of the material is controlled. One low cost solution to control is to use ArduinoTM, in this application combined with the physical components which are able to meet the requirements for the machine working. The hardware was able to meet the requirements to the extruder process and at the end of development all the documents will be available in open source platforms.

KEYWORDS: Fab Lab. Collaborative. Extruder Machine. Plastic.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	DESENVOLVIMENTO	13
2.1	ABORDAGENS DE PROJETO	13
2.2	VARIÁVEIS DE INTERESSE	13
2.3	AGÊNCIAS NORMATIVAS	14
2.4	DIMENSIONAMENTOS	14
2.5	MEMORIAL DE CÁLCULO	14
2.6	DIAGRAMA ELÉTRICO	15
2.7	SISTEMA DE CONTROLE	15
2.8	SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO	16
2.9	SISTEMA DE AQUECIMENTO	16
2.10	SISTEMA MOTRIZ	16
2.11	SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	17
2.12	INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	17
3	MATERIAS E MÉTODOS	18
3.1	MATERIAIS	18
3.1.1	Sistema de controle	18
3.1.1.1	Arduino Mega	18
3.1.2	Sistema de alimentação	18
3.1.2.1	Plug de tomada padrão ABNT 14136:2013	19
3.1.2.2	Disjuntor termomagnético 10 A	19
3.1.2.3	Chave plástica com knob longo com duas posições, 2 NA, 10 A	20
3.1.2.4	Botão de emergência cogumelo 40 mm, 2 NF, 10 A	21
3.1.2.5	Fonte de alimentação 230 Vac/12 Vdc, 30 A	21
3.1.2.6	Barramento elétrico	22
3.1.2.7	Sinalizador luminoso vermelho, 12 Vac/dc	23
3.1.3	Sistema de aquecimento	23
3.1.3.1	Resistores cerâmicos	24
3.1.3.2	Drivers de potência IRF3205	24
3.1.3.3	Conectores de tipo Sindal™	25
3.1.3.4	Condutores elétricos para temperatura ambiente expandida	26
3.1.3.5	Fusível de vidro com porta-fusível	26
3.1.4	Sistema motriz	27
3.1.4.1	Motor de parabrisa automotivo	27
3.1.4.2	Drivers de potência IRF3205	28

3.1.4.3	Fusível de vidro com porta-fusível	29
3.1.5	Sistema de medição de temperatura	30
3.1.5.1	Termopares do tipo K	30
3.1.5.2	Módulo de leitura de termopares MAX6675	30
3.1.6	Interface homem-máquina	31
3.1.6.1	Display LCD 16x2	31
3.1.6.2	Sinalizador luminoso amarelo, 12 Vac/dc	32
3.1.6.3	Botões pulsados nas cores preto e branco, 22 mm, 1 NA, 10 A	33
3.1.6.4	Chave plástica com knob curto com duas posições, 1 NA, 10 A	33
3.1.7	Demais componentes	34
3.1.7.1	Caixa de passagem VDI de sobrepor 300 x 300 mm	34
3.1.7.2	Luva de emenda isolada 0,25 - 1,6 mm ²	35
3.1.7.3	Prensa cabos	36
3.1.7.4	Condutores elétricos diversos	36
3.1.7.5	Terminais elétricos do tipo tubular ilhós isolado 1,5 mm ²	37
3.1.7.6	Terminais elétricos do tipo forquilha isolado 0,25 - 1,6 mm ²	37
3.1.7.7	Terminais elétricos do tipo FASTIN TM isolado 0,25 - 1,6 mm ²	38
3.1.7.8	Terminais elétricos do tipo FASTON TM isolado 0,25 - 1,6 mm ²	39
3.1.7.9	Cabo extensor para fontes ATX TM	39
3.1.7.10	Ventilador de refrigeração	40
3.2	MÉTODOS	40
3.2.1	Etapa 1: estudo do equipamento	41
3.2.2	Etapa 2: estudo das normas aplicáveis	41
3.2.2.1	ANEXO IX da NR-12 - Injetora de materiais plásticos	41
3.2.2.2	NR-12 - Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos	42
3.2.2.3	NR 10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade	42
3.2.2.4	ABNT NBR-5410:2004 - Instalações elétricas de baixa tensão	42
3.2.3	Etapa 3: dimensionamentos	43
3.2.4	Etapa 4: Desenho do diagrama elétrico	43
3.2.5	Etapa 5: Montagem e testes do equipamento	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	ATENDIMENTO AO ANEXO IX da NR-12 - INJETORA DE MATERIAIS PLÁSTICOS	45
4.2	ATENDIMENTO A NR-12 - SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	45
4.3	NR 10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE	46
4.4	ABNT NBR-5410:2004 - INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO	46
4.5	MEMORIAL DESCRITIVO	47
4.5.1	Sistema de aquecimento	47
4.5.2	Sistema motriz	47

4.5.3	Sistema de alimentação	47
4.6	DIAGRAMA ELÉTRICO	48
4.7	MONTAGEM FÍSICA DO EQUIPAMENTO	48
4.7.1	Montagem dos componentes na placa de montagem, painel de controle	48
4.7.2	Prototipagem do painel da interface homem-máquina	48
4.7.3	Montagem e ligação elétrica dos componentes na interface homem-máquina .	49
4.7.4	Montagem e ligação elétrica dos resistores no tambor	49
4.7.5	Conexão elétrica do motor	50
4.8	Válidações do projeto	50
4.8.1	Validação da potência de aquecimento	51
4.8.2	Montagem e ligação elétrica dos componentes na placa de montagem, painel de potência	51
4.8.3	Válidação da interface homem-máquina	52
4.8.4	Válidação da leitura dos termopares e do requisito de temperatura	52
4.8.5	Válidação da alimentação do motor.	53
4.8.6	Válidação dos dimensionamentos	54
4.8.7	Custo final do projeto	54
5	CONCLUSÃO	57
6	SUGESTÕES FUTURAS	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A – MEMORIAL DESCRITIVO	61
A.1	SISTEMA DE AQUECIMENTO	61
A.1.1	Dados da carga	61
A.1.2	Corrente nominal	61
A.1.3	Capacidade mínima de corrente no condutor aplicando o fator de serviço . .	61
A.1.4	Método de instalação e fatores de correção	61
A.1.5	Determinação da seção transversal	62
A.1.6	Cálculo da queda de tensão no condutor	62
A.1.7	Dimensionamento do driver de potência	62
A.1.8	Dimensionamento do dispositivo de proteção	62
A.1.8.1	Dimensionamento do elemento fusível	62
A.2	Sistema motriz	63
A.2.1	Dados da carga	63
A.2.2	Capacidade mínima de corrente no condutor aplicando o fator de serviço . .	63
A.2.3	Método de instalação e fatores de correção	63
A.2.4	Determinação da seção transversal	63
A.2.5	Cálculo da queda de tensão no condutor	63

A.2.6	Dimensionamento do driver de potência	64
A.2.7	Dimensionamento do dispositivo de proteção	64
A.2.7.1	Dimensionamento do elemento fusível	64
A.3	Sistema de Alimentação	64
A.3.1	Dados da carga	64
A.3.2	Capacidade mínima de corrente no condutor aplicando o fator de serviço . .	65
A.3.3	Método de instalação e fatores de correção	65
A.3.4	Determinação da seção transversal	65
A.3.5	Cálculo da queda de tensão no condutor	65
A.3.6	Dimensionamento do dispositivo de proteção	65
A.3.6.1	Dimensionamento do disjuntor	66
A.4	Demais sistemas	66
	 APÊNDICE B – LISTA DE MATERIAL	 67
	 APÊNDICE C – DIAGRAMA ELÉTRICO	 69

1 INTRODUÇÃO

O Brasil passa atualmente por sucessivas diminuições de investimentos na educação, as universidades tem se adaptado para manter a mesma qualidade de ensino e pesquisa com orçamentos menores. A ideologia *Open Source*, associada a *DIY*, em português, faça você mesmo são possíveis caminhos para reduzir o efeitos deste período de turbulência. Os Fab Lab são uma demonstração disso, pois estes são laboratórios com equipamentos de baixo custo e onde os membros da academia e a população podem usufruir dessa infraestrutura. Um exemplo de equipamento comum em Fab Labs são as impressoras 3D, contudo a impressora 3D gera um alto custo de consumíveis, visto que o filamento tem custo considerável e gera perdas de material no processo.

Para reduzir essa perda de material, os refugos das impressoras têm sido reciclados para a produção de novos filamentos e para tal a extrusora é um equipamento crucial, uma vez que, com o auxílio de uma broca, amolece e transporta o polímero triturado até uma matriz metálica, dando o formato final ao material extrudado, que para o caso de impressoras 3D é cilíndrico. Lyman Jr. (LYMAN, 2012) patenteou, via *Creative Commons*, e projetou uma extrusora de baixo custo e que se compara a uma industrial. Este equipamento atende ao processamento de filamentos de impressão 3D e com custo inferior ao comercial. Contudo, como se trata de um processamento de material, necessita-se de um equipamento robusto, seguro e que controle as variáveis de processo, sendo a temperatura do tambor de aquecimento e a velocidade de rotação da rosca as duas principais.

Para se manter as variáveis do processo dentro dos limites desejados deve ser desenvolvido um sistema de controle com a capacidade de realizar leitura dessas grandezas, a temperatura por exemplo, é atuar sobre o equipamento promovendo o aquecimento caso a temperatura esteja abaixo da desejada, ou paralizando o aquecimento em caso de sobre temperatura. Um componente muito utilizado em sistemas de controle *Open Source* é o ArduinoTM, de desenvolvimento italiano com o objetivo de ser uma plataforma de desenvolvimento aberta e de baixo custo. O ArduinoTM foi amplamente aceito pela comunidade que desenvolveu inúmeras bibliotecas, módulos para conexão de periféricos e projetos disponibilizados na internet, tornando ele a principal base dos sistemas de controle em Fab Labs.

Este trabalho visa projetar o *hardware* necessário para o funcionamento de uma máquina extrusora e programa para testes dos desenvolvimentos, que atenda os requisitos convencionais de uma máquina *Open Source*, programa com plataforma aberta, segura, com sistema de aquecimento, análise de temperatura e controle do motor alimentador e documentações de projeto abertas a comunicade.

Este trabalho não contempla o projeto do software de controle do equipamento durante o processo de extrusão.

2 DESENVOLVIMENTO

Todo equipamento é composto de um conjunto de sistemas interligados para atingir os objetivos que motivaram seu desenvolvimento. Basicamente um sistema é o conjunto de componentes que tem capacidade de atuar nas variáveis de interesse (variáveis controladas) com base em variáveis de entrada e as manter dentro de uma faixa segura e eficiente.

2.1 ABORDAGENS DE PROJETO

O projeto de um equipamento é um processo composto de varias etapas, por exemplo: determinação das variáveis de interesse, dimensionamentos, análise das normas aplicáveis, entre outros. Para organizar esse processo existem três abordagens básicas:

- De cima pra baixo, em inglês, *top-down*;
- De baixo pra cima, em inglês, *bottom-up*;
- Do nucleo para as extremidades, em inglês, *middle out*.

A abordagem de cima pra baixo consiste em iniciar a abordagem por uma visão geral do sistema e posteriormente ir fragmentando o mesmo em subsistemas até chegar no detalhamento dos seus componentes. Essa abordagem é mais comum no projeto de equipamentos mecânicos e também utilizada em engenharia reversa.

A abordagem de baixo pra cima consiste no processo contrario. Nele, cada um dos componentes é caracterizado e associado a outros para a formação de subsistemas de baixa complexidade, que por sua vez são combinados com outros subsistemas, aumentando a sua complexidade até chegar ao sistema como um todo. Essa abordagem é mais comum em sistemas elétricos, onde cada componente é dimensionado separadamente e conectados com os demais posteriormente.

A abordagem do núcleo para as extremidades é a menos difundida entre as três e é um meio termo entre as duas abordagens anteriores. Nela se analisa as consequências do detalhamento de cada componente no sistema como um todo. Essa abordagem é mais comum em sistemas organizacionais, empresariais, e biológicos.

2.2 VARIÁVEIS DE INTERESSE

As variáveis de interesse, também chamadas de "Variável medida e variável manipulada"(OGATA, 2010) são as grandezas físicas as quais deseja-se medir e atuar. De maneira geral podem ser chamadas de variáveis controladas e manipuladas, sendo as variáveis controlada a grandeza física medida na saída do sistema e a variável manipulada a grandeza interna ao sistema que quando modificada provoca uma alteração na variável controlada.

O ato de controlar uma variável consiste em atuar sobre a variável manipulada de modo a manter a variável controlada dentro de uma determinada faixa ou condição. Tal atuação pode ser baseada

na leitura da variável controlada, cálculo do seu desvio em relação a condição desejada e posterior atuação na variável manipulada, ou a atuação fixa sobre a variável manipulada possibilitando a variável controlada dentro de uma faixa e não em um valor fixo.

Por exemplo um sistema térmico composto de uma resistência elétrica e uma massa de água como exemplo, a variável controlada seria a temperatura final; a variável manipulada seria a corrente elétrica na resistência e o controle realizado pela medida da temperatura por um termômetro.

2.3 AGÊNCIAS NORMATIVAS

Ao redor do mundo agências e associações responsáveis pela elaboração de normas para o desenvolvimento de projetos em geral. Essa regulamentação apresentam as etapas pelos quais os projetos devem passar, como devem ser realizados os dimensionamentos de cada componente, quais os itens que devem ser incluídos na documentação garantindo assim a segurança do equipamento, sua manutenibilidade.

Em máquinas e equipamentos a principal norma regulamentadora é a "NR-12 - Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos"(MTPS, 2019) onde são detalhados a análise de risco, e medidas preventivas para que o funcionamento da máquina não ofereça riscos ao operador.

Em instalações elétricas a principal norma regulamentadora é a "NR-10 - Segurança em instalações e serviços de eletricidade"(MTPS, 2016) onde são detalhados elementos de segurança para instalações elétricas em geral, documentação do equipamento, onde o diagrama elétrico e o memorial de cálculos os mais importantes. Associada a ela a "NBR-5410:2004 - Instalações elétricas em baixa tensão"(ABNT, 2004) regulamenta o dimensionamento dos elementos da instalação elétrica. E em complemento as anteriores, a "IEC 60617 - Simbologia em diagramas elétricos"(IEC, 2012) padroniza a simbologia nos diagramas elétricos, dessa forma, qualquer profissional habilitado é capaz de por meio do diagrama entender o funcionamento e realizar as manutenções necessárias no equipamento.

2.4 DIMENSIONAMENTOS

Os dimensionamentos de um equipamento é o conjunto de cálculos realizados conforme as normativas das agências regulamentadoras garantindo o funcionamento correto e seguro da máquina.

Em equipamentos elétricos, por exemplo, o correto dimensionamentos dos condutores e dispositivos de proteção garantem o funcionamento contínuo do equipamento e que no caso de alguma falha o mesmo seja colocado em uma condição segura, não causando risco ao operador.

Os polímeros são materiais amplamente presentes no cotidiano da sociedade atual. O seu uso traz muitas praticidades porém o seu descarte é muito oneroso para o meio ambiente. tendo isso em vista, a Organização das Nações Unidas ONU (2018), colocou como um de seus objetivos o aumento da reciclagem de recursos naturais, dentre eles os plásticos. Esse fomento é realizado de inúmeras formas, dentre elas o fomento financeiro a pesquisas que visam esse objetivo.

2.5 MEMORIAL DE CÁLCULO

O memorial de cálculo é a parte da documentação do projeto onde são compilados todos os procedimentos definidos pelas normas vigentes para escolha correta dos componentes do equipamento.

2.6 DIAGRAMA ELÉTRICO

O diagrama elétrico é a parte da documentação do projeto em que todos os componentes elétricos e suas conexões são apresentadas de forma gráfica. Assim, caso seja necessário realizar alguma manutenção no equipamento, por meio do diagrama elétrico é possível identificar a associação entre os componentes e a sua lógica de funcionamento até a determinação da causa do problema.

Para facilitar o desenvolvimento do equipamento o mesmo foi dividido em sub-sistemas. Cada sub-sistema equivale a um conjunto de componentes elétricos ou eletromecânicos, com funções e pré-requisitos específicos, que atuam sob uma variável de interesse do sistema. A união dos sistemas é feito por meio de um sistema de controle.

Esses sub-sistemas são representados separadamente no diagrama elétrico apresentado nos apêndices, seus componentes com as respectivas descrições motivações para escolha são apresentadas no decorrer do trabalho.

Os parâmetros iniciais estabelecidos para o projeto do equipamento são:

- Temperatura de operação: 150 - 250 ° C;
- Rotação de operação: 23 - 46 RPM;
- Atender as normas de segurança vigentes para máquinas e equipamentos.

Os parâmetros citados acima podem ser alterados diretamente no código do sistema de controle. A extrusora foi dividida nos seguintes sub-sistemas:

- Sistema de Controle;
- Sistema de alimentação;
- Sistema de aquecimento;
- Sistema motriz;
- Sistema de medição de temperatura;
- Interface homem-máquina.

2.7 SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle é responsável por monitorar e atuar nos sub sistemas mantendo as variáveis de interesse no equipamento dentro das especificações do usuário.

Pré-requisitos:

- Plataforma de programação gratuita;
- Programação de fácil entendimento;
- Comunicação simples com os demais sistemas.

2.8 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

O sistema de alimentação é responsável por promover o suprimento de potência elétrica a todos os componentes elétricos da máquina.

Pré-Requisitos:

- Tensão de entrada: 127 - 220 Vac;
- Tensão de saída: 12 Vdc;
- Potência de saída: 200 W;
- Proteções aplicáveis.

2.9 SISTEMA DE AQUECIMENTO

O sistema de aquecimento é responsável por promover o aquecimento do material a ser extrusado sem promover a degradação do mesmo.

Pré-Requisitos:

- Potência elétrica: 160 W;
- Proteção elétrica contra sobrecarga e curto-circuitos;
- Materiais resistentes a altas temperaturas;
- Isolamento térmico;
- Proteção contra queimaduras.

O uso de 160 W foi baseado no utilizado por SUB33D (2018) em sua máquina.

2.10 SISTEMA MOTRIZ

O sistema motriz é responsável por promover o deslocamento do material a ser extrusado do funil de enchimento até o tambor de aquecimento, comprimindo o material contra o nozzle.

Pré-requisitos:

- Alimentação: 12 Vdc;
- Proteção elétrica contra sobrecargas e curto-circuitos;
- Variação na rotação do motor.

2.11 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

O sistema de medição de temperatura é responsável por promover a medição da temperatura em múltiplos pontos do equipamento.

Pré-requisitos:

- Resistência a altas temperaturas;
- Múltiplas medições de temperatura;
- Comunicação com o sistema de controle.

2.12 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

A interface homem-máquina é responsável pela comunicação do sistema de controle com o operador. Por ela, o operador pode facilmente realizar a mudança da temperatura e rotação de trabalho da máquina, iniciar e finalizar o funcionamento, e obter medições em tempo real da temperatura do tambor.

Pré-requisitos:

- Alteração dos pontos de operação da máquina;
- Apresentação das medidas do sistema;
- Número reduzido de comandos;
- Resistência mecânica.

3 MATERIAS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

A fim de facilitar o entendimento, cada sistema terá seus respectivos materiais apresentados e serão a eles relacionados suas imagens, símbolos e identificadores esquemáticos e motivações para uso.

Os símbolos e identificadores esquemáticos aqui apresentados tem a finalidade de facilitar a leitura do diagrama elétrico ao relacionar o componente físico com sua simbologia. Os detalhes de cada componente são apresentados no diagrama elétrico.

3.1.1 Sistema de controle

O sistema de controle *Open Source* é composto por:

- Arduino Mega.

3.1.1.1 Arduino Mega

O Arduino Mega Figura 1 é uma placa de desenvolvimento da Arduino™ com ampla aplicação em projetos *Open Source*.

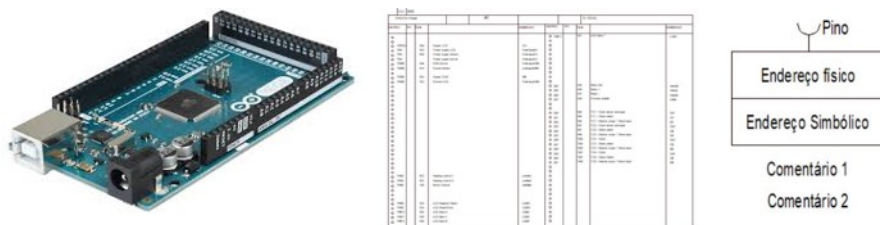
Suas motivações de uso são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Arduino Mega

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
A	1	Programação em linguagem C; Bibliotecas pré desenvolvidas; Ampla utilização em projetos <i>Open Source</i> ; Comunicação compatíveis com demais componentes.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 1 – (a) Arduino Mega, (b) e (c) Arduino Mega, símbolos esquemáticos.



Fonte: Arduino (2019) e IEC (2012).

3.1.2 Sistema de alimentação

O sistema de alimentação é composto de:

- Plug de tomada padrão ABNT 14136:2013;

- Disjuntor termomagnético 10 A;
- Chave plástica com knob longo com duas posições, 2 NA, 10 A;
- Botão de emergência com cogumelo 40 mm, 2 NF, 10 A;
- Fonte de alimentação 230 Vac/12 Vdc, 30 A;
- Barramento elétrico;
- Sinalizador luminoso vermelho, 12 Vac/dc.

3.1.2.1 Plug de tomada padrão ABNT 14136:2013

Plug padrão brasileiro para tomada de energia elétrica, Figura 2, é o conector padronizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para aplicações residenciais de até 20 A.

As especificações básicas do plug de tomada são:

- Número de pólos: 3;
- Corrente nominal: 10A.

Suas motivações de uso são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Plug de tomada padrão ABNT 14136:2013

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
XT	1	Compatibilidade com padrão brasileiro de tomadas; Promover aterramento elétrico.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 2 – (a) Plug de tomada padrão ABNT 14136, (b) Plug de tomada, símbolos esquemáticos.



Fonte: Steck (2019c) e IEC (2012)

3.1.2.2 Disjuntor termomagnético 10 A

Dispositivo de proteção, Figura 3, é responsável pela proteção contra curto-circuitos e sobrecargas em circuitos em corrente alternada.

As especificações básicas dos disjuntores termomagnéticos são:

- Número de pólos: 1;
- Corrente nominal: 10A;
- Fixação: trilho DIN 35x5.

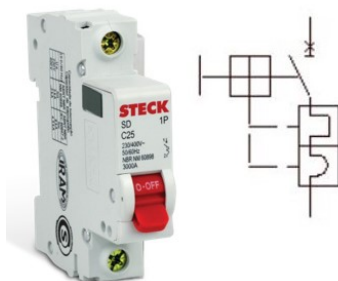
Suas motivações de uso são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Disjuntor termomagnético 10 A

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
F	2	Proteção dos circuitos; Conformidade com a ABNT NBR5410 (ABNT, 2004).

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 3 – (a) Disjuntor termomagnético 10 A, (b) Disjuntor termomagnético, símbolo esquemático



Fonte: Steck (2019d) e IEC (2012)

3.1.2.3 Chave plástica com knob longo com duas posições, 2 NA, 10 A

A chave seletora de duas posições, Figura 4, é responsável por ligar e desligar o equipamento em operação normal. Os dois contatos normalmente abertos, quando acionados possibilitam a alimentação do equipamento e quando liberados seccionam a alimentação, desligando o equipamento.

As especificações básicas da chave plástica são:

- Número de contatos: 2NA;
- Corrente nominal dos contatos: 10A.

Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Chave plástica com knob longo com duas posições, 2 NA, 10 A

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
S	1	Facilidade no desligamento do equipamento; Baixo custo comparado a chaves seccionadoras; Conformidade com a ABNT NBR5410 (ABNT, 2004).

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 4 – (a) Chave plástica com knob longo com duas posições, 2 NA, 10 A, (b) Símbolo esquemático



Fonte: Steck (2019a) e IEC (2012)

3.1.2.4 Botão de emergência cogumelo 40 mm, 2 NF, 10 A

O botão de emergência, Figura 5, é responsável pelo desligamento do equipamento em uma situação de perigo. Os dois contatos normalmente fechados, quando acionados seccionam a alimentação, desligando o equipamento.

As especificações básicas da botão de emergência são:

- Número de contatos: $2NA$;
- Corrente nominal dos contatos: $10A$.

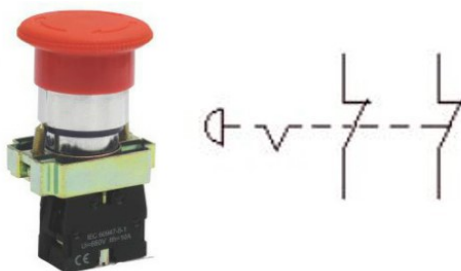
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 – Botão de emergência cogumelo 40 mm, 2 NF, 10 A

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
S	1	Segurança do equipamento; Conformidade com a NR12 (MTPS, 2019).

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 5 – (a) Botão de emergência cogumelo 40 mm, 2 NF, 10 A, (b) Símbolo esquemático



Fonte: Steck (2019b) e IEC (2012).

3.1.2.5 Fonte de alimentação 230 Vac/12 Vdc, 30 A

A fonte de alimentação, Figura 6, é responsável pelo fornecimento de potência elétrica em $12V_{dc}$ para os elementos em extra baixa tensão, simplificando dessa forma os requisitos de segurança.

As especificações básicas da fonte de alimentação são:

- Tensão de entrada: $110 - 230V_{ac}$;
- Tensão de saída: $12V_{dc}$;
- Corrente nominal de saída: $30A_{dc}$.

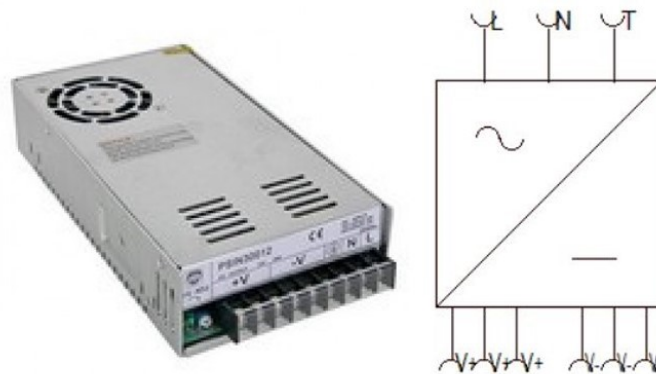
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 – Fonte de alimentação 230 Vac/12 Vdc, 30 A

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
T	1	Proteções embutidas; Tensão de saída compatível com os componentes; Sistemas operando em extra baixa tensão; simplificação nas normas de segurança.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 6 – (a) Fonte de alimentação 230 Vac/12 Vdc, 30 A, (b) Símbolo esquemático



Fonte: Solda Fria (2019a) e IEC (2012).

3.1.2.6 Barramento elétrico

O barramento elétrico, Figura 7, é responsável pela distribuição da alimentação em extra baixa tensão por todos os componentes do equipamento.

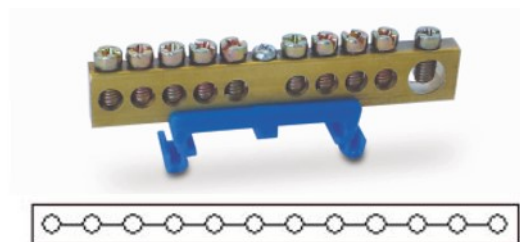
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 – Barramento elétrico

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
X	2	Conexão aparafusada; Baixas perdas; Alta corrente admissível.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 7 – (a) Barramento elétrico, (b) Símbolo esquemático.



Fonte: Steck (acessado em 14/08/2019) e produção do Próprio Autor¹.

3.1.2.7 Sinalizador luminoso vermelho, 12 Vac/dc

O sinalizador, Figura 8, é responsável por indicar visualmente o operador que a máquina encontra-se ligada.

As especificações básicas do sinalizador luminoso são:

- Cor: vermelho;
- Tensão nominal: $12V_{ac/dc}$.

Suas motivações para uso são apresentas na tabela 8.

Tabela 8 – Sinalizador luminoso vermelho, 12 Vac/dc

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
H	1	Conexão aparafusada; Sinalização clara.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 8 – (a) Sinalizador luminoso vermelho, 12 Vac/dc, (b) Símbolo esquemático



Fonte: Metaltex (2019a) e IEC (2012).

3.1.3 Sistema de aquecimento

O sistema de aquecimento é composto de:

- Resistores cerâmicos;
- Drivers de potência;

- Conectores do tipo SindalTM;
- Condutores elétricos para temperatura ambiente expandida;
- Fusível de vidro com porta-fusível.

3.1.3.1 Resistores cerâmicos

Os resistores cerâmicos, Figura 9, são responsáveis pela pelo aquecimento do tambor ao transformar energia elétrica em energia térmica por meio da dissipação de potência.

As especificações básicas do resistor cerâmico são:

- Resistência elétrica: 15Ω ;
- Potência nominal: $15W$;
- Encapsulamento: Cerâmico.

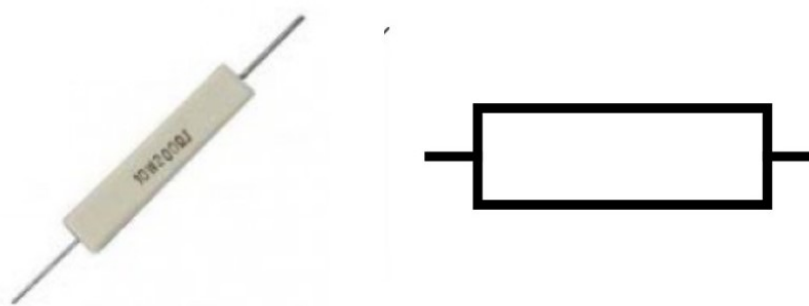
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 9. .

Tabela 9 – Resistores cerâmicos

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
R	16	Alta potência dissipada; Tamanho reduzido; Terminais previamente disponibilizados; Alta temperatura de operação.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 9 – (a) Resistor cerâmico, (b) Símbolo esquemático



Fonte: (a) Eletro Aquila (acessado em 14/08/2019) e (b) IEC (2012).

3.1.3.2 Drivers de potência IRF3205

Os drivers de potência, Figura 10, são responsáveis por permitir ou não a passagem de corrente elétrica pelos resistores a partir de um sinal de controle do controlador.

As especificações básicas do driver de potência são:

- Elemento semiconductor: Mosfet IRF3205;
- Sinal de controle: $3,3 - 5V_{dc}$;
- Tensão de saída: $0 - 24V_{dc}$;
- Corrente de saída: máximo $20A$.

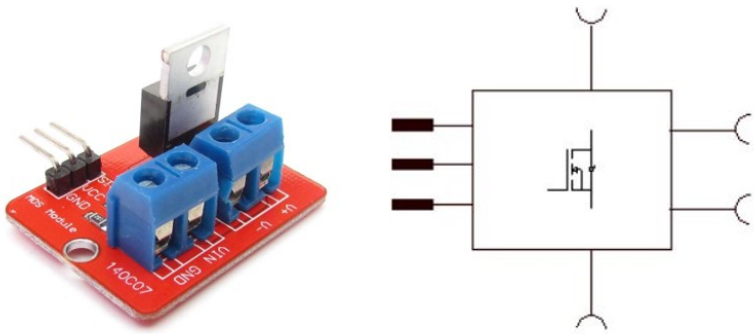
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 10.

Tabela 10 – Drivers de potência

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
K	2	Alta corrente admissível; Baixas perdas; Sinal de controle compatível com o Arduino.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 10 – Driver de potência



Fonte: (a) Tecnotronics (2019b) e (b) produção do Próprio Autor².

3.1.3.3 Conectores de tipo Sindal™

Os conectores do tipo Sindal™, Figura 11, são responsáveis pela conexão elétrica segura entre os cabos e os resistores em altas temperaturas.

As especificações básicas dos conectores do tipo Sindal™ são:

- Conexão: borne parafuso;
- Isolação: cerâmica;
- Corrente nominal: $32A$.

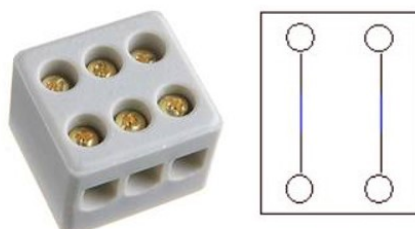
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 11.

Tabela 11 – Conectores de tipo Sindal™

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
XS	8	Alta corrente admissível; Resistência a temperatura.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 11 – (a) Conectores de tipo Sindal™, (b) Símbolo esquemático



Fonte: (a) Incer Morumbi (2019) e (b) produção do Próprio Autor³.

3.1.3.4 Condutores elétricos para temperatura ambiente expandida

Os condutores elétricos com isolamento em silicone, Figura 12, são responsáveis pela conexão elétrica segura entre o driver e os conectores do tipo Sindal™ em altas temperaturas.

As especificações básicas dos condutores elétricos para temperaturas ambientes expandidas são:

- Temperatura de operação: até +180°C⁴;
- Isolação: em silicone podendo;
- Cobertura adicional (opcional): Fibra de vidro.

Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 12.

Tabela 12 – Condutores elétricos para temperatura ambiente expandida

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
"Ext Temp"	2m	Resistência a temperatura.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

3.1.3.5 Fusível de vidro com porta-fusível

Os fusíveis de vidro, Figura 13, são responsáveis pela proteção contra curto-circuitos e sobrecargas nos circuitos do sistema de aquecimento.

As especificações básicas dos fusíveis são:

- Tamanho: 20x5mm;

⁴ LAPP BRASIL. **CABOS DE SILICONE (-50°C ATÉ +180°C)**. 2019. Disponível em: <<https://lappbrasil.lappgroup.com/online-catalogo/cabos-de-ligacao-e-de-controle/temperaturas-ambiente-expandidas/cabos-de-silicone-50oc-ate-180oc.html>>

Figura 12 – (a) Condutores elétricos para temperatura ambiente expandida, (b) Símbolo esquemático



Fonte: (a) Lapp Group Brasil (2019) e (b) produção do Próprio Autor⁵.

- Corrente nominal: 10A.

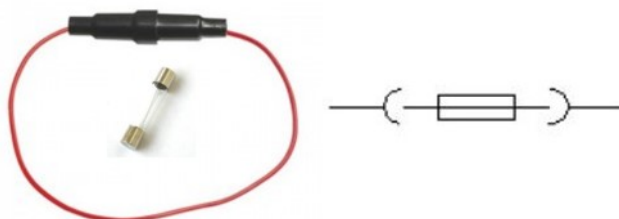
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 13.

Tabela 13 – Fusível de vidro com porta-fusível

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
F	2	Confiabilidade; Segurança da instalação.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 13 – (a) Fusível de vidro com porta-fusível e (b) Símbolo esquemático



Fonte: (a) Solda Fria (2019b) e (b) IEC (2012).

3.1.4 Sistema motriz

O sistema motriz é composto de:

- Motor de parabrisa automotivo;
- Driver de potência;
- Fusível de vidro com porta-fusível.

3.1.4.1 Motor de parabrisa automotivo

O motor de parabrisa automotivo, Figura 14, é responsável por promover a rotação da rosca utilizada no processo de extrusão.

As especificações básicas do motor são:

- Tensão nominal: $12V_{dc}$;
- Potência nominal: $24/28W$;
- Rotação nominal: $26/43rpm$;
- Corrente nominal: $7,0/9,0A$;
- Regime de serviço: S1.

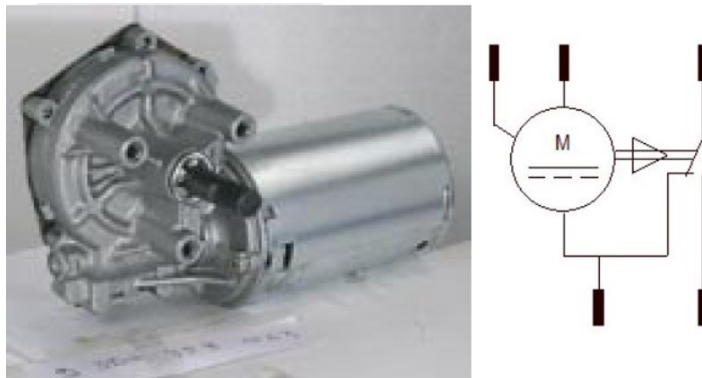
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 14.

Tabela 14 – Motor de parabrisa automotivo

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
M	1	Alto torque; Tensão do sistema de alimentação compatível; Controle de rotação simplificado; Terminais elétricos pré-instalados.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 14 – (a) Motor de parabrisa automotivo, (b) Símbolo esquemático



Fonte: Bosch (2019).

3.1.4.2 Drivers de potência IRF3205

O driver de potência, Figura 15, é responsável por permitir ou não a passagem de corrente elétrica pelo motor a partir de um sinal de controle do controlador.

As especificações básicas do driver de potência são:

- Elemento semicondutor: Mosfet IRF3205;
- Sinal de controle: $3,3 - 5V_{dc}$;
- Tensão de saída: $0 - 24V_{dc}$;
- Corrente de saída: máximo $20A$.

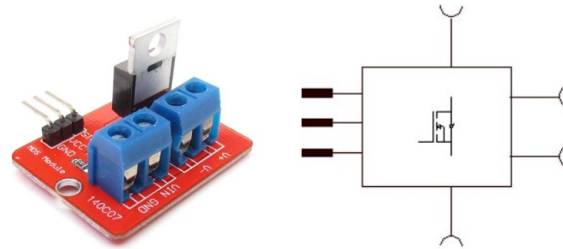
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 15.

Tabela 15 – Driver de potência

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
K	2	Alta corrente admissível; Baixas perdas; Sinal de controle compatível com o Arduino.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 15 – Driver de potência



Fonte: (a) Tecnotronics (2019b) e (b) produção do Próprio Autor⁶.

3.1.4.3 Fusível de vidro com porta-fusível

Os fusíveis de vidro, Figura 16, são responsáveis pela proteção contra curto-circuitos e sobrecargas nos circuitos do sistema de aquecimento.

As especificações básicas dos fusíveis são:

- Tamanho: $20 \times 5 \text{ mm}$
- Corrente nominal: 10A.

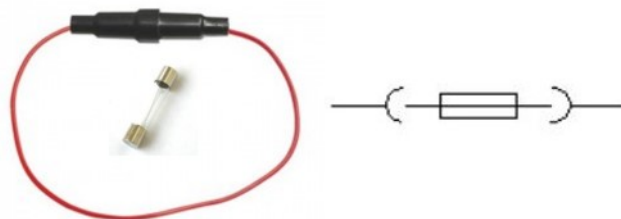
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 16.

Tabela 16 – Fusível de vidro com porta-fusível

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
F	2	Confiabilidade; Segurança da instalação.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 16 – (a) Fusível de vidro com porta-fusível e (b) Símbolo esquemático



Fonte: (a) Solda Fria (2019b) e (b) IEC (2012).

3.1.5 Sistema de medição de temperatura

O sistema de medição de temperatura é composto de:

- Termopares do tipo K;
- Módulo de leitura de termopares MAX6675.

3.1.5.1 Termopares do tipo K

Os termopares do tipo K, Figura 17, são responsáveis por converter a temperatura em um sinal elétrico de tensão proporcional que pode ser medido a distância.

As especificações básicas dos termopares do tipo K são:

- Temperatura de operação: $-50 \rightarrow 400^\circ\text{C}$;
- Comprimento do cabo: 1m .

Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 17.

Tabela 17 – Termopares do tipo K

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
B	4	Alta temperatura admissível; Relação linear entre a temperatura e o sinal elétrico; Tamanho reduzido; Leitura a distância.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 17 – (a) Termopares do tipo K, (b) símbolo esquemático



Fonte: (a) FlipFlop (2019b) e (b) IEC (2012).

3.1.5.2 Módulo de leitura de termopares MAX6675

O módulo MAX6675, Figura 18, é responsável pela conversão do sinal elétrico de tensão produzido pelo termopar em um sinal digital transmitido em protocolo SPI para o controlador.

As especificações básicas do módulo MAX6675 são:

- Tensão de operação: $3,3 - 5,0V_{dc}$;
- Protocolo de comunicação: SPI;

- Termopares compatíveis: tipo K.

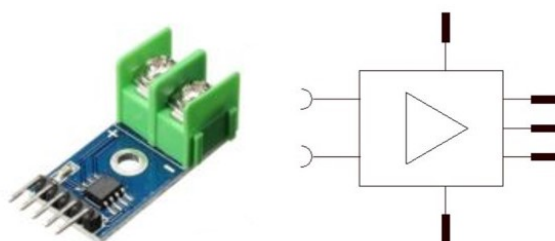
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 18.

Tabela 18 – Módulo de leitura de termopares MAX6675

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
B.D	4	Protocolo de comunicação compatível; Alimentação pelo próprio controlador.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 18 – (a) Módulo de leitura de termopares MAX6675, (b) símbolo esquemático



Fonte: (a) FlipFlop (2019c) e (b) produção do Próprio Autor⁷.

3.1.6 Interface homem-máquina

A interface homem máquina é composta de:

- Display LCD 16x2;
- Sinalizador luminoso amarelo, 12 Vac/dc;
- Botões pulsados nas cores preto e branco, 22 mm, 1 NA, 10 A;
- Chave plástica com knob curto com duas posições, 1 NA, 10 A.

3.1.6.1 Display LCD 16x2

O display LCD, Figura 19, é responsável por apresentar mensagens referentes a modos de operação e variáveis da máquina.

As especificações básicas do display LCD são:

- Tensão de operação: 5, 0V_{dc};
- Caracteres: ASCII;
- Controlador: HD44780.

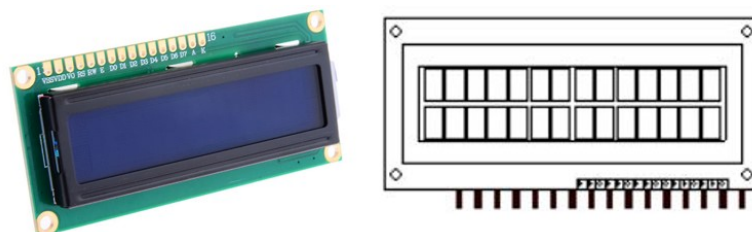
Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 19.

Tabela 19 – Display LCD 16x2

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
H	1	clareza nas mensagens; Compatibilidade com o controlador; Biblioteca nativa no controlador.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 19 – (a) Display LCD 16x2, (b) símbolo esquemático



Fonte: (a) FlipFlop (2019a) e (b) produção do Próprio Autor⁸.

3.1.6.2 Sinalizador luminoso amarelo, 12 Vac/dc

O sinalizador, Figura 20, é responsável por indicar visualmente o operador que a máquina encontra-se em operação, ou seja, se sistema de aquecimento e motriz estão ativos.

As especificações básicas do sinalizador luminoso são:

- Cor: amarelo;
- Tensão nominal: $12V_{ac/dc}$.

Suas motivações para uso são apresentas na tabela 20.

Tabela 20 – Sinalizador luminoso vermelho, 12 Vac/dc

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
H	1	Conexão aparafusada; Sinalização clara.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 20 – (a) Sinalizador luminoso amarelo, 12 Vac/dc, (b) Símbolo esquemático



Fonte: Metaltex (2019a) e IEC (2012).

3.1.6.3 Botões pulsados nas cores preto e branco, 22 mm, 1 NA, 10 A

Os botões pulsados, Figura 21, são responsáveis pela navegação entre os menus do equipamento e alterações de parâmetros da máquina.

As especificações básicas dos botões pulsados são:

- Número de contatos: 1NA;
- Corrente nominal dos contatos: 10A.

Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 21.

Tabela 21 – Botões pulsados nas cores preto e branco, 22 mm, 1 NA, 10 A

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
S	3	Robustes; Cores diferentes para facilitar a operação; Proteção contra toques involuntários.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 21 – (a) Botões pulsados nas cores preto e branco, 22 mm, 1 NA, 10 A, (b) Símbolo esquemático



Fonte: (a) Metaltex (2019b) e (b) IEC (2012).

3.1.6.4 Chave plástica com knob curto com duas posições, 1 NA, 10 A

A chave seletora, Figura 22, é responsável pela definição do modo de operação do equipamento. Por meio dele, o operador pode facilmente selecionar se deseja alterar algum parâmetro do equipamento ou iniciar seu processo de operação.

As especificações básicas da chave seletora são:

- Número de contatos: 1NA;
- Corrente nominal dos contatos: 10A.

Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 22.

Tabela 22 – Chave plástica com knob curto com duas posições, 1 NA, 10 A

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
S	1	Facilidade na escolha no modo de operação; Sinal digital contínuo, facilitando a programação; indicação visual para o operador.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 22 – (a) Chave plástica com knob curto com duas posições, 1 NA, 10 A, (b) símbolo esquemático



Fonte: (a) Steck (2019a) e (b) IEC (2012).

3.1.7 Demais componentes

Alem dos componentes apresentados, foram utilizados outros componentes para realizar as montagens:

- Caixa de passagem VDI de sobrepor 300 x 300 mm;
- Luva de emenda isolada 0,5 - 1,0 mm²;
- Prensa-cabos;
- Cabos elétricos diversos;
- Terminais elétricos do tipo tubular ilhós isolado 0,5 - 1,0 mm²;
- Terminais elétricos do tipo forquilha isolado 0,5 - 1,0 mm²;
- Terminais elétricos do tipo FASTINTM isolado 0,5 - 1,0 mm²;
- Terminais elétricos do tipo FASTONTM isolado 0,5 - 1,0 mm²;
- Conector elétrico para fontes ATX;
- Ventilador de refrigeração.

3.1.7.1 Caixa de passagem VDI de sobrepor 300 x 300 mm

A caixa de passagem, Figura 23, responsável pela alocação dos componentes elétricos do equipamento e impedir que toques acidentais em áreas energizadas causem acidentes.

No diagrama elétrico, a caixa é representada por um indicador de localização, representado pelo indicador "+S" presente na legenda da folha ou no início de um campo.

As especificações básicas da caixa de passagem são:

- Dimensões: $300 \times 300 \times 100 \text{ mm}$;
- Material: PVC.

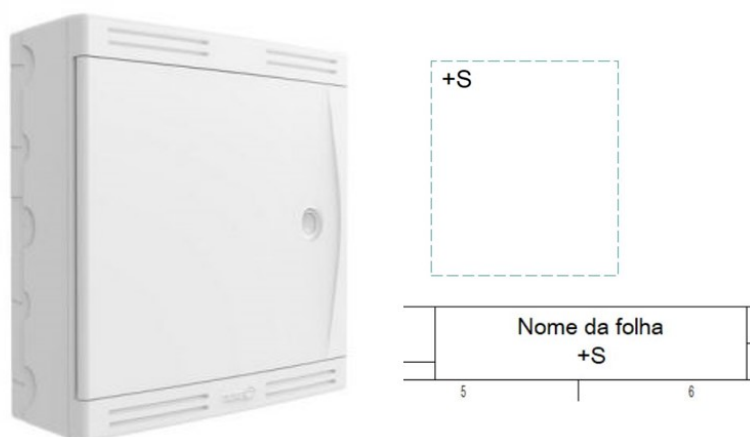
Suas motivações para uso são apresentas na tabela 23.

Tabela 23 – Caixa de passagem VDI de sobrepor 300 x 300 mm

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
+S	2	Grande área útil; Placa para montagem inclusa e com furação prévia.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 23 – (a) Caixa de passagem VDI, (b) e (c) símbolos esquemáticos



Fonte: (a) Tigre (2019) e (b) IEC (2012).

3.1.7.2 Luva de emenda isolada 0,25 - 1,6 mm²

A luva de emenda, Figura 24, promove uma conexão entre dois condutores por meio do processo de crimpagem, garantindo sua condutividade e isolamento com relação aos demais elementos.

As especificações básicas da luva de emenda são:

- Condutores admissíveis: 0,25 – 1,6 mm²;
- isolamento: PVC.

Suas motivações para uso são apresentas na tabela 24.

Tabela 24 – Luva de emenda isolada 0,25 - 1,6 mm²

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
X.S	52	Conexão segura; Fácil aplicação; Eliminação do uso de solda.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 24 – (a) Luva de emenda isolada 0,25 - 1,6 mm² e (b) Símbolo esquemático

Fonte: (a) Crimper (2019) e (b) Produção do próprio autor,⁹.

3.1.7.3 Prensa cabos

Os prensa cabos, Figura 25, são responsáveis pela vedação da entrada dos cabos nas caixas de passagem.

Na máquina foram utilizados três prensa cabos nas medidas PG 13,5, PG 9, BSP 1/2".

No circuito esquemático do equipamento os prensa cabos não são apresentados.

Tabela 25 – Prensa cabos

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
-	3	Vedação da passagem dos cabos; Entrada segura de cabos nas caixas VDI.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 25 – Prensa cabos



Fonte: Steck (2019e).

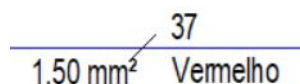
3.1.7.4 Condutores elétricos diversos

Os condutores elétricos são responsáveis pela conexão elétrica entre os componentes do equipamento.

Forão utilizados cabos de seção transversal 0,5; 1,0; 1,5 e 2,5 mm² com isolação de diferentes cores. A seção transversal e cor da isolação de cada cabo está representada no diagrama elétrico.

No diagrama elétrico a indicação do cabo, Figura 26, apresenta a seção transversal e cor da isolação do respectivo condutor.

Figura 26 – Cabos elétricos diversos, esquemático



Fonte: IEC (2012).

3.1.7.5 Terminais elétricos do tipo tubular ilhós isolado 1,5 mm²

O terminal elétrico do tipo ilhós, Figura 27, é responsável por garantir o contato elétrico em terminais aparafusados, onde a rotação o parafuso pode causar danos aos filamentos de cobre ao promover o contato elétrico.

As especificações básicas do terminal do tipo ilhos são:

- Condutores admissíveis: máximo 1,5 mm²;
- isolamento: PVC.

Suas motivações para uso são apresentas na tabela 26.

Tabela 26 – Terminais elétricos do tipo tubular ilhós isolado 1,5 mm²

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
X.T	12	Conexão segura em terminais a parafuso; Fácil aplicação; Eliminação do uso de solda.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 27 – (a) Terminais elétricos do tipo tubular ilhós isolado 1,5 mm², (b) símbolo esquemático



Fonte: (a) Crimper (2019) e (b) IEC (2012).

3.1.7.6 Terminais elétricos do tipo forquilha isolado 0,25 - 1,6 mm²

O terminal do tipo forquilha, Figura 28, é responsável por garantir o contato elétrico em terminais aparafusados onde uma arruela é responsável por promover o contato elétrico, garantindo maior área de contato elétrico e que a rotação do parafuso não provoque danos as fibras de cobre.

As especificações básicas do terminal do tipo forquilha são:

- Condutores admissíveis: 0,25 – 1,6 mm²;
- Isolamento: PVC.

Suas motivações para uso são apresentas na tabela 27.

Tabela 27 – Terminais elétricos do tipo forquilha isolado 0,25 - 1,6 mm²

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
X.F	8	Conexão segura em terminais a parafuso; Fácil aplicação; Eliminação do uso de solda.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 28 – Terminais elétricos do tipo forquilha isolado 0,25 - 1,6 mm²



Fonte: (a) Crimper (2019) e (b) IEC (2012).

3.1.7.7 Terminais elétricos do tipo FASTINTM isolado 0,25 - 1,6 mm².

Os terminais do tipo FASTINTM, Figura 29, são responsáveis por garantir a conexão em terminais do tipo lâmina, possibilitando fácil desconexão e isolamento com relação a outros componentes do sistema.

As especificações básicas dos terminais do tipo FASTINTM são:

- Condutores admissíveis: 0,25 – 1,6 mm²;
- isolamento: PVC.

Suas motivações para uso são apresentas na tabela 28.

Tabela 28 – Terminais elétricos do tipo FASTINTM isolado 0,25 - 1,6 mm²

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
X.Q	11	Conexão segura em terminais lâmina; Fácil aplicação; Eliminação do uso de solda; Desconexão fácil e segura.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 29 – Terminais elétridos do tipo FASTIN™ isolado 0,25 - 1,6 mm²



Fonte: (a) Crimper (2019) e (b) IEC (2012).

3.1.7.8 Terminais elétridos do tipo FASTON™ isolado 0,25 - 1,6 mm²

Os terminais do tipo FASTON™, Figura 30, são responsáveis por garantir a conexão em terminais do tipo lâmina, possibilitando fácil desconexão e isolamento com relação a outros componentes do sistema.

As especificações básicas dos terminais do tipo FASTON são:

- Condutores admissíveis: 0,25 – 1,6 mm²;
- isolamento: PVC.

Suas motivações para uso são apresentadas na tabela 29.

Tabela 29 – Terminais elétridos do tipo FASTON™ isolado 0,25 - 1,6 mm²

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
X.Q	11	Conexão segura em terminais lâmina; Fácil aplicação; Eliminação do uso de solda; Desconexão fácil e segura.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 30 – Terminais elétridos do tipo FASTON™ isolado 0,25 - 1,6 mm²



Fonte: (a) Crimper (2019) e (b) IEC (2012).

3.1.7.9 Cabo extensor para fontes ATX™

O cabo extensor, Figura 31, é responsável por garantir a conexão elétrica entre o painel frontal e os demais elementos do equipamento e possibilitar uma fácil desconexão quando necessário.

As especificações básicas do cabo extensor são:

- Conectores: padrão ATX™;
- Número de vias: 24.

Suas motivações para uso são apresentas na tabela 30.

No esquemático, cada pino do conector macho e fêmea é representado individualmente

Tabela 30 – Conectores para fontes ATX™

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
X.AT	1	Eliminação de possíveis erros na conexão da IHM; facilidade na manutenção do equipamento.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 31 – (a) Conectores para fontes ATX™, (b) e (c) símbolos esquemáticos



Fonte: (a) Fornecedor Mundial (2019) e (b) IEC (2012).

3.1.7.10 Ventilador de refrigeração

Os ventiladores de refrigeração, Figura 32, são responsáveis por forçar a circulação de ar pelos dissipadores de calor dos drivers de potência impedindo danos aos transistores por sobre temperatura.

As especificações básicas dos ventiladores são:

- Dimensões: $60 \times 60 \text{ mm}$;
- Tensão nominal: $12V_{dc}$.

Suas motivações para uso são apresentas na tabela 31.

Tabela 31 – Ventilador de refrigeração

Identificador esquemático	Quantidade	Motivações para uso
M	2	Refrigeração dos drivers de potência; Baixo consumo de energia.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

3.2 MÉTODOS

A fim de facilitar o entendimento, as etapas do projeto da máquina serão apresentadas e explicadas em ordem cronológica.

Figura 32 – Ventilador de refrigeração



Fonte: (a) Tecnotronics (2019a) e (b) IEC (2012).

3.2.1 Etapa 1: estudo do equipamento

O processo de extrusão de materiais plásticos é muito similar ao processo de injeção em máquinas injetoras de materiais plásticos, uma vez que ambas aplicam pressão mecânica ao material polimérico aquecido em uma matriz. A diferença entre esses dois processos é na matriz, onde nas máquinas injetoras é um molde e nas extrusoras o nozzle.

Para realização do processo de extrusão o equipamento deve ser capaz de promover a movimentação mecânica e o aquecimento do material.

A movimentação do material pode ser realizada por um mecanismo hidráulico, onde uma bomba hidráulica ao bombear óleo movimenta um pistão, que por sua vez, movimenta o material a ser extrusado, ou então por meio de uma broca ligada a um motor elétrico que ao girar movimenta o material presente em seus sulcos. Para a aplicação em questão o uso da broca foi escolhido devido a simplicidade e menores perdas.

O aquecimento do material pode ser realizado pela transferência de calor de um fluido aquecido, ar ou óleo, ao tambor, ou então pelo aquecimento de uma resistência elétrica em contato com o tambor. Para a aplicação em questão o uso de uma resistência elétrica foi escolhido devido a simplicidade e eliminação da circulação de fluido pelo equipamento.

A partir dessas escolhas, o equipamento pode ser dividido nos subsistemas apresentados anteriormente. e seus pré-requisitos específicos foram listados.

Atualmente não existem normativas específicas para máquinas extrusoras de materiais plásticos no que diz respeito aos requisitos de segurança. Dentre as normativas em vigos, o equipamento que mais se assemelha são as injetoras de materiais plásticos cujas normativa foi tomada como referência para desenvolvimento deste projeto.

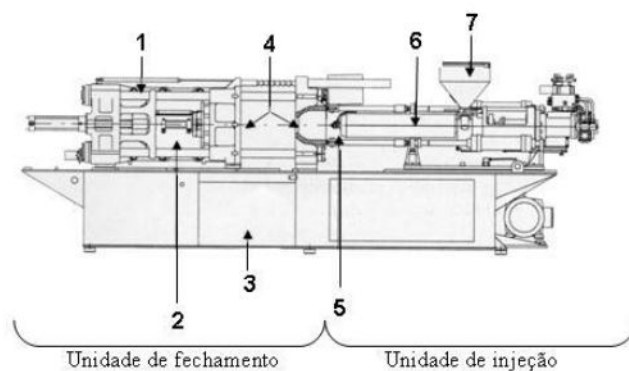
3.2.2 Etapa 2: estudo das normas aplicáveis

3.2.2.1 ANEXO IX da NR-12 - Injetora de materiais plásticos

Segundo o anexo IX "Considera-se injetora a máquina utilizada para a fabricação descontínua de produtos moldados, por meio de injeção de material no molde, que contém uma ou mais cavidades em que o produto é formado,"(MTPS, 2019).

Uma extrusora de plástico assemelha-se a unidade de injeção, Figura 33, de uma injetora de plástico horizontal, onde o item 5, bico de injeção, é semelhante ao nozzle; o item 6, cilindro de plastificação (canhão), é semelhante ao tambor; e item 7, funil de alimentação, é semelhante ao funil de enchimento.

Figura 33 – Ventilador de refrigeração



Fonte: MTPS (2019)

Logo, a extrusora pode ser comparada a uma máquina de injeção horizontal de plástico e deve atender seus requisitos específicos de segurança nas zonas de perigo.

Os requisitos específicos de segurança nas zonas de perigo são:

- Parada de emergência controlada;
- Proteção fixa contra o contato não intencional em partes quentes;
- As partes móveis devem receber proteções fixas.

3.2.2.2 NR-12 - Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos

Os requisitos gerais de segurança no trabalho com o equipamento no que diz respeito a instalação elétrica do mesmo são apresentados nos itens "12.3 Instalações e dispositivos elétricos", "12.4 Dispositivos de partida, acionamento e parada" e "12.6 Dispositivos de parada de emergência" (MTPS, 2019).

As medidas tomadas para atendimento da normativa estão apresentadas no capítulo de resultados.

3.2.2.3 NR 10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade

Os requisitos gerais em instalações e serviços em eletricidade no que diz respeito ao equipamento em questão é apresentado no item "10.3 Segurança em projetos" (MTPS, 2016).

As medidas tomadas para atendimento da normativa estão apresentadas no capítulo de resultados.

3.2.2.4 ABNT NBR-5410:2004 - Instalações elétricas de baixa tensão

Segundo o item 1.2.2 "Esta Norma aplica-se aos circuitos elétricos alimentados sob tensão nominal igual ou inferior a 1 000 V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400 Hz, ou a 1 500 V em corrente contínua" (ABNT, 2004), Logo é possível a utilização da norma como referência no dimensionamento da instalação elétrica do equipamento.

A norma apresenta as diretrizes para o dimensionamento de circuitos elétricos diferentes princípios fundamentais, para esta aplicação, dentre os princípios fundamentais apresentados no item 4.1, os utilizados nos dimensionamentos foram:

- Proteção contra choques elétricos;
- Proteção contra sobrecorrentes;
- Proteção contra correntes de falta;
- Desligamento de emergência;
- Acessibilidade dos componentes;
- Seleção dos componentes;
- Instalação dos componentes, no que diz respeito a integridade e resfriamento do mesmo e conexões elétricas seguras e confiáveis.

Dentre as características gerais do equipamento apresentadas no item 4.2, a utilizada nos dimensionamentos foi:

- Alimentação do equipamento.

No item 5.1 são apresentados os requisitos gerais de proteção contra choques elétricos. Neles são estabelecidos requisitos de proteção de partes vivas, ou seja energizadas, e partes condutivas acessíveis.

No item 5.3 são apresentados os requisitos gerais de proteção contra sobrecorrentes e correntes de curto circuito. Neles são estabelecidos diretrizes para proteção dos condutores vivos por meio de dispositivos de seccionamento automático capazes de interromper sobreccorrentes e curto circuitos antes que seus efeitos se tornem nocivos.

No item 6 são apresentas as diretrizes para seleção dos componentes e a maneira como serão instalados no equipamento. Por meio dessas todos os componentes e condutores da instalação serão dimensionados. Os resultados o dimensionamento formam o memorial descritivo e a forma com que os componentes são conectados, o diagrama elétrico. A união desses dois documentos constitui a documentação do projeto.

3.2.3 Etapa 3: dimensionamentos

Os dimensionamentos foram calculados seguindo as diretrizes da ABNT NBR 5410:2004 (ABNT, 2004) e reunidos no Anexo A - Memorial Descritivo do equipamento.

3.2.4 Etapa 4: Desenho do diagrama elétrico

O diagrama elétrico foi elaborado em conformidade com os símbolos da norma IEC 60617 (IEC, 2012), tendo as funcionalidade no sistema apresentadas em páginas separadas com seus respectivos componentes e localizações.

No diagrama elétrico estão representadas todas as conexões entre os componentes elétricos do equipamento indicando os respectivos condutores. O controlador teus suas portas apresentadas em uma tabela e individualmente ao longo do diagrama informando sua função, endereço físico e simbólico e localização no diagrama.

3.2.5 Etapa 5: Montagem e testes do equipamento

Os desenhos utilizados no planejamento da montagem física do equipamento estão disponíveis juntos ao diagrama elétrico. Neles são apresentados o posicionamento físico dos componentes no equipamento.

A montagem física do equipamento e os testes de funcionamento dos componentes é apresentado nos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATENDIMENTO AO ANEXO IX DA NR-12 - INJETORA DE MATERIAIS PLÁSTICOS

Para atender os requisitos específicos do anexo IX foram tomadas as seguintes medidas.

- A parada de emergência é realizada seccionando a alimentação geral do equipamento ao se acionar a parada de emergência. Não estão presentes na máquina equipamentos de acionamento hidráulico cuja descarga dos acumuladores deva ser gradual ou travas a mola cuja manutenção da energização seja necessária para atingir o estado seguro.
- As partes quentes do equipamento foram protegidas contra contato não intencional por meio da cobertura por manta de isolamento termica em toda a parte aquecida.
- As partes móveis estão totalmente cobertas por proteção física, impedindo o qualquer contato não intencional do operador ou objetos.

4.2 ATEDIMENTO A NR-12 - SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

Para atender os requisitos específicos do item 12.3 foram tomadas as seguintes medidas.

- Todos os componentes de comando e potência estão acomodados dentro dos painéis elétricos, protegendo seus contatos contra toques não intencionais.
- A estrutura metálica do equipamento apresenta uma conexão física com o condutor de aterramento da alimentação.
- Os condutores de alimentação são do tipo cabo multipolar, garantindo a eles maior resistência mecânica e a entrada no painel é feita por meio de um prensa cabo, garantindo a não movimentação e exposição a cantos vivos.
- A porta do painel de potência, quando aberta, dá acesso apenas a alavanca dos disjuntores, para acesso aos cabos e contatos é necessário a retirada a tampa frontal.
- O acesso ao painel de comando só é possível com o uso de ferramentas, o mantendo fechado exceto em operações de manutenção.
- O grau de proteção dos painéis quando fechados é IP42, conferindo a eles proteção contra particulados sólidos e contra gotas de água mesmo que com inclinação de 15°.
- Todas as ligações elétricas foram realizadas por terminais apropriados e as derivações foram realizadas por luvas de emenda.
- O equipamento é dotado de disjuntores na entrada da alimentação.

- A chave geral do equipamento não é capaz sozinha de promover o início da operação da máquina.

Para atender os requisitos específicos do item 12.4 foram tomadas as seguintes medidas.

- Os dispositivos de acionamento e parada do equipamento encontram-se de frente com o operador e apresentam barreiras contra o acionamento acidental. Devido ao tamanho reduzido do equipamento, não é necessário a presença de um dispositivo de parada de emergência além do em frente ao operador.
- Os componentes de partida e parada que compõem a o circuito de comando operam em $12V_{dc}$, ou seja, dentro da zona de extra baixa tensão.

Para atender os requisitos específicos do item 12.6 foram tomadas as seguintes medidas.

- A máquina é dotada de um botão de emergência capaz de promover a parada completa do equipamento quando acionado.
- O botão de emergência por si só não é capaz de promover o acionamento da máquina e nem a sua parada em operação normal.
- O botão de emergência está posicionado de frente ao operador, junto aos demais comandos, sendo de fácil acesso pelo operador e tem sua operação prioritária, ou seja, em qualquer momento que seja acionado, provoca o desligamento do equipamento e permanece nessa condição até que a retenção do acionador seja desacionada.

4.3 NR 10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE

Para atender os requisitos específicos do item 10.3 foram tomadas as seguintes medidas.

- A alimentação do equipamento por meio de um plug de tomada possibilitando a desenergização do equipamento por completo.
- Toda a documentação referente ao projeto está incorporada a este trabalho e permanecerá disponível em plataforma *Open Source*.
- A sinalização de dispositivo ligado é na cor vermelha.

4.4 ABNT NBR-5410:2004 - INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

Os resultados dos dimensionamentos conforme item 4.2 foram:

- Natureza da corrente: Alternada;
- Frequência: $60Hz$;
- tensão nominal: $110 - 230V_{ac}$;

Para atender os requisitos específicos do item 5.1 foram tomadas as seguintes medidas:

- Proteções básicas por meio de isolamentos e invólucros e proteções supletivas separadas entre proteções do circuito em extrabaixa tensão do circuito de alimentação.
- No circuito em extrabaixa tensão a fonte de alimentação garante que mesmo em situações de falha interna a tensão em seus contatos de saída não supere os valores limites.

Para atender os requisitos específicos do item 5.3 foram tomadas as seguintes medidas:

- Devido a alimentação poder ser feita de forma monofásica ou bifásica, ambos os condutores são tratados como condutores de fase e apresentam um disjuntor termomagnético posicionado na entrada do cabo para seccionamento automático em caso de sobrecorrente ou curto circuito.
- Os componentes de potência do circuito em extrabaixa tensão apresentam fusíveis posicionados em sua entrada para seccionamento automático em caso de sobrecorrentes ou curto circuito.

Os cálculos efetuados durante o dimensionamento são apresentados e detalhados no Apêndice A - Memorial descritivo e seus resultados compilados a seguir.

4.5 MEMORIAL DESCRITIVO

4.5.1 Sistema de aquecimento

Os resultados do dimensionamento do sistema de aquecimento foram:

- Corrente nominal: $I_n = 6,65A$;
- Seção transversal do condutor: $\#1,5mm^2$;
- Dispositivo de proteção: fusível de vidro 10A;

4.5.2 Sistema motriz

Os resultados do dimensionamento do sistema de aquecimento foram:

- Corrente nominal: $I_n = 9,0A$;
- Seção transversal do condutor: $\#1,5mm^2$;
- Dispositivo de proteção: fusível de vidro 15A;

4.5.3 Sistema de alimentação

Os resultados do dimensionamento do sistema de aquecimento foram:

- Corrente nominal: $I_n = 2,5A$;
- Seção transversal do condutor: $\#1,5mm^2$;
- Dispositivo de proteção: disjuntor termomagnético 10A;

4.6 DIAGRAMA ELÉTRICO

O diagrama está apresentado no Apêndice C - Diagrama elétrico.

4.7 MONTAGEM FÍSICA DO EQUIPAMENTO

A seguir são apresentadas fotos da montagem física do equipamento.

4.7.1 Montagem dos componentes na placa de montagem, painel de controle

Os componentes foram montados na placa de montagem conforme o desenho de montagem do painel de controle e conectados conforme o diagrama elétrico.

O aspecto final da montagem e as conexões entre os componentes são apresentados nas Figuras 37 e 38.

Figura 34 – Montagem dos componentes, painel de controle.



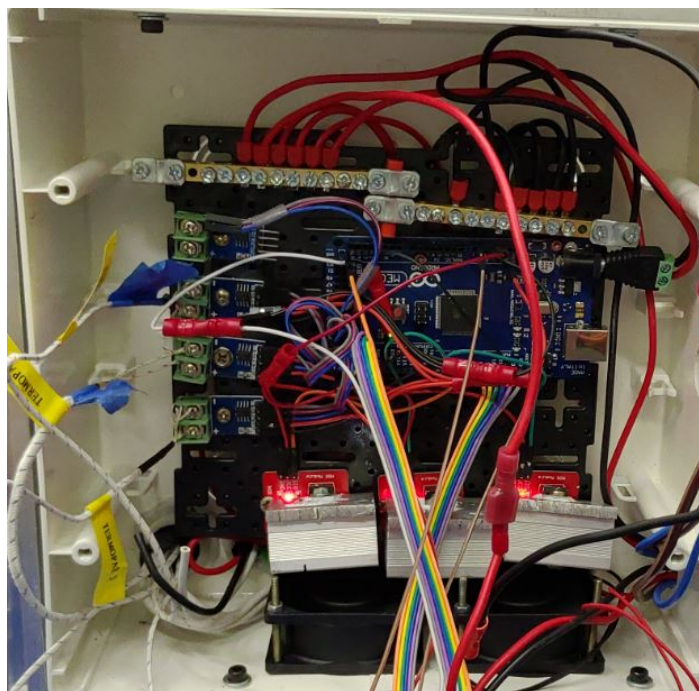
Fonte: do Próprio Autor

4.7.2 Prototipagem do painel da interface homem-máquina

A fim de validar o posicionamento dos componentes da interface homem-máquina no painel frontal antes da confecção final em acrílico foi realizado um prototipo utilizando uma placa de papelão, Figura 39.

No teste foi validada a não interferência dos contatos dos botões com os demais componentes, Figura 40.

Figura 35 – Conexão dos componentes, painel de controle.



Fonte: do próprio autor

Figura 36 – Protótipo em placa de papelão.



Fonte: do próprio autor

4.7.3 Montagem e ligação elétrica dos componentes na interface homem-máquina

Os componentes foram montados na placa de acrílico conforme o desenho de montagem da interface homem máquina e conectados conforme o diagrama elétrico.

O aspecto final da montagem e as conexões entre os componentes são apresentados nas Figuras 41 e 42.

4.7.4 Montagem e ligação elétrica dos resistores no tambor

Os resistores foram montados no tambor distribuídos uniformemente e ligados em pares alternados conforme o diagrama elétrico.

Figura 37 – Validação do protótipo.



Fonte: do próprio autor

Figura 38 – Montagem dos componentes, interface homem máquina



Fonte: do próprio autor

O aspecto final da montagem e as conexões entre os resistores são apresentados nas Figuras 43 e 44.

4.7.5 Conexão elétrica do motor

O motor foi ligado conforme o diagrama elétrico.

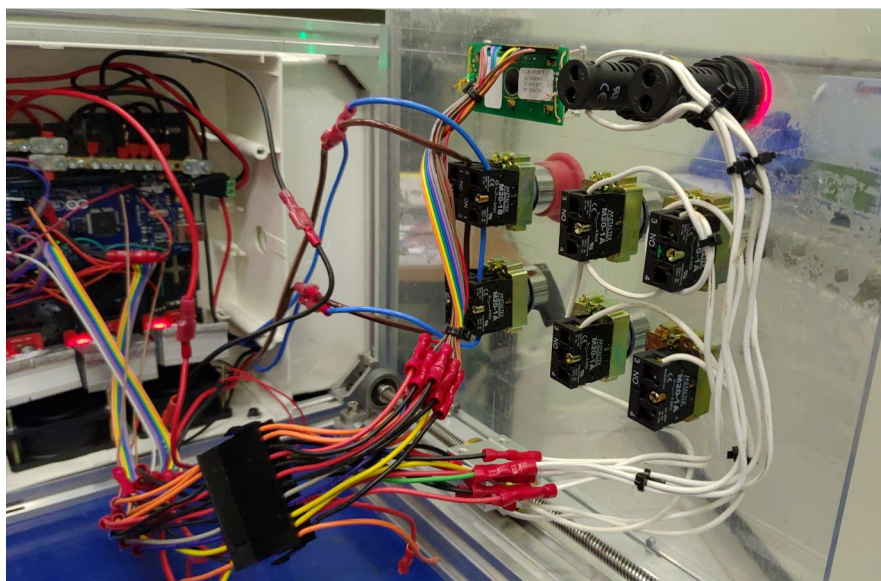
Apesar de utilizado apenas dois condutores foram instalados 4 condutores possibilitando expansões futuras.

O aspecto final da montagem e as conexões do motor é apresentado na Figura 45.

4.8 VÁLIDAÇÕES DO PROJETO

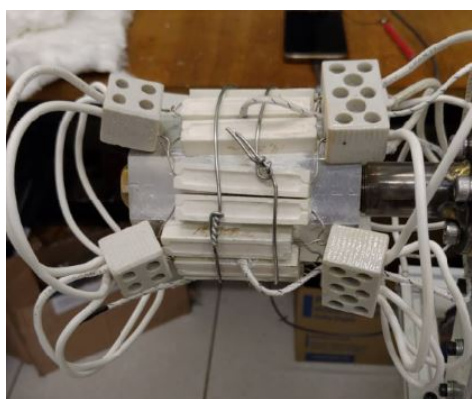
A seguir são apresentadas fotos dos resultados dos testes realizados no equipamento.

Figura 39 – Conexão dos componentes, interface homem máquina.



Fonte: do próprio autor

Figura 40 – Montagem dos componentes, resistores.



Fonte: do próprio autor

4.8.1 Validação da potência de aquecimento

A fim de validar o uso dos 16 resistores para o aquecimento, os mesmos foram montados ao redor de um cilindro maciço de alumínio sem isolamento térmico com o meio. O circuito foi alimentado e a temperatura do centro do bloco foi monitorada por meio de um termopar.

No teste foi atingida a temperatura de 290°C , conforme Figura 34..

4.8.2 Montagem e ligação elétrica dos componentes na placa de montagem, painel de potência

Os componentes foram montados na placa de montagem conforme o desenho de montagem do painel de potência e conectados conforme o diagrama elétrico.

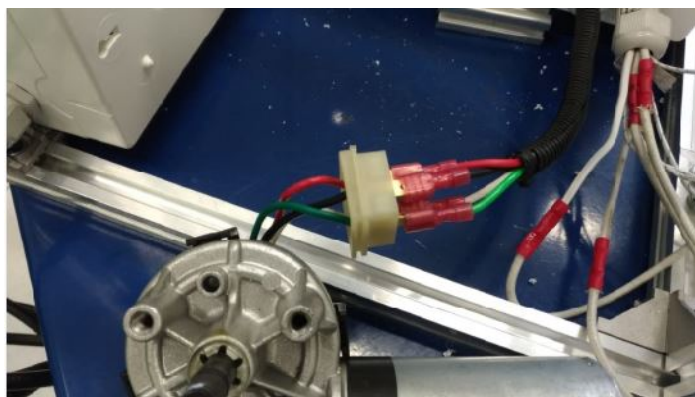
O aspecto final da montagem e as conexões entre os componentes são apresentados nas Figuras 35 e 36.

Figura 41 – Conexão dos componentes, resistores.



Fonte: do próprio autor

Figura 42 – Conexão do componente, motor.



Fonte: do próprio autor

4.8.3 Validação da interface homem-máquina

A interface homem máquina foi validada por meio da apresentação de mensagens do display LCD e comandos ao controlador pelos botões e acionamento das luzes.

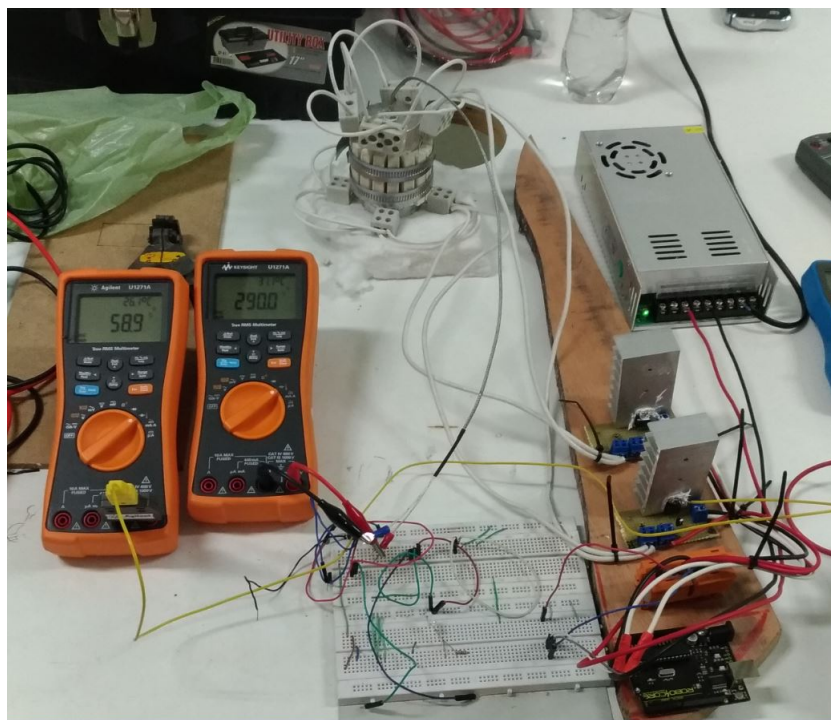
Uma das mensagens apresentadas no display LCD é apresentada na Figura 46.

A luz indicadora de operação, amarela, apresentou um brilho baixo por ter sido alimentada em $5V_{dc}$.

4.8.4 Validação da leitura dos termopares e do requisito de temperatura

A leitura dos termopares foi validada por meio de mensagem do display.

Figura 43 – Validação potência de aquecimento.



Fonte: do Próprio Autor.

Figura 44 – Montagem dos componentes, painel de potência.



Fonte: do Próprio Autor.

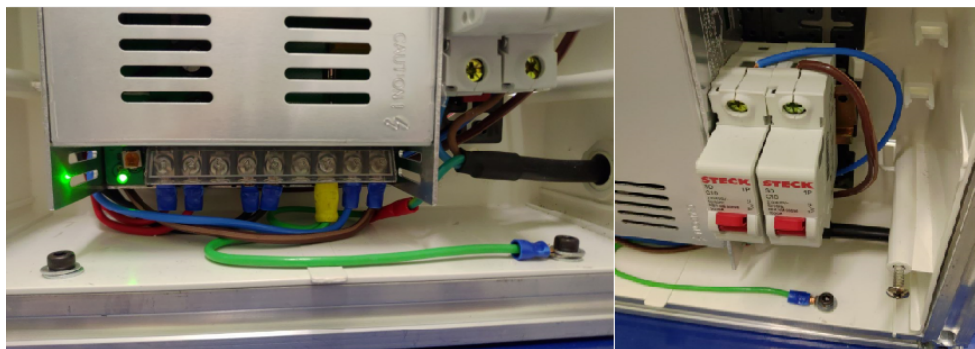
O requisito de temperatura foi validado por meio da apresentação de temperatura medida acima do requisito em mensagem no display LCD,

A Figura 47, mostra a leitura de um dos termopares acima dos 300°C .

4.8.5 Validação da alimentação do motor.

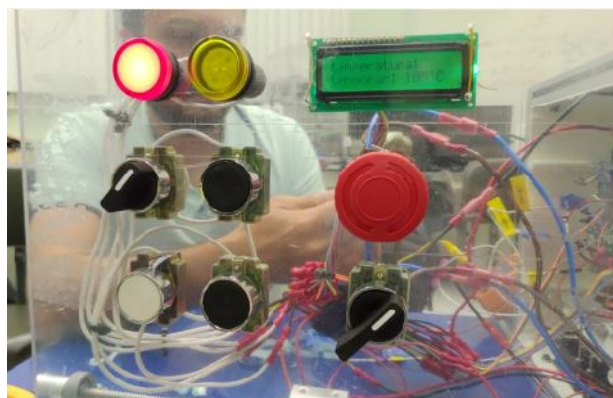
A alimentação do motor foi validada por meio da inspeção visual da rotação do motor.

Figura 45 – Conexão dos componentes, painel de potência.



Fonte: do próprio autor

Figura 46 – Validação da interface homem-máquina, mensagem no display LCD.



Fonte: do próprio autor

4.8.6 Validação dos dimensionamentos

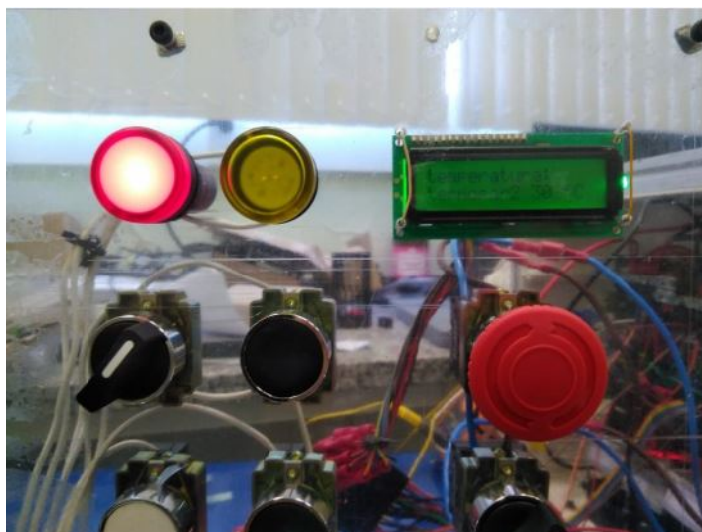
Os dimensionamentos foram validados por meio de medições de corrente nos condutores. A corrente nos resistores é apresentada na Figura 48, no motor na Figura 49 e no alimentados na Figura 50.

Todas as medições de corrente foram coerentes com os valores esperados no memorial descritivo.

4.8.7 Custo final do projeto

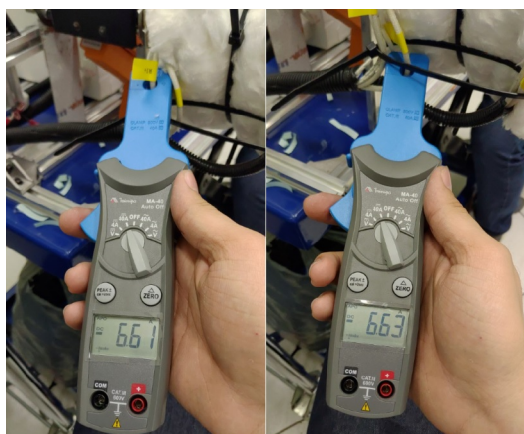
O custo total para aquisição dos componentes relacionados nesse trabalho foi de R\$921,00. Uma lista com todos os componentes utilizados e seus respectivos valores é apresentada no Apêndice B

Figura 47 – Validação da leitura dos termopares e requisito de temperatura.



Fonte: do próprio autor

Figura 48 – Validação dos dimensionamentos, corrente nos resistores.



Fonte: do próprio autor

Figura 49 – Validação dos dimensionamentos, corrente no motor.



Fonte: do próprio autor

Figura 50 – Validação dos dimensionamentos, corrente no alimentador.



Fonte: do próprio autor

5 CONCLUSÃO

Ao final da montagem física do projeto foi possível a validação de que todos os requisitos foram atingidos com sucesso, ficando assim disponível o equipamento para o desenvolvimento do software para controle do processo de extrusão.

Ao final do projeto foi possível a utilização apenas de componentes de fácil acesso ao mercado e com o custo final de R\$921,00. Um equipamento similar encontrado no mercado tem um custo na casa de milhares de reais, com isso o objetivo de um projeto de baixo custo e de fácil replicabilidade foi atingido.

6 SUGESTÕES FUTURAS

A partir desses resultados, algumas possibilidades de melhoria foram levantadas, tais como:

- Alimentação do sinalizador de operação em 12V.
- Leitura da rotação do motor por dois dois condutores sobressalentes.
- Alocação dos componentes em um painel maior, possibilitando maior espaçamento.
- Desenho de montagem elétrica constando a representação real dos componentes e dimensões dos cabos.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. **Placa Arduino Mega 2560 R3**. 2019. Disponível em: <<https://www.tecnotronics.com.br/placa-arduino-mega-2560-r3.html>>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. 209 p.
- BOSCH. **Datasheet CEP 9 390 453 023**. 2019. Disponível em: <<https://www.casaferreira.com.br/fileuploader/download/download/?d=1&file=custom%2Fupload%2FFile-1481303436.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência Social. **NR 10**: Segurança em instalações e serviços em eletricidade. Brasília, 2016. 14 p.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência Social. **NR 12**: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Brasília, 2019. 164 p.
- COMISSÃO ELETROTÉCNICA INTERNACIONAL. **IEC 60617**: símbolos gráficos para diagramas. Genebra, 2012. 138 p.
- CRIMPER. **Terminais Elétricos e Ferramentas de Compressão**. 2019. Disponível em: <<https://crimper.com.br/produtos/>>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- ELETRO AQUILA. **Resistor 10w Watt - 10r 10ohms 10 Ceramico**. acessado em 14/08/2019. Disponível em: <<https://eletroaquila.com.br/resistor-10w-watt-10r-10ohms-10-ceramico>>.
- FLIPFLOP. **Display LCD 162 Backlight Azul**. 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/display-lcd-16x2-backlight-azul/>>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- FLIPFLOP. **Sensor Termopar Tipo K Temperatura -50 a 400°C**. 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-termopar-tipo-k-temperatura-50-a-650c/>>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- FLIPFLOP. **Termopar Tipo K com Módulo MAX6675**. 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/termopar-tipo-k-com-modulo-max6675/>>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- FORNECEDOR MUNDIAL. **Cabo Extensor Fonte Atx De 24 Para 24 Pinos 20 Cm**. 2019. Disponível em: <<https://www.lojafornecedormundial.com.br/cabo-extensor-fonte-atx-de-24-para-24-pinos-20-cm>>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- INCER MORUMBI. **Materiais Elétricos**. 2019. Disponível em: <<http://www.incer.com.br/>>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- LAPP GROUP BRASIL. **OLFLEX™ HEAT 180 SiF**. 2019. Disponível em: <<https://lappbrasil.lappgroup.com/online-catalogo/cabos-de-ligacao-e-de-controle/temperaturas-ambiente-expandidas/monopolaes-de-silicone-50oc-ate-180oc/oelflex-heat-180-sif.html>>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- LYMAN, H. **Lyman Filament Extruder II**. USA: [s.n.], 2012.
- METALTEX. **L20-R - Sinalizador LED com proteção IP65**. 2019. Disponível em: <<https://www.metaltex.com.br/produtos/automacao/sinalizadores/l20-r-sinalizador-led-com-protecao-ip65>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

METALTEX. **P20 - Botão de comando plástico 22mm**. 2019. Disponível em: <<https://www.metaltex.com.br/produtos/automacao/comando/p20-botao-de-comando-plastico-22mm>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

OGATA, K. **Modern control engineering**. Boston: Prentice-Hall, 2010. ISBN 978-0136156734.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **17 Objetivos para transformar nosso mundo**. 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015>>. Acesso em: 10 out. 2018.

SOLDA FRIA. **Fonte chaveada industrial 300W 12V 25A**. 2019. Disponível em: <<https://www.soldafria.com.br/fonte-chaveada-industrial-300w-12v-25a-s-300wbfc-300w-12vdc-p-7089.html?search=fonte%2012V%2030%20A>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

SOLDA FRIA. **Porta fusível F103C com fio para fusível pequeno 5x20mm**. 2019. Disponível em: <<https://www.soldafria.com.br/porta-fusivel-f103c-com-fio-para-fusivel-pequeno-5x20mm>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

STECK. **Botão Comutador**. 2019. Disponível em: <<https://www.steck.com.br/produtos/comando-e-protecao/max-botton/botoes-22-5/botao-comutador>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

STECK. **Botão de Retenção (Tipo Soco) Girar para Destravar**. 2019. Disponível em: <<https://www.steck.com.br/produtos/comando-e-protecao/max-botton/botoes-22-5/botao-de-retencao-tipo-soco-girar-para-destravar>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

STECK. **Linha QuickTM - Conexões Elétricas**. 2019. Disponível em: <<https://www.steck.com.br/produtos/plugues-e-tomadas-uso-comercial-residencial/conexoes-eletricas-quick>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

STECK. **Minidisjuntores**. 2019. Disponível em: <<https://www.steck.com.br/produtos/comando-e-protecao/minidisjuntores>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

STECK. **Prensa cabos**. 2019. Disponível em: <<https://www.steck.com.br/produtos/outros-produtos-uso-industrial/prensa-cabos-tampoes/prensa-cabos-1>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

STECK. **Barramento Neutro e Terra**. acessado em 14/08/2019. Disponível em: <<https://www.steck.com.br/produtos/quadros-de-distribuicao-interface-e-vdi-voz-dados-e-imagem/acessorios-e-barramentos-para-quadros/barramento-neutro-e-terra?q=barramento>>.

SUB33D. **Sub33D Filament Extruder v1-00 - Build sequence - Nozzle heater assembly**. 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=yi4yjBnVJm8>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

TECNOTRONICS. **Micro Ventilador 80x80x25mm**. 2019. Disponível em: <<https://www.tecnotronics.com.br/micro-ventilador-80x80x25mm-fan-cooler-12v-02-a-mini-80mm.html>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

TECNOTRONICS. **Módulo Dimmer Mosfet Irf3205**. 2019. Disponível em: <<https://www.tecnotronics.com.br/modulo-mosfet-irf3205-driver-controlador.html>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

TIGRE. **Quadro sistema VDI - 30x30 sobrepor**. 2019. Disponível em: <<https://www.tigre.com.br/quadro-sistema-vdi-30x30-sobrepor>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

APÊNDICE A – MEMORIAL DESCRITIVO

A.1 SISTEMA DE AQUECIMENTO

A.1.1 Dados da carga

Para atingir os 160 W foram utilizados 16 resistores cerâmicos de 10 W e 15 Ω cada.

A fim de facilitar o dimensionamento do driver de potência, os resistores foram agrupado em dois grupos 8 resistores.

A.1.2 Corrente nominal

$$I_n = \frac{P}{2 \times U_{dc}} = \frac{160}{2 \times 12} = 6.65A \quad (1)$$

Sendo:

I_n : Corrente nominal [A];

P : Potência [W];

U_{dc} : Tensão em corrente continua [V].

A.1.3 Capacidade mínima de corrente no condutor aplicando o fator de serviço

Devido ao sistema de aquecimento apresentar apenas carga resistiva, $F_s = 1,0$.

$$I'_n = I_n \times F_s = 1 \times 6,65 = 6.65A \quad (2)$$

Sendo:

I'_n : Corrente nominal corrigida [A];

F_s : Fator de serviço;

A.1.4 Método de instalação e fatores de correção

Método de instalação "B1 - Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto"(ABNT, 2004)

- Fator de correção de temperatura ambiente: $T_{amb} \approx 40^\circ C \rightarrow F_t = 0,87$
- Fator de correção de agrupamento: $N_{ckt} = 2 \rightarrow F_a = 0,8$

Aplicando os fatores de correção:

$$I_{nc} = \frac{I'_n}{F_t \times F_a} = \frac{6,65}{0,87 \times 0,8} = 9.55A \quad (3)$$

A.1.5 Determinação da seção transversal

Segundo a "Tabela 36 — Capacidades de condução de corrente, em ampères"(ABNT, 2004) para método B1 e 2 condutores carregados:

$$\#1,5mm^2 \rightarrow I_{cond} = 17,5A \quad (4)$$

A.1.6 Cálculo da queda de tensão no condutor

Devido a distância do condutor ser inferior a 1 m, o cálculo da queda de tensão no condutor pode ser dispensado.

A.1.7 Dimensionamento do driver de potência

O driver escolhido foi o módulo mosfet IRF3205. (TECNOTRONICS, 2019b)

Características:

- Tensão do sinal de controle: 3,3 a 5 V;
- Tensão de saída: 0 a 24 V;
- Corrente de saída: 0 a 24 A, para mais de 5 A, instalar um dissipador de calor.

A.1.8 Dimensionamento do dispositivo de proteção

Para a proteção das resistências são utilizados elementos fusíveis com encapsulamento em vidro.

A.1.8.1 Dimensionamento do elemento fusível

Conforme o item "6.3.4.3.1 Dispositivos fusíveis"(ABNT, 2004)

$$I_f \geq I'_n \rightarrow I_f \geq 9,55 \quad (5)$$

$$I_f \leq I_{cond} \rightarrow I_f \leq 17,5 \quad (6)$$

$$I_f \leq I_{driver} \rightarrow I_f \leq 20 \quad (7)$$

Sendo:

I_f : Corrente de fusão do fusível [A];

I_{cond} : Corrente máxima do condutor [A];

I_{driver} : Corrente máxima do driver [A].

Logo:

O fusível utilizado foi:

$$I_f = 10A \quad (8)$$

A.2 SISTEMA MOTRIZ

A.2.1 Dados da carga

O motor escolhido para a aplicação foi o Bosch CEP 9 390 453 023, segundo o ser datasheet:

- Corrente nominal: $I_n = 9,0A$;
- Tensão nominal: 12 V;
- Rotação nominal 26 e 43 RPM.

A.2.2 Capacidade mínima de corrente no condutor aplicando o fator de serviço

Em motores cujo fator de serviço é S1, $F_s = 1,15$.

$$I'_n = I_n \times F_s = 9,0 \times 1,15 = 10,35A \quad (9)$$

Sendo:

I'_n : Corrente nominal corrigida [A];

F_s : Fator de serviço;

A.2.3 Método de instalação e fatores de correção

Método de instalação "B1 - Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto"(ABNT, 2004)

- Fator de correção de temperatura ambiente: $T_{amb} \approx 40^\circ \rightarrow F_t = 0,87$
- Fator de correção de agrupamento: $N_{ckt} = 1 \rightarrow F_a = 1$

Aplicando os fatores de correção:

$$I_{nc} = \frac{I'_n}{F_t \times F_a} = \frac{10,35}{0,87 \times 1,0} = 11,9A \quad (10)$$

A.2.4 Determinação da seção transversal

Segundo a "Tabela 36 — Capacidades de condução de corrente, em ampères"(ABNT, 2004) para método B1 e 2 condutores carregados:

$$\#1,5mm^2 \rightarrow I_{cond} = 17,5A \quad (11)$$

A.2.5 Cálculo da queda de tensão no condutor

Devido a distância do condutor ser inferior a 1 m, o cálculo da queda de tensão no condutor pode ser dispensado.

A.2.6 Dimensionamento do driver de potência

O driver escolhido foi o módulo mosfet IRF3205. (TECNOTRONICS, 2019b)

Características:

- Tensão do sinal de controle: 3,3 a 5 V;
- Tensão de saída: 0 a 24 V;
- Corrente de saída: 0 a 24 A, para mais de 5 A, instalar um dissipador de calor.

A.2.7 Dimensionamento do dispositivo de proteção

Para a proteção das resistências são utilizados elementos fusíveis com encapsulamento em vidro.

A.2.7.1 Dimensionamento do elemento fusível

Conforme o item "6.3.4.3.1 Dispositivos fusíveis"(ABNT, 2004)

$$I_f \geq I'_n \rightarrow I_f \geq 11,9 \quad (12)$$

$$I_f \leq I_{cond} \rightarrow I_f \leq 17,5 \quad (13)$$

$$I_f \leq I_{driver} \rightarrow I_f \leq 20 \quad (14)$$

Sendo:

I_f : Corrente de fusão do fusível [A];

I_{cond} : Corrente máxima do condutor [A];

I_{driver} : Corrente máxima do driver [A].

Logo:

O fusível utilizado foi:

$$I_f = 15A \quad (15)$$

A.3 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

A.3.1 Dados da carga

A fonte escolhida para a aplicação foi a BFC-360W-12VDC, segundo o ser datasheet:

- Corrente nominal de saída: $I_n = 30A$;
- Tensão nominal de saída: $V_{dc} = 12V$;
- Potência nominal de saída: $P_{dc} = 360W$;

- Tensão nominal de entrada: $V_{ac} = 110 - 240V$;
- Frequência: $f = 50 - 60Hz$.

A partir de medições:

- Corrente de entrada: $I_{ac} = 2,5A$.

A.3.2 Capacidade mínima de corrente no condutor aplicando o fator de serviço

Devido a fonte não apresentar a especificação do fator de serviço, o mesmo foi considerado unitário, $F_s = 1,0$.

$$I'_n = I_{ac} \times F_s = 2,5 \times 1,0 = 2A \quad (16)$$

Sendo:

I'_n : Corrente nominal corrigida [A];

F_s : Fator de serviço;

A.3.3 Método de instalação e fatores de correção

Método de instalação "Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto"(ABNT, 2004)

- Fator de correção de temperatura ambiente: $T_{amb} \approx 40^\circ \rightarrow F_t = 0,87$
- Fator de correção de agrupamento: $N_{ckt} = 1 \rightarrow F_a = 1$

Aplicando os fatores de correção:

$$I_{nc} = \frac{I'_n}{F_t \times F_a} = \frac{2,5}{0,87 \times 1,0} = 2,87A \quad (17)$$

A.3.4 Determinação da seção transversal

Segundo a "Tabela 36 — Capacidades de condução de corrente, em ampères"(ABNT, 2004) para método B1 e 2 condutores carregados:

$$\#1,5mm^2 \rightarrow I_{cond} = 17,5A \quad (18)$$

A.3.5 Cálculo da queda de tensão no condutor

Devido a distância do condutor ser inferior a 1 m, o cálculo da queda de tensão no condutor pode ser dispensado.

A.3.6 Dimensionamento do dispositivo de proteção

Para a proteção das resistencias são utilizados disjuntores termomagnéticos.

A.3.6.1 Dimensionamento do disjuntor

Conforme o item "6.3.4.3.2 Disjuntores"(ABNT, 2004)

$$I_d \geq I'_n \rightarrow I_f \geq 11,9 \quad (19)$$

$$I_d \leq I_{cond} \times 1,45 \rightarrow I_f 17,5 \times 1,45 \rightarrow I_f 25,4 \quad (20)$$

Sendo:

I_d : Corrente nominal do disjuntor [A];

I_{cond} : Corrente máxima do condutor [A];

Logo:

O disjuntor utilizado foi:

$$I_f = 10A \quad (21)$$

A.4 DEMAIS SISTEMAS

Devido aos demais sistemas serem considerados de sinais, ou seja, de baixa potência, os mesmo não passaram por dimensionamentos específicos e nem apresentam dispositivos de proteção próprios.

APÊNDICE B – LISTA DE MATERIAL

A lista de material com os preços dos componentes está apresentada a seguir.

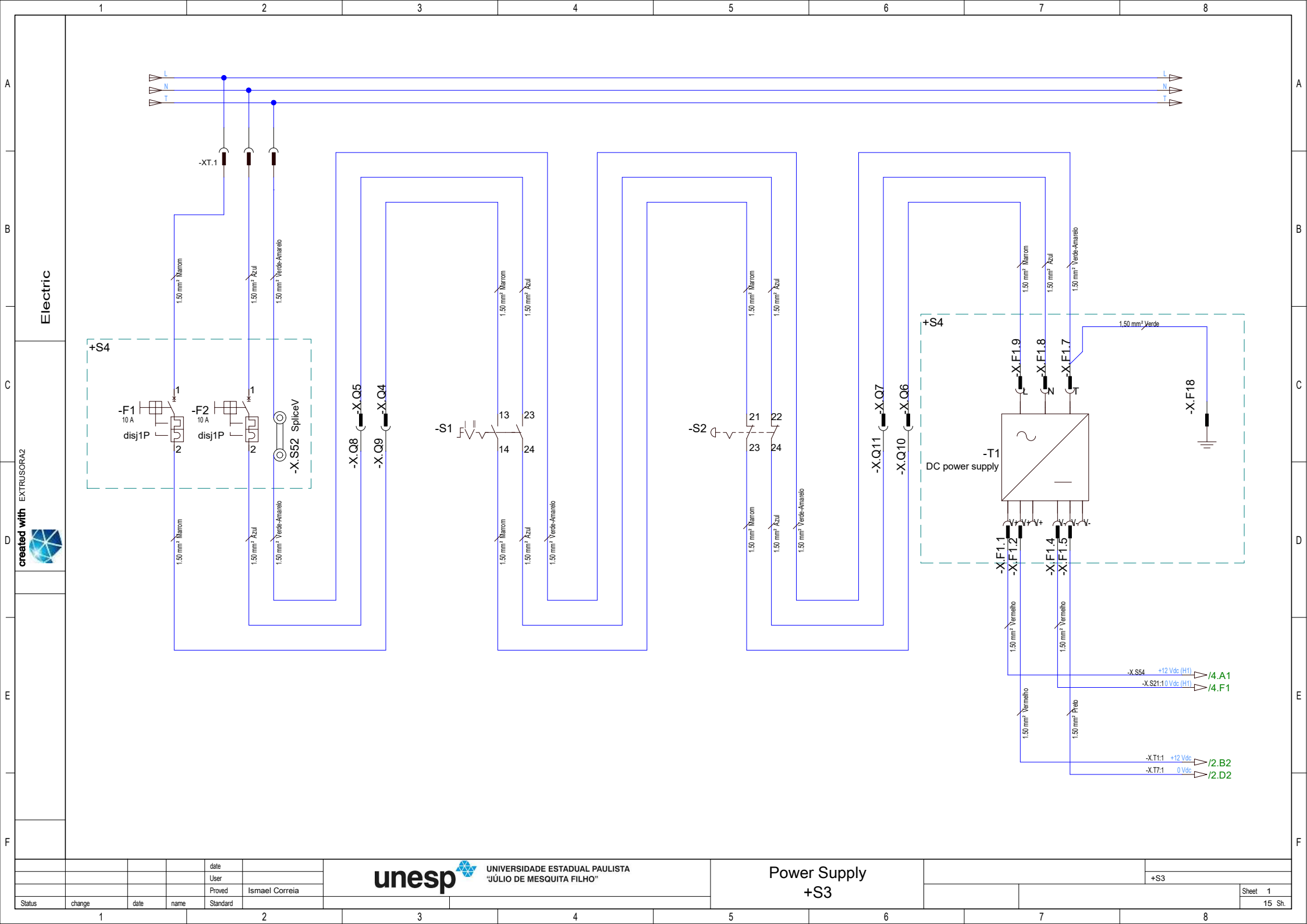
Tabela 32 – Lista de material

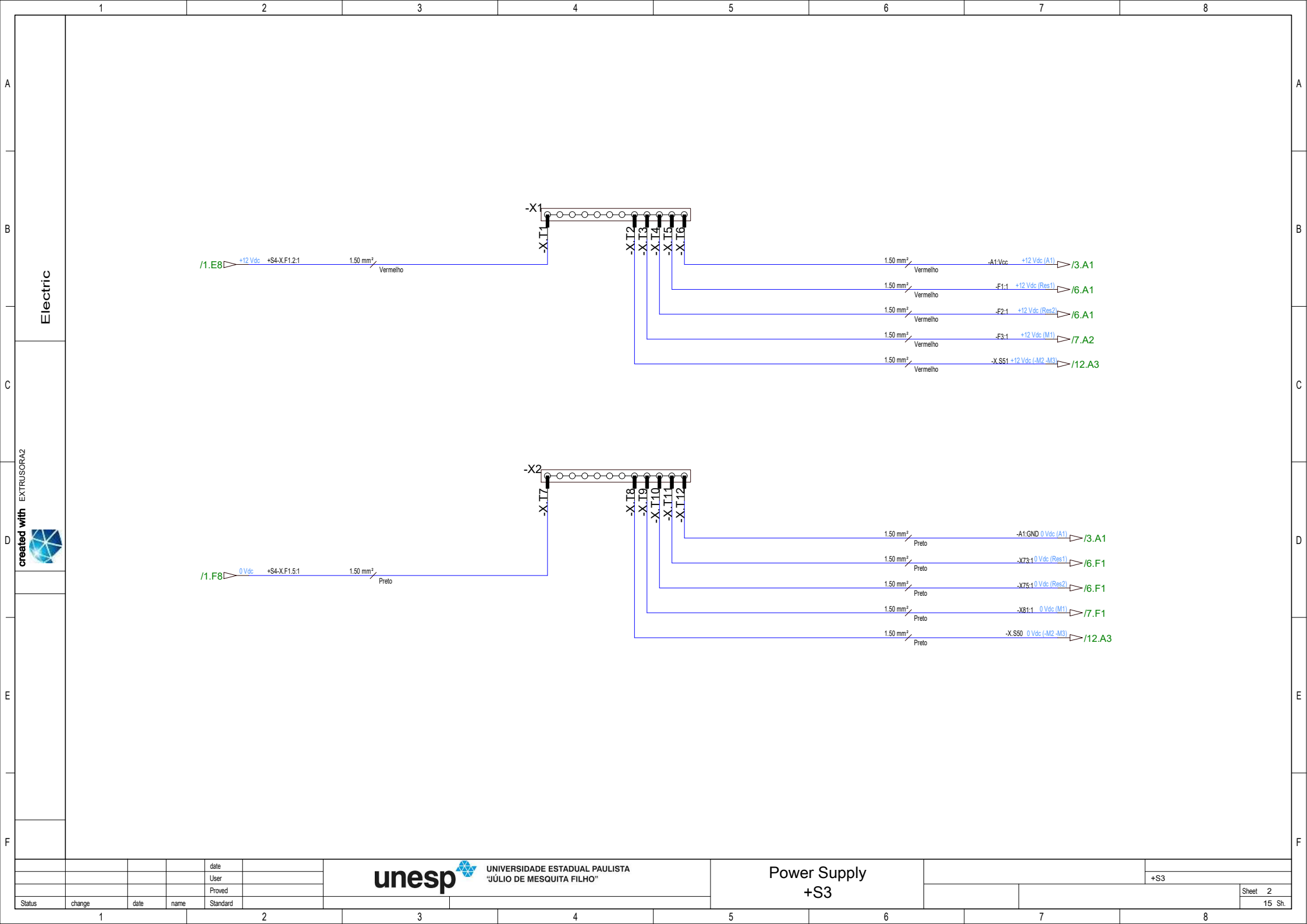
Componente	Fabricante	Indentificador	Quantidade	Valor
arduino mega	Arduino	-A	1	85
barramento de terra	eletromar	-X	2	13,98
botão cogumelo com trava	metaltex	-S	1	19,2
botao de impluso branco 1NA	metaltex	-S	1	8,5
botao de impluso preto 1NA	metaltex	-S	2	29
cabo 1,5mm ² branco	megetron	-	4	31,84
cabo 1,5mm ² branco Silicone	Genérico	"Ext Temp"	2	7,96
cabo 1,5mm ² preto	megatron	-	2	7,96
cabo 1,5mm ² verde	Megatron	-	1	3,98
cabo 1,5mm ² vermelho	megatron	-	2	7,96
Caixa de passagem VDI	Tigre	+S	2	60
chave seletora 2 posições curto	metaltex	-S	1	17
chave seletora 2 posições longo	metaltex	-S	1	16
Conector Sindal	Incer	-XS	8	50,96
contato 1NA	metaltex	-S	1	3,5
contato 1NF	metaltex	-S	1	3,7
Disjuntor termomagnético 10 A	Steck	-F	2	15,98
Display LCD 16x2	Genérico	-H	1	9,9
luva de emenda vermelha 20 pçs	voltagio	-X.S		0
Driver mosfet IRF3205	Genérico	-K	3	57
extensor ATX	Genérico	-X.AT	1	20
Fonte de alimentação 12Vdc 30A	Genérico	-T	1	46,49
fusivel de vidro 10A	Genérico	-F1, -F2	2	1,4
fusivel de vidro 15A	Genérico	-F3	2	1,4
Kit Termopar tipo K MAX6675	Genérico	-B; -B.D	4	116
luva de emenda amarela 20 pçs	voltagio	-X.S	52	10,4
motor limpador de parabrisa automotivo	Bosch	-M	1	121
Plug de tomada	Alumbra	-XT	1	5,19
porta fusivel	Genérico	-F1, -F2, -F3	3	6
prensa cabo PG9	steck	-	1	1,9
presa cabo bsp 1/4	steck	-	1	3,69
presa cabo bsp 3/8	steck	-	1	2,69
Resistor 15 Ohm 10 W cerâmico	Genérico	-R	16	94,4
sinaleiro LED 12V amarelo	metaltex	-H	1	8
sinaleiro LED 12V vermelho	metaltex	-H	1	8
suporte disjuntor	kit flex	-F	1	3,79
terminal femea isolado vermelho 20pçs	voltagio	-X.Q	6	1,2
terminal forquilha azul	voltagio	-X.F	9	1,35
terminal ilhos isolado vermelho 20 pçs	voltagio	-X.T	18	3,6
terminal macho isolado vermelho	voltagio	-X.S	6	1,2
Ventilador de refrigeração	Genérico	-M	2	14
Total				921,12

Fonte: Produção do Próprio Autor.

APÊNDICE C – DIAGRAMA ELÉTRICO

O diagrama elétrico do equipamento é apresentado a seguir.







unesp  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

	+S3
--	-----

