

Universidade do Minho

Helder Manuel Marques Gomes

**Desenvolvimento e construção de uma
máquina de corte de tubo de *braid***

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Dissertação realizada sob a supervisão de

Professor José Mendes Machado

Professor João Miguel Clemente de Sena Esteves

Direitos de autor

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Agradecimentos

Primeiramente um agradecimento especial ao orientador Professor José Mendes Machado, e coorientador Professor João Miguel Clemente de Sena Esteves, por todo o conhecimento que me transitaram, todas as sugestões e críticas que me ajudaram a desenvolver este trabalho.

Agradeço também a todos os professores que, durante todo o meu percurso escolar e académico, me transmitiram muito conhecimento, tendo sido incansáveis, ajudando-me a ser quem sou hoje.

Quero gratificar a empresa LEONI, pela possibilidade de realização deste tema, tal como a todos os colaboradores da empresa que me ajudaram na realização deste projeto, em particular ao Engenheiro Ricardo Oliveira, por todo o tempo que disponibilizou para me auxiliar.

Agradeço a todos os meus colegas de curso que me ajudaram muito, tanto na realização deste projeto, como em todo o percurso académico, em especial aos meus queridos amigos Diogo Correia, Daniel Macedo e Martinho Silva.

Por último, mas não menos importante, gratulo toda a minha família e amigos pelo apoio prestado em todo o meu percurso académico, em especial aos meus pais e irmãos, pela educação e conhecimento transmitido, e à minha namorada por todo o apoio e cooperação que me tem prestado.

Um enorme obrigado a todos.

Declaração de integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

No âmbito da Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, no ramo de Sistemas Mecatrónicos, na Universidade do Minho, foi proposto pela empresa LEONI Portugal, o desenvolvimento e construção de um protótipo capaz de medir, cortar e acondicionar tubo de *braid*, de forma automatizada. A proposta foi aceite com o objetivo de criar uma máquina simples, de baixo custo e funcional.

Neste documento apresenta-se todo o processo que englobou o desenvolvimento, dimensionamento e construção da máquina. Iniciando com uma pequena introdução, para que o leitor possa ficar informado sobre os temas abordados no decorrer do trabalho.

Posteriormente expõe-se toda a linha de desenvolvimento e construção da máquina em pormenor. Iniciando pelas várias soluções criadas para cada subconjunto da máquina. Depois de analisadas as várias opções, é escolhida a que melhor se adequa consoante os objetivos, e executada.

Para finalizar são apresentadas as conclusões, relativas à máquina e seu funcionamento. São também expostas algumas possibilidades de trabalhos futuros, para melhoria da máquina realizada.

Palavras-chave: Construção, controlo, corte quente, dimensionamento, tubo de *braid*.

Abstract

In the scope of the Master's Dissertation in Mechanical Engineering, in the field of mechatronic systems, in Minho University, it was proposed by the company LEONI Portugal, the development and construction of a prototype able to measure, cut and pack *braid* tube, in an automated way. The proposal was accepted with the objective of creating a simple, low cost and functional machine.

This document presents the entire process that encompassed the development, dimensioning and construction of the machine. Starting with a short theoretical introduction, so that the reader can be informed about the topics covered during the work.

Afterwards, the entire line of development and construction of the machine is exposed in detail. Starting with the various solutions created for each subset of the machine. After analysing the various options, the one that best suits the objectives is chosen and executed.

Finally, the conclusions are presented relative to the machine and its functioning. Some possibilities of future works are also exposed, for improvement of the realized machine.

Keywords: *Braid* tube, construction, control, dimensioning, hot cutting.

Índice

Direitos de autor	iv
Agradecimentos	v
Declaração de integridade	vi
Resumo	vii
Abstract.....	viii
Unidades e símbolos	xii
Índice de figuras.....	xiv
Índice de tabelas	xviii
1 Introdução.....	1
1.1 Apresentação da empresa	1
1.2 Caracterização do problema	1
1.3 Objetivos	3
1.4 Estrutura da dissertação	3
2 Fundamentos	5
2.1 Tipos de tubos	5
2.1.1 Tubos metálicos	5
2.1.2 Tubos não metálicos	6
2.1.3 Tubo de <i>braid</i>	6
2.1.4 Máquinas de corte de tubo.....	8
2.1.5 Técnicas de corte de tubo.....	8
2.2 Sistema automatizado.....	12
2.2.1 Tipos de automação.....	12
2.2.2 Estrutura de sistemas automáticos	12
2.3 Sistemas de sensorização.....	15
2.4 Sistemas de acionamento	16

2.4.1	Acionamento elétrico.....	16
2.4.2	Acionamento pneumático	17
2.4.3	Acionamento mecânico	19
2.5	Sistemas de transmissão de movimento	19
2.5.1	Transmissões mecânicas por contacto direto	19
2.5.2	Transmissões mecânicas por ligação intermédia	20
2.6	Componentes normalizados	23
3	Desenvolvimento	24
3.1	Proposta de construção da máquina	24
3.1.1	Desenrolar o tubo	25
3.1.2	Entrada do tubo	25
3.1.3	Fixação e medição do tubo	25
3.1.4	Corte do tubo de <i>braid</i>	25
3.1.5	Acondicionar do tubo.....	26
3.1.6	Extração de fumo	26
3.1.7	Controlo e programação.....	26
3.2	Criação de soluções alternativas e respetiva escolha	26
3.2.1	Desenrolar o tubo	27
3.2.2	Entrada do tubo	28
3.2.3	Fixação e medição do tubo	31
3.2.4	Corte do tubo	43
3.2.5	Acondicionar o tubo.....	45
3.2.6	Sistema de controlo	47
3.2.7	Máquina de corte de tubo	47
3.3	Construção da máquina	48

3.3.1	Entrada do tubo	49
3.3.2	Fixação e medição do tubo	49
3.3.3	Corte do tubo	60
3.3.4	Acondicionar o tubo.....	62
3.3.5	Sistema de controlo	63
3.3.6	Construção geral da máquina	63
3.4	Ligações e controlo.....	65
3.4.1	Circuitos elétricos.....	71
3.4.2	Ligações pneumáticas	74
3.4.3	Controlo e programação	77
3.5	Testes	80
4	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	84
	Bibliografia	86
	Apêndices.....	90
	Apêndice 1.....	90
	Programa do funcionamento da máquina.	90
	Apêndice 2.....	92
	Programa do funcionamento do motor.	92
	Apêndice 3.....	95
	Manual de Instruções da Máquina de Corte de Tubo de <i>Braid</i>	95
	Apêndice 4.....	98
	Desenho técnico da máquina de corte de tubo.	98

Unidades e símbolos

Lista de unidades

A	ampere
bar	bar
°C	Graus celsius
m	Metro
m/s	Metro por segundo
m/s ²	Metro por segundo quadrado
mm	Milímetro
N	Newton
N.m	Newton metro
Ωmm ² /m	Omega milímetro quadrado por metro
kg	Quilograma
kg.m ²	Quilograma metro quadrado
kN	Quilonewton
kW	Quilowatt
Rad/s	Radianos por segundo
Rad/s ²	Radianos por segundo quadrado
V	volt
W	watt

Lista de símbolos

α	Aceleração angular
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
I	Momento de inércia
%	Porcentagem
μ	Rendimento
t	Tempo
ω	Velocidade angular

Índice de figuras

Figura 1 - Máquina de corte universal da Ulmer [2].....	2
Figura 2 - Máquina de corte de tubo CHEERS [3]	3
Figura 3 - Máquina de corte de tubo Rkens [4]	3
Figura 4 - Exemplo de tubos metálicos [6]	5
Figura 5 - Tubo de braid [7]	7
Figura 6 - Exemplo de corte abrasivo [13]	9
Figura 7 - Exemplo de corte de serra de fita [14]	9
Figura 8 - Exemplo de corte a laser [15]	10
Figura 9 - Exemplo de corte por cisalhamento [16]	11
Figura 10 -Exemplos de autómatos programáveis [20].....	14
Figura 11 – Arduino [23]	15
Figura 12 - Exemplo de um cilindro pneumático [30]	18
Figura 13 – Vários tipos de rodas dentadas [34]	20
Figura 14 - Correia redonda [36]	22
Figura 15 . Correia dentada [36]	22
Figura 16 - Correia em V [36].....	22
Figura 17 – Exemplo de correntes de transmissão de movimento [37].....	22
Figura 18 - Símbolo do programa Fusion 360 [39]	26
Figura 19 - Opção 1 para desenrolar o rolo de tubo de braid	27
Figura 20 - Opção 2 para desenrolar o rolo de tubo de braid	28
Figura 21 - Vista frontal da opção 1 de entrada do tubo	29
Figura 22 - Vista em perspetiva da opção 1 de entrada do tubo	29
Figura 23 - Vista frontal da opção 2 de entrada do tubo	30
Figura 24 - Vista em perspetiva da opção 2 de entrada do tubo	30
Figura 25 - Vista frontal da opção 3 de entrada do tubo	30
Figura 26 - Vista em perspetiva da opção 3 de entrada do tubo	30
Figura 27 - Vista frontal da opção 1 para o formato das correias	32
Figura 28 - Vista em perspetiva da opção 1 para o formato das correias.....	32
Figura 29 - Vista frontal da opção 2 para o formato das correias	32
Figura 30 - Vista em perspetiva da opção 2 para o formato das correias.....	32

Figura 31 - Vista frontal da opção 3 para o formato das correias	33
Figura 32 - Vista em perspectiva da opção 3 para o formato das correias.....	33
Figura 33 - Vista frontal da opção 1 do fecho das correias	34
Figura 34 - Vista em perspectiva da opção 1 do fecho das correias	34
Figura 35 - Vista frontal da opção 2 do fecho das correias	35
Figura 36 - Vista em perspectiva da opção 2 do fecho das correias	35
Figura 37 - Vista frontal da opção 3 do fecho das correias	36
Figura 38 - Vista em perspectiva da opção 3 do fecho das correias	36
Figura 39 - Vista frontal da opção 4 do fecho das correias	37
Figura 40 - Vista em perspectiva da opção 4 do fecho das correias	37
Figura 41 - Vista frontal da opção 5 do fecho das correias	38
Figura 42 - Vista em perspectiva da opção 5 do fecho das correias	38
Figura 43 - Vista frontal da opção 1 de acionamento das correias	40
Figura 44 - Vista em perspectiva da opção 1 de acionamento das correias	40
Figura 45 - Vista frontal da opção 2 de acionamento das correias	41
Figura 46 - Vista em perspectiva da opção 2 de acionamento das correias	41
Figura 47 - Vista frontal da opção 3 de acionamento das correias	42
Figura 48 - Vista em perspectiva da opção 3 de acionamento das correias	42
Figura 49 - Vista frontal da opção 4 de acionamento das correias	43
Figura 50 - Vista em perspectiva da opção 4 de acionamento das correias	43
Figura 51 - Ferramenta de corte da opção 1	44
Figura 52 - Conjunto de corte da opção 1	44
Figura 53 - Ferramenta de corte da opção 2	44
Figura 54 - Conjunto de corte da opção 2	44
Figura 55 - Vista frontal da opção 1 de armazenamento de tubo.....	45
Figura 56 - Vista em perspectiva da opção 1 de armazenamento de tubo	45
Figura 57 - Vista frontal da opção 2 de armazenamento de tubo.....	46
Figura 58 - Vista em perspectiva da opção 2 de armazenamento de tubo	46
Figura 59 - Vista frontal em perspectiva do conjunto das opções da máquina.....	48
Figura 60 - Vista traseira em perspectiva do conjunto das opções da máquina	48
Figura 61 - Base estrutural da máquina.....	49
Figura 62 - Correias utilizadas na construção	50

Figura 63 - Polia utilizada na construção	50
Figura 64 - Veio das polias utilizado na construção.....	50
Figura 65 - Rolamento utilizado na construção.....	51
Figura 66 - Suporte do conjunto da correia.....	51
Figura 67 - Guias lineares utilizados na construção	52
Figura 68 – Pormenor da polia utilizada na construção	53
Figura 69 - Corrente de transmissão utilizada na construção	54
Figura 70 - Pinhão de tração acoplado ao motor	54
Figura 71 - 1 dos pinhões tracionados acoplados às correias	54
Figura 72 - Esticador de corrente utilizado na construção.....	55
Figura 73 - Representação do desalinhamento das correias	59
Figura 74 - Representação do desalinhamento das correias	59
Figura 75 - Cilindro pneumático utilizado na construção.....	61
Figura 76 - Guia linear utilizado na construção	61
Figura 77 - Isolantes cerâmicos utilizados na construção	62
Figura 78 - Suporte de alinhamento do tubo	62
Figura 79 - Suporte para corte do tubo	62
Figura 80 - Suportes aplicados na máquina.....	63
Figura 81 - Regulador de pressão utilizado na máquina	64
Figura 82 - Máquina com a parte mecânica completa	64
Figura 83 - Interruptor utilizado na máquina	66
Figura 84 – Fonte de alimentação utilizada na máquina.....	67
Figura 85 - Controlador do motor utilizado na máquina.....	67
Figura 86 - Motor utilizado na máquina	68
Figura 87 - Relé utilizado na máquina	68
Figura 88 - Válvula pneumática utilizada na máquina.....	69
Figura 89 - Conversor utilizado na máquina [40]	69
Figura 90 - Fim de curso utilizado na máquina [41]	70
Figura 91 - Arduino utilizado na máquina	71
Figura 92 - Representação das ligações elétricas 24 V	72
Figura 93 - Representação das ligações elétricas de 5 V	73
Figura 94 - Ligações elétricas presentes na máquina	74

Figura 95 - Cilindro pneumático	74
Figura 96 - Conjunto de regulador e válvula pneumática	75
Figura 97 - Esquema das ligações pneumáticas	76
Figura 98 - Imagem em pormenor do sistema de corte da máquina.....	77
Figura 99 - Esquema grafcet para controlo da máquina	78
Figura 100 - Excerto do código de controlo do motor	79
Figura 101 - Estrutura para suporte do fio de corte.....	80
Figura 102 - Antigo suporte de fio ligado	81
Figura 103 - Antigo suporte de fio ligado	81
Figura 104 - Novo suporte de fio desligado.....	81
Figura 105 - Novo suporte de fio ligado	81
Figura 106 - Vista de frente da máquina	82
Figura 107 - Vista lateral da máquina	82
Figura 108 - Vista superior da máquina.....	82
Figura 109 - Vista traseira da máquina.....	82
Figura 110 – primeira parte do código de funcionamento da máquina	90
Figura 111 – segunda parte do código de funcionamento da máquina.....	91
Figura 112 – última parte do código de funcionamento da máquina.....	91
Figura 113 - primeira página do programa do motor.....	92
Figura 114 - Primeira parte da segunda página do programa do motor.....	92
Figura 115 - Segunda parte da segunda página do programa do motor	92
Figura 116 - Terceira página do programa do motor	93
Figura 117 - Quarta página do programa do motor	93
Figura 118 - primeira parte da quinta página do programa do motor.....	94
Figura 119 - segunda parte da quinta página do programa do motor.....	94
Figura 120 - Última página do programa do motor.....	94

Índice de tabelas

Tabela 1 - Entradas e saídas do controlador	78
Tabela 2 - Medidas obtidas para trinta cortes de 100 mm	82
Tabela 3 - Componentes normalizados utilizados na máquina.....	97

1 Introdução

O presente documento é realizado no âmbito da Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, no ramo de Sistemas Mecatrónicos, na Universidade do Minho. Provém da necessidade da criação de um protótipo funcional de uma máquina capaz de medir, cortar e acondicionar tubo de *braid* de forma automatizada, proposto pela empresa LEONI.

1.1 Apresentação da empresa

A empresa Leonische Portugal Indústria Cabelagens Lda., ou LEONI Portugal, sediada em Barco, Guimarães, Portugal em 1991. Pertence a uma multinacional alemã, líder do mercado europeu, contando com mais de 100 000 funcionários, espalhados por 28 países [1].

A LEONI é uma fornecedora global de produtos, soluções e serviços para o setor automóvel e outros setores. Produz com muita variedade fios, fibras óticas, cabos padronizados, produtos inteligentes e serviços inteligentes [1].

A LEONI concentra o seu trabalho e desenvolvimento nas tendências da indústria automotiva, como mobilidade elétrica, condução autónoma, digitalização e conectividade [1].

1.2 Caracterização do problema

O tubo de *braid*, devido à sua constituição, tem uma técnica de corte específica. O corte do tubo de *braid* tem de ser feito recorrendo a um elemento quente, cuja sua temperatura tem de ser superior à temperatura de fusão do material que constitui o tubo. Para que ao realizar o corte, o mesmo fique com as extremidades unidas. Devido ao calor, o material polimérico irá fundir e solidificar, afetando apenas a zona de corte. Isto é necessário pois, o tubo é feito com vários filamentos poliméricos num formato semelhante ao de uma trança, e os filamentos não estão interligados entre si, tornado assim o tubo muito versátil, mas, quando é cortado, as pontas têm de ficar soldadas para que o tubo não perca as suas propriedades e funcionalidades.

A empresa LEONI faz corte de tubo de *braid*, e para tal recorre a um fio metálico de espessura de 1 mm, que é aquecido tornado assim a sua temperatura superior à temperatura de fusão do tubo. Quando o filamento está aquecido, um operador, de forma totalmente manual, tem de medir e cortar o tubo. Este método funciona, contudo, tem algumas

desvantagens. Sendo um método totalmente manual, se o número de cortes de tubo for muito elevado, é uma tarefa muito repetitiva e também perigosa, devido ao facto de o operador ter de estar com as mãos perto do filamento quente e a existência de fumos criados pelo corte do tubo.

Assim, de forma a aumentar a produtividade, a segurança e saúde do operador, a empresa procurou uma máquina capaz de fazer todo este processo automatizado. Não encontrando uma máquina capaz de medir e cortar com elemento quente, a máquina mais próxima que encontrou foi uma máquina de corte por forças de cisalhamento (Figura 1).



Figura 1 - Máquina de corte universal da Ulmer [2]

É uma máquina de corte universal, podendo cortar vários tipos de tubo, mas devido às exigências do corte do tubo de *braid* esta máquina não é funcional para esta aplicação específica.

Depois de uma pesquisa sobre máquinas de corte de tubo a quente, são apresentadas duas máquinas de corte de tubo recorrendo a elemento quente, visíveis na Figura 2 e Figura 3.



Figura 2 - Máquina de corte de tubo CHEERS [3]



Figura 3 - Máquina de corte de tubo Rkens [4]

A informação disponível sobre as máquinas indicadas é escassa, pelo que se considera que, possivelmente, possam ser soluções que não resolvem totalmente o problema apresentado pela empresa.

1.3 Objetivos

Os objetivos do trabalho a desenvolver são o projeto e a implementação de um protótipo simples, funcional, capaz de medir, cortar e acondicionar tubo de *braid*. Contando com a ajuda da empresa, sendo os materiais fornecidos pela mesma, e também com o conhecimento da sua competente equipa de trabalho.

Para a construção do protótipo, inicia-se com a escolha da estrutura geral da máquina e das suas partes, posteriormente, criam-se soluções para cada parte da máquina. Depois de todas as soluções analisadas, é necessário selecionar a mais adequada, dimensionar componentes caso seja necessário e finalmente proceder à sua realização.

1.4 Estrutura da dissertação

O presente trabalho divide-se em quatro capítulos repartidos em vários subcapítulos.

O primeiro capítulo, o atual, é onde é feita a introdução do trabalho realizado.

O segundo capítulo, é responsável por um enquadramento de alguns temas que são considerados relevantes para a realização deste documento, e também para a melhor compreensão do leitor durante a leitura do presente documento.

O terceiro capítulo é o mais extenso, onde é descrito o desenvolvimento, o dimensionamento e construção de toda a máquina. Estando este dividido em cinco subcapítulos, iniciando numa explicação de como é a máquina e os seus conjuntos, seguido pela criação e escolhas das soluções para a construção da máquina. No terceiro subcapítulo é demonstrada toda a construção da máquina de corte de tubo. Para finalizar, os últimos dois subcapítulos são referentes à parte elétrica e controlo e finalizando com a realização de alguns testes.

O capítulo quatro, apresenta as conclusões e trabalhos futuros que podem ser realizados na máquina.

No apêndice 3, pode ser consultado um manual de operador, podendo acompanhar fisicamente o protótipo, e pode ser consultado fora do contexto do restante documento, pelo operador da máquina e pela equipa de manutenção.

2 Fundamentos

Neste capítulo são abordados vários tópicos, considerados relevantes para a realização deste trabalho.

2.1 Tipos de tubos

Existem vários tipos de tubos, com diferentes construções e diferentes finalidades, podendo estes ser estruturais, transporte de fluidos, etc.

De uma forma muito geral os tubos podem ser divididos em dois grupos: tubos metálicos e tubos não metálicos [5].

2.1.1 Tubos metálicos

Dentro dos tubos metálicos existem dois tipos: ferrosos e não ferrosos [5].

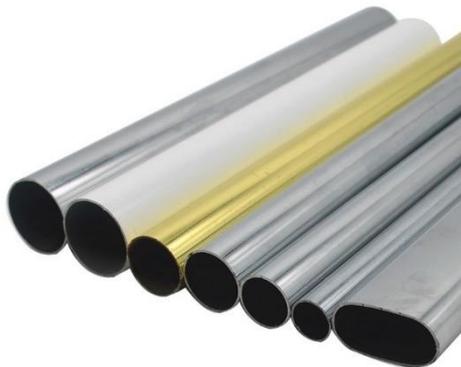


Figura 4 - Exemplo de tubos metálicos [6]

No grupo dos ferrosos existem tubos constituídos por [5]:

- Aço e ligas de aço (aço carbono, aço inoxidável, ...);
- Ferro fundido;
- Ferro dúctil.

No grupo dos não ferrosos existem tubos constituídos por [5]:

- Alumínio e ligas de alumínio;
- Cobre e ligas de cobre;
- Níquel e ligas de níquel;

- Titânio e ligas de titânio;
- Zircônio e ligas de zircônio.

Os tubos metálicos, podem ser utilizados para estruturas, transportes de fluidos, e não só, devido à sua elevada resistência, contudo a sua densidade pode ser uma desvantagem quando o peso é preponderante.

2.1.2 Tubos não metálicos

Os tubos não metálicos são os tubos mais interessantes para este trabalho, pois o objetivo de estudo incide sobre um tipo de tubos poliméricos.

Os tubos não metálicos podem ser constituídos por [5]:

- Polietileno (PE);
- Policloreto de vinil (PVC);
- Polipropileno (PP);
- Termoplásticos reforçados;
- Acrilonitrila butadieno estireno (ABS);
- Compósitos;
- Vidro;
- Cimento e amianto;
- Barro.

Os tubos poliméricos, a nível de transporte de fluidos veem, em alguns casos, substituir os tubos metálicos, devido à sua resistência elevada comparada com a sua baixa densidade. Tornam-se mais leves que os metálicos, contudo a sua resistência é inferior. Podem também ser utilizados para muitas outras funções. O seu preço, geralmente é inferior aos metálicos, podendo sempre existir exceções.

2.1.3 Tubo de *braid*

O tubo de *braid* ou manga de tubo trançado, é muito utilizado para a proteção e organização de fios e cabos. A sua constituição é geralmente polimérica, mas pode também ser construído com materiais metálicos. A construção em trança, faz com que este tubo seja flexível, e que o seu diâmetro e comprimento variem inversamente, ou seja, quanto maior for o diâmetro menor será o comprimento do mesmo tubo, e vice-versa. A flexibilidade do tubo,

permite que este seja facilmente espalmado, sendo o seu armazenamento e manuseamento facilitado.



Figura 5 - Tubo de *braid* [7]

O tubo de *braid* é também utilizado para a criação de bichas flexíveis, sendo elas utilizadas no transporte de água, mas podendo também ser utilizadas para outros tipos de fluidos. A sua constituição é mais elaborada, sendo o interior da bicha flexível em material polimérico que é o transportador do fluido, e uma parte exterior em tubo de *braid* normalmente em aço inoxidável, responsável pela estrutura e resistência mecânica. Neste trabalho este tipo de tubo de *braid* não irá ser mencionado, apenas o tubo polimérico semelhante ao da Figura 5.

Aplicações do tubo

O tubo de *braid* de construção polimérica é usado, para organização e proteção de cabos em aplicações industriais, para proteção de tubos ou mangueiras de transporte de fluidos, entre outras, pois oferece uma boa proteção contra a corrosão, abrasão, calor, humidade, produtos químicos e ondas eletromecânicas [8].

Relativamente a outras proteções poliméricas ou metálicas de material interrupto, o tubo de *braid* apresenta vantagens, devido à sua construção perfurada, pois permite assim uma maior flexibilidade, uma maior perda de calor que possa ser criada no seu interior, permite também que a humidade evapore rapidamente e permite que os operadores consigam facilmente examinar os cabos em caso de danos nos mesmos [8].

O tubo de *braid* é resistente e confiável, sendo utilizados em todos os ambientes de trabalho, possui construções exclusivas que o otimizam para fins específicos, como resistência ao fogo, resistência a roedores, entre outras [8].

Uma das vantagens da aplicação do tubo de *braid* é o facto de ser económico e de fácil aplicação.

Exemplos do tubo

A construção do tubo de *braid* polimérico pode ser feita com inúmeros materiais, entre eles, o nylon, o Polietileno tereftalato (PET), o poliéster, o sulfeto de polifenileno (PPS) e o Nomex. As características dos materiais fazem com que os tubos sejam mais adequados para diferentes aplicações [9].

Existem vários tipos de tubos, desde a manga trançada expansível, mangas de fio de alta temperatura, mangas resistentes ao fogo, mangas de proteção eletromagnética, mangas de enrolar, mangas de proteção hidráulica, entre outras [10].

2.1.4 Máquinas de corte de tubo

Uma máquina de corte de tubo é um dispositivo composto por elementos mecânicos, que permite transformar energia, e, recorrendo a técnicas de corte, reduz o tamanho do tubo inicial, podendo ela ser manual ou automatizada. De uma forma geral, a máquina tem duas partes essenciais, a medição do tubo e o corte do mesmo.

Algumas técnicas de corte serão abordadas no ponto 2.1.5, para complementar a informação deste ponto.

2.1.5 Técnicas de corte de tubo

Neste ponto irão ser abordadas algumas técnicas de corte de tubo utilizadas na atualidade, tais como o corte abrasivo, corte de serra de fita, corte a serra fria, corte a laser, corte por cisalhamento, corte de torno e corte por elemento quente. Estas técnicas não servem só para corte de tubos, podem ser utilizadas também para cortes de perfis, peças completas, barras de tubo, chapas, etc. [11]

Alguns destes processos, podem ser utilizados para corte, mas também podem ser utilizados para outras finalidades, como o caso do laser, pode ser utilizado para marcar, furar, inspecionar e mais [12].

A escolha da técnica de corte a utilizar num tubo, envolve muitos fatores, desde a espessura do tubo, a sua constituição, requisitos de processos secundários, eficiência de corte, custos, entre outros [12].

Corte abrasivo

É utilizado um disco de corte circular abrasivo, podendo cortar tubos metálicos e não metálicos utilizando as forças de cisalhamento e atrito como fator de corte [11].

É um processo manual, que aumenta a temperatura do tubo a ser cortado podendo este ficar afetado pela temperatura. As tolerâncias não podem ser apertadas, e é muito utilizado recorrendo a rebarbadoras, devido à sua facilidade [12].



Figura 6 - Exemplo de corte abrasivo [13]

Corte de serra de fita

Recorrendo a uma lâmina de fita com dentes na sua extremidade de contacto com o tubo, pode ser utilizada em máquinas, mas também pode ser utilizada manualmente. Esta técnica corta através de remoção da avara. Podendo ser lubrificada a zona de corte, para uma lubrificação e facilidade de remoção de avara. Esta técnica é também muito utilizada e pode cortar tubos metálicos e não metálicos, embora não todos [11].



Figura 7 - Exemplo de corte de serra de fita [14]

Corte a serra fria

Esta técnica é muito semelhante à técnica anterior, a grande diferença está na ferramenta de corte sendo esta, uma serra rotativa, cortando através da remoção da aparatura. Podendo cortar tubos metálicos e não metálicos [11].

Apresenta também vantagens pelo facto de ter uma tolerância reduzida, devido à sua precisão, não afeta a zona de corte [12].

Corte a laser

O corte a laser é uma técnica muito eficiente, idealmente operada por máquinas de controlo numérico (CNC). Corta tubos metálicos e não metálicos utilizando um feixe de laser, e corta o tubo com o calor gerado no local. Esta técnica é bastante flexível podendo cortar de muitas formas, tendo crescido muito nos últimos anos [11].

Com tolerâncias apertadas, sem afetar muito a zona de corte, este equipamento pode fazer muitas operações para além do corte, tendo um elevado custo associado [12].

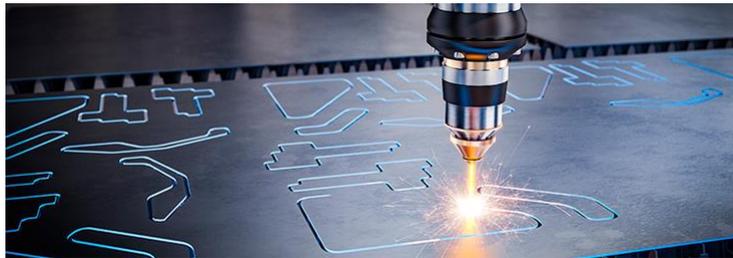


Figura 8 - Exemplo de corte a laser [15]

Corte por cisalhamento

Como o nome indica, este corte recorre a forças de cisalhamento, normalmente utilizando duas superfícies que vão apertando o tubo até que ele se separe. Este método é muito utilizado em máquinas automáticas, mas também em máquinas manuais, tais como as tesouras. Pode ser utilizado para cortar tubos metálicos e não metálicos, não aquecendo a zona de corte [12].

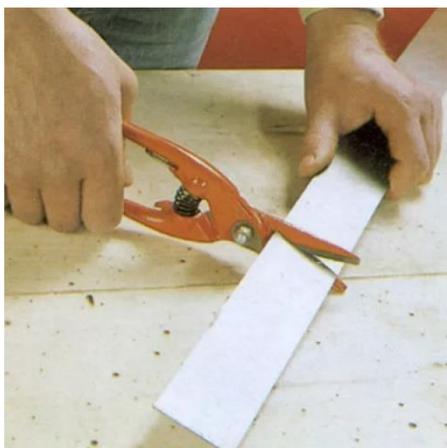


Figura 9 - Exemplo de corte por cisalhamento [16]

Corte de torno

Esta técnica também recorre à remoção da aparas, podendo cortar tubos metálicos e não metálicos, desde que os tubos sejam rígidos, obrigatoriamente. Recorrendo a um torno, é aplicada uma ferramenta capaz de remover a aparas do tubo e assim fazer o seu corte [11].

Esta técnica pode requerer um sistema de arrefecimento e lubrificação, para aumentar a vida útil das ferramentas de trabalho. As tolerâncias do corte dependem da máquina a ser utilizada. É um corte que pode apresentar um elevado rendimento, podendo também ser controlado numericamente (CNC) [12].

Corte por elemento quente

O processo de corte por elemento quente recorre ao processo térmico para a realização do corte, podendo o elemento de corte ser uma lâmina, um filamento, ou outros. É uma técnica utilizada para corte de materiais poliméricos, por exemplo espumas poliméricas, esferovite, tubos poliméricos, entre outros [17]. Os materiais a serem cortados têm de ter uma temperatura de fusão baixa, para tornar a técnica viável e possível.

É uma técnica de corte termomecânica, pois concilia a temperatura e a força de cisalhamento para o corte do material. No caso de utilização de filamento, quando este penetra no material para cortar, o calor e a força que o próprio exerce sobre a peça a cortar, são responsáveis pelo corte [17].

2.2 Sistema automatizado

“A automação é a tecnologia relacionada com a aplicação de sistemas mecânicos, elétricos e eletrônicos, apoiados em meios computacionais, na operação e controle dos sistemas de produção.” (Pinto, 2004, p. 3).

A automatização tem como principais objetivos: diminuir custos, aumentar a produção, aumentar a flexibilidade e melhorar a qualidade, segurança e integração dos sistemas [18]. Não invalida a necessidade da intervenção humana, muitas vezes é até obrigatória.

2.2.1 Tipos de automação

Existem 3 tipos de automação: automação fixa, automação flexível e automação programável.

Automação fixa

É caracterizada por ser rígida, o seu funcionamento é definido pela cablagem entre os diferentes componentes, a complexidade da instalação implica a uma maior complexidade da cablagem. Para ser alterada é necessário alterar a constituição física, podendo implicar interrupção do funcionamento da máquina [18].

Justifica a sua utilização em elevadas taxas de produção.

Automação programável

É projetada para se ajustar a alterações de sequência de fabrico para alterar o produto final, pois o sistema é facilmente reprogramado. Os elementos físicos são ajustados, e deve ser contabilizado na produção o tempo de reprogramação [18].

Automação flexível

O sistema flexível é uma melhoria do anterior, sendo que não perde tempo significativo na alteração dos componentes, sendo fácil de produzir vários produtos diferentes intercalados, devido à capacidade de ajustamento de elementos físicos e programas [18].

2.2.2 Estrutura de sistemas automáticos

Um sistema automatizado divide-se em duas partes essenciais, a parte operativa e de comando.

Parte operativa

A parte operativa é o sistema a automatizar através da parte de comando. Sendo composta pelos atuadores, amplificadores e sensores [18].

É considerada a parte operativa todos os componentes que fazem parte da rede de distribuição, a máquina em si e os acionadores. A parte operativa e de comando estão constantemente em comunicação [18].

Parte de comando

A parte de comando elabora as ordens necessárias para a execução do processo em função da informação recebida pela parte operativa e pela interação homem-máquina. A parte de comando define se o sistema automático é fixo ou flexível [18].

Na parte de comando está presente a unidade central de processamento, podendo eles serem vários, são abordados de seguida, dois dos mais utilizados na atualidade.

Autómatos programáveis

Os autómatos programáveis são equipamentos eletrónicos, utilizados no comando de sistemas automatizados. É programado pelo utilizador, e devido à sua facilidade de uso tornou-se num dos processadores mais utilizados na indústria, para controlo de sistemas simples e complexos [19].

É um componente robusto, estando preparado para trabalhar em todo o tipo de ambientes empresariais [19].

Os elementos básicos de um autómato programável são [19]:

- Unidade central de processamento (CPU);
- Memória de programa e dados;
- Entradas e saídas;
- Alimentação;
- Porta de periféricos.

As principais vantagens de utilização de um autómato são [19]:

- Menos componentes;
- Menor tempo de montagem;

- Maior fiabilidade;
- Facilidade de modificação;
- Manutenção facilitada.



Figura 10 -Exemplos de autómatos programáveis [20]

Para programar um autómato existem pelo menos 5 linguagens, das quais três são gráficas e duas textuais. Nas linguagens gráficas existe a linguagem por diagrama de blocos de função, *ladder* e sequenciamento gráfico de funções. Nas linguagens textuais existem a lista de instruções e texto estruturado[21]

De todas as linguagens, a mais utilizada é a *ladder*, podendo ser desenvolvida através do formalismo GRAFCET, em que a sua estrutura é composta por três elementos base, etapas, transições e ligações orientadas [21].

O GRAFCET corresponde a uma sequência alternada de etapas e transições, que mostra as diferentes fases em que o automatismo está a atuar, e as condições lógicas que permitem que o processo evolua de uma fase para outra [19].

Arduino

O Arduino é um sistema de código aberto e de fácil utilização, que consegue ler entradas e controlar saídas analógicas e digitais, trabalhando com uma tensão máxima de 5 V. Desenvolvido com o objetivo de ser utilizado em várias áreas, desde projetos para estudantes, até projetos profissionais, devido ao facto de ser fácil utilização, preço acessível e extremamente versátil [22].



Figura 11 – Arduino [23]

A linguagem de programação é uma linguagem própria de programação de Arduino, baseada em cablagem e um software Arduino IDE [22].

2.3 Sistemas de sensorização

Os sensores utilizados em automação são dispositivos indispensáveis que transformam uma grandeza não elétrica numa grandeza elétrica [19]. O sinal de entrada pode ser uma quantidade, uma propriedade ou um estado que é convertido pelo sensor, numa quantidade elétrica [24].

São ligados à parte de controlo e dão informações sobre a parte operativa [19]. Existem 2 grandes grupos de sensores, ativos e passivos.

Sensores ativos

São dispositivos eletrónicos que necessitam constantemente de alimentação elétrica para o seu funcionamento, são eles, detetores de posição, detetores de proximidade, detetores de velocidade, entre outros [19].

Sensores passivos

São dispositivos que para o seu funcionamento não necessitam de ser alimentados, mudando de estado através de ação mecânica, são eles os sensores de fim de curso, interruptores magnéticos, botões de pressão, entre outros [19].

Existem inúmeros tipos de sensores, que não são mencionados neste documento.

2.4 Sistemas de acionamento

Existem várias possibilidades de acionamentos, sendo os mais comuns o acionamento pneumático, hidráulico, elétrico e mecânico. Cada um destes acionamentos tem as suas vantagens e desvantagens, tornando-os mais ou menos adequados para a tarefa a ser realizada, cabe ao projetista selecionar o sistema que mais se adequa a cada aplicação [25].

Nos pontos seguintes irão ser abordados os acionamentos em questão, recorrendo aos exemplos mais utilizados na indústria.

2.4.1 Acionamento elétrico

O acionamento elétrico tem como fonte de energia, a energia elétrica, dando origem ao seu nome. De todos os sistemas de acionamento elétrico, são os motores elétricos os mais importantes para a realização deste trabalho. Deste modo só irão ser mencionados estes acionadores elétricos.

Os motores elétricos mais representativos podem ser alimentados de duas formas, com corrente contínua ou corrente alternada [24].

O motor elétrico rotativo transforma energia elétrica em energia mecânica e produz binário. Os motores elétricos são os motores mais usados na indústria, adaptando-se facilmente às cargas a que são sujeitos [24].

Dentro dos motores elétricos existem dois tipos que é relevante mencionar, para a realização deste trabalho, os servomotores e os motores de passo.

Os servomotores podem ser de corrente contínua ou corrente alternada [26]. São motores de precisão e necessitam de um controlador associado. Têm sido muito utilizados na indústria, tendo algumas vantagens como o baixo ruído, potências elevadas com pequenos volumes, elevada precisão e manutenções facilitadas. Podem ser encontrados facilmente em aplicações robóticas, máquina de precisão, sistemas de manufatura, sistemas de posicionamento preciso entre muitos outros [26].

Os motores de passo são caracterizados pelo controlo preciso de posição do eixo. Recorrendo a um controlador é possível controlar a velocidade e binário aplicado ao motor [27]. São chamados motor de passo pois cada motor possui um número específico de passos de revolução [28]. Para cada aplicação, é exigido um nível de precisão diferente, podendo os

motores conter diferentes resoluções, as mais comuns são de 50, 100 e 200 passos por volta [29]. Estão presentes em diversos dispositivos como impressoras, leitores de CD e DVD, impressoras a três dimensões, automóveis, mas também são aplicados na indústria, como por exemplo, equipamentos de maquinagem e sistemas de automação industrial [29].

Por vezes os servomotores e os motores de passo podem ter a mesma aplicação, dependendo da disponibilidade no mercado e valor [27].

As principais vantagens dos motores de passo são o controlo de posicionamento e velocidade e o elevado binário a baixas velocidades, como desvantagens principais apresentam uma baixa eficiência, a diminuição do binário com o aumento da velocidade, vibrações e barulho em elevadas velocidades [28].

2.4.2 Acionamento pneumático

Os sistemas de acionamento pneumático são capazes de realizar a maioria das necessidades dos equipamentos industriais, sendo o mais utilizado na indústria [25].

O fluido de trabalho é sem custo, fácil de armazenar, permite a realização de movimentos rápidos, mas é difícil controlar a velocidade e precisão devido à compressibilidade do fluido. É necessário tratar o mesmo, sendo retirada a sua humidade e impurezas e, posteriormente, adicionar lubrificante para o seu funcionamento [24]. Depois da sua utilização é devolvido para a atmosfera.

Os atuadores dividem-se em 2 grupos, movimento linear e movimento de rotação [24].

Os atuadores lineares, também conhecidos como cilindros pneumáticos, são largamente utilizados na indústria, existindo inúmeros tipos, desde simples efeito, duplo efeito, com haste passante de ambos os lados, tandem, sem haste e telescópicos. Sendo que têm todos a mesma base, o ar é responsável pelo movimento do cilindro [18].

Na Figura 12, é possível visualizar um cilindro pneumático de duplo efeito, e para o seu acionamento pode ser necessário recorrer a uma válvula de controlo.



Figura 12 - Exemplo de um cilindro pneumático [30]

As grandezas nominais para caracterizar os cilindros pneumáticos são o diâmetro do êmbolo, o diâmetro da haste e o seu curso [18].

As válvulas de controlo dos cilindros pneumáticos, que redireccionam o fluxo, para serem caracterizadas, é preciso o número de orifícios, as suas posições e natureza de comando.

O número de orifícios pode variar entre 2 e 5, quanto às suas posições, podem ser de 2 ou 3 posições. Relativamente ao acionamento, pode ser acionada de múltiplas formas, manual, mecânica, elétrica, pneumática, fluídica e de forma combinada [24].

O sistema pneumático pode-se dividir em 3 partes: conversão, transmissão e controlo de energia [18].

Conversão de energia

É a conversão de energia pneumática em energia mecânica e vice-versa. A obtenção de movimentos lineares, através de cilindros pneumáticos, é um exemplo do que os atuadores fazem, convertem a energia pneumática em energia mecânica, por outro lado é através dos compressores, que se converte a energia mecânica em energia pneumática [18].

Transmissão de energia

A transmissão da energia pneumática é feita recorrendo a tubagens, mangueiras e filtros. O fluido é fácil de transportar, pois é o ar atmosférico [18].

Controlo de energia

Para o controlo de energia, os elementos utilizados são as válvulas responsáveis pelo redireccionamento de potência pneumática, reguladores de caudal e pressão [18].

2.4.3 Acionamento mecânico

Os sistemas de acionamento mecânicos são acumuladores de energia mecânica, que armazenam a energia que recebem para posteriormente libertá-la. Como por exemplo as molas, existindo inúmeros tipos de molas, como barras de torsão, molas helicoidais, molas de feixe, molas helicoidais, molas de torção, entre outras [31].

2.5 Sistemas de transmissão de movimento

Nos mecanismos, a transmissão de movimento pode ser feita por duas formas diferentes, por contacto direto, ou por ligação intermédia [32].

Na transmissão de movimento, o ou os elementos motores podem não ter a mesma velocidade e força que o ou os elementos movidos.

2.5.1 Transmissões mecânicas por contacto direto

Neste tipo de transmissão, o movimento é promovido pelo contacto entre as superfícies dos órgãos motores e movidos, como por exemplo as engrenagens e sistema came seguidor [32].

Uniões de veios

As uniões de veios, podem ser rígidas ou flexíveis, não modificam as características de movimento, toda a potência é transmitida. As uniões rígidas não admitem desalinhamentos enquanto as outras suportam. Os pequenos desalinhamentos podem ser corrigidos com uma união flexível [31].

Embraiagem

As embraiagens têm como objetivo um aumento de fricção para o seu correto funcionamento, pois toda a sua potência é transmitida pelo atrito formado no contacto direto entre dois componentes [31].

Rodas de atrito

As rodas de atrito são utilizadas quando o objetivo é obter uma velocidade de saída diferente da velocidade de entrada, quando os eixos se encontram afastados um do outro e em casos específicos. Contudo só podem ser utilizadas em caso de potências reduzidas, pois têm um atrito elevado e um desgaste significativo [33].

Engrenagens

Sendo uma das invenções humanas mais antigas, é um dos sistemas de transmissão mais utilizados na indústria, robustos e duradouros, tendo uma excelente precisão e uma eficiência de até 98%. As suas vantagens fazem também com que o seu preço seja acrescido [31].

As transmissões mecânicas por engrenagens, são muito versáteis, permitindo transmitir qualquer tipo de movimento e potência. Existem vários tipos de engrenagens como pode ser comprovado na Figura 13.



Figura 13 – Vários tipos de rodas dentadas [34]

Os quatro principais tipos de engrenagens são de dentes retos, helicoidais, cónicas e sem-fim, tendo cada uma as suas características específicas, podendo ser utilizadas em diversos tipos de aplicações [35].

Outros tipos

Existem também outros sistemas de transmissão, como por exemplo os freios, came seguidor, mecanismo de genebra, entre outros [33].

2.5.2 Transmissões mecânicas por ligação intermédia

Neste tipo de transmissão o movimento é realizado recorrendo a um elemento intermédio, podendo este ser rígido, como uma barra, ou flexível como por exemplo uma correia ou corrente [32].

Estes sistemas de transmissão podem ser vantajosos pela flexibilidade de aplicação.

Dependendo do elemento intermédio, elas podem ser classificadas como ligações rígidas ou ligações flexíveis.

Ligações rígidas

A transmissão recorrendo a um elemento de ligação rígido estrutural, denominados por sistemas articulados, é bastante utilizada. Pode ser encontrado nos mecanismos de quatro barras, como o sistema biela manivela, utilizado nos motores de combustão interna, entre outros mecanismos [33].

Ligações flexíveis

Nas ligações flexíveis podem ser utilizados, correias, cordas, correntes entre outros para transmitir potências a distâncias relativamente longas. Muitas vezes a sua utilização pode simplificar o dimensionamento da máquina e reduzir o seu custo. Como muitos deles possuem material polimérico na sua constituição, podem absorver choques, não os transmitindo assim a elementos mais sensíveis. Como desvantagem, a sua durabilidade não é infinita, tendo de ser substituídos [35].

Cabos

Este tipo de transmissão recorre a utilização de cabos para a transmissão de potência, como por exemplo a utilização de cabos de aço num elevador [33].

Correias

As transmissões por correia utilizam uma correia, normalmente polimérica, para fazer a transmissão de movimento. São muito utilizadas devido ao seu baixo custo, facilidade de utilização, baixo ruído, resistência às condições ambientais, entre muitas outras razões [33].

De todos os tipos de correias existentes, as mais comuns são as planas, redondas, em “V”, e dentadas. As correias dentadas são as únicas que asseguram uma relação de transmissão constante, pois as outras podem sofrer escorregamento [35]. As diferenças das correias está na secção transversal das mesmas, as correias planas são retangulares, as correias trapezoidais são em formato V, as redondas são circulares e as dentadas são semelhantes às planas acrescentando os dentes internos. Algumas diferenças podem ser confirmadas nas figuras abaixo.

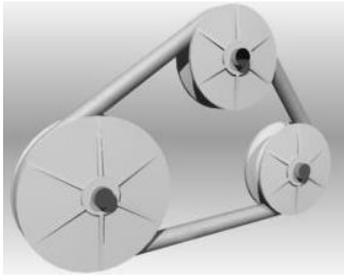


Figura 14 - Correia redonda [36]



Figura 15 . Correia dentada [36]



Figura 16 - Correia em V [36]

As correias dentadas e em V têm distância máxima para operar, devido à produção das mesmas. As polias das correias são todas diferentes sendo específicas para cada correia. As correias dentadas e planas, devido ao seu formato, têm de ter limites laterais para não saírem da sua zona de trabalho [35].

As correias dentadas, como são as únicas correias que garantem o sincronismo, são muito utilizadas quando a precisão de transmissão de movimento é essencial, como por exemplo, para controlo geral do motor de um automóvel [31].

correntes

As transmissões por correntes utilizam correntes, podendo elas ser de rolos, de buchas, de passo alongado e de dentes. A diferença das correntes está na sua constituição, como podem ser verificadas na Figura 17 [33].



Figura 17 – Exemplo de correntes de transmissão de movimento [37]

De todas as correntes utilizadas para transmissão de movimento, as mais utilizadas são as de rolos. Para o funcionamento correto, as correntes têm de estar conectadas a um pinhão

que possua o mesmo passo que a corrente. As correntes têm uma vida útil de aproximadamente 15 000 horas de trabalho. Podendo variar com a sua utilização [31].

Possuem uma transmissão constante devido à sua constituição, requerem um alinhamento perfeito entre os órgãos participantes, normalmente necessitam também proteção devido à baixa resistência às condições ambientais e, consoante as suas aplicações podem carecer de sistemas de lubrificação[35].

As correntes apresentam um rendimento de 97 % e podem ser aplicadas em todo o tipo de máquinas ferramentas, máquinas agrícolas, compressores, motociclos, automóveis e muitos outros [33].

2.6 Componentes normalizados

A normalização é a atividade que tem como objetivo estabelecer uma utilização comum e repetida num determinado contexto. As normas são documentos técnicos que estabelecem regras que têm de ser cumpridas [38].

Existem componentes mecânicos que seguem normas, com o objetivo de aumentar a competitividade, aumentar a qualidade e quantidade de produtos, simplificar e reduzir tempos de projetos, entre muitas outras vantagens [38].

As normas facilitam assim o trabalho entre empresas, países e continentes, pois as peças respeitam todas as mesmas características. Muitos dos materiais mecânicos tais como parafusos, fêmeas, dobradiças, juntas, pernos, entre imensos outros, respeitam normas, fazendo assim com que as peças sejam iguais em diferentes locais. Por exemplo, os parafusos normalizados de rosca milimétrica, são representados pela letra M e logo de seguida, o número que representa o seu diâmetro.

3 Desenvolvimento

3.1 Proposta de construção da máquina

Foi proposto pela empresa Leonische Portugal, Indústria de Cablagens Lda. a realização de uma máquina capaz de medir, cortar a quente e acondicionar o tubo de *braid*, mencionado no ponto 2.1.3.

Para o desenvolvimento da máquina, inicialmente foram analisadas outras máquinas de corte de tubo, de forma a compreender o funcionamento básico das máquinas de corte.

Depois da análise completa, e para facilitar o desenvolvimento da máquina, a mesma é dividida em partes, desde a entrada do tubo, o desenrolar do rolo de tubo, a fixação e medição do tubo, o corte, o acondicionar do tubo e a extração de fumo. Formando assim um total de 6 subconjuntos. Cada um destes será analisado individualmente. Os 6 subconjuntos quando funcionais, formam um conjunto, sendo a máquina, pré e pós processamento.

O objetivo principal deste trabalho é construir uma máquina de forma a comprovar o conceito de funcionamento da mesma, não garantindo que seja uma máquina capaz de trabalhar em ambiente industrial.

Tendo a máquina de cumprir algumas especificações:

- Desenrolar o tubo de *braid* com diâmetro máximo de 50 mm;
- Medir o tubo com precisão, admitindo variações de 3 mm;
- Cortar o tubo com elemento quente;
- Funcionar de forma automatizada.

Desenrolar o tubo de *braid*

O tubo é armazenado em bobinas com um furo central, sendo possível manusear o rolo manualmente. A máquina tem de ser capaz de tracionar o tubo de forma a desenrolá-lo e torná-lo em um elemento único.

O diâmetro do tubo a tracionar e posteriormente cortar, pode atingir um valor máximo de 50 mm, não apresentando valor mínimo.

Medir o tubo de forma precisa

A máquina tem de ser capaz de medir o tubo de forma precisa, podendo ocorrer variações máximas, na medição do tubo, de 3 mm.

Cortar o tubo com elemento quente

O corte do tubo, como mencionado anteriormente, tem de ser feito recorrendo a um elemento quente.

Funcionar de forma automatizada

A máquina tem de ser controlada por um operador através de um computador, trabalhando de forma automatizada e capaz de fornecer as informações de corte, de volta ao operador.

3.1.1 Desenrolar o tubo

Neste subconjunto, o desenrolar do tubo é o início de todo o processo, é neste local onde o tubo é desenrolado, passando de um rolo a um fio individual. O desenrolar do tubo é uma etapa que acontece fora da máquina, sendo esta uma etapa de pré processamento.

3.1.2 Entrada do tubo

A entrada do tubo é onde começa a máquina em si, sendo a zona em que o tubo é preparado para as etapas seguintes. É responsável pelo alinhamento do tubo para as correias.

3.1.3 Fixação e medição do tubo

Estas duas operações são realizadas em simultâneo pois, para que a medição seja feita em perfeitas condições, o tubo tem de se encontrar preso e não apresentar escorregamento, por estas razões as duas tarefas acontecem em simultâneo.

3.1.4 Corte do tubo de *braid*

Esta atividade acontece posteriormente à medição do tubo, e é realizado o corte do mesmo.

O corte deste tubo, na empresa, é feito recorrendo a um filamento quente, para que quando for feito o corte, as pontas do tubo fiquem coladas devido ao calor gerado por este, e assim o tubo não se desfaça e perca a sua funcionalidade. Caso o tubo seja cortado com algum objeto e não recorrendo ao calor, para que o tubo fique funcional, as suas extremidades têm

de ser aquecidas. Assim sendo, a técnica de corte mais adequada e económica para este tubo é o corte a quente.

3.1.5 Acondicionar do tubo

Esta tarefa acontece posteriormente ao corte do tubo, sendo assim uma etapa de pós processamento, onde o tubo é armazenado após o respetivo corte.

3.1.6 Extração de fumo

A extração de fumo é também uma etapa que está associada à máquina, não fazendo parte da mesma. O corte do tubo tem como consequência o fumo, e para que seja seguro estar perto da máquina, o fumo deve ser extraído. Pode ser feita recorrendo a condutas de extração de fumo, sendo este um ponto externo à máquina em estudo, contudo a empresa possui o sistema de extração de fumo o que não é uma preocupação para a realização deste projeto.

3.1.7 Controlo e programação

O controlo da máquina é uma das partes mais importantes, pois é a responsável por todo o controlo do movimento automatizado da máquina.

3.2 Criação de soluções alternativas e respetiva escolha

Para cada subconjunto serão apresentadas algumas possibilidades de construção, numeradas iniciando a sua contagem no número 1, e apresentando também vantagens e desvantagens de cada opção. Para a modelação das possíveis opções de construção, foi utilizado o programa *Fusion 360*, pois é um programa com o qual a empresa trabalha normalmente.



Figura 18 - Símbolo do programa Fusion 360 [39]

Depois de analisadas as soluções possíveis apresentadas, são também apresentadas as soluções escolhidas para a construção da máquina e as respectivas justificações. É de salientar que a construção da máquina tem como objetivo ser de baixo custo, baixa complexidade, mas capaz de realizar a tarefa pretendida, de forma a comprovar o conceito de funcionamento.

3.2.1 Desenrolar o tubo

No desenrolar do tubo, é obrigatório que o rolo consiga rodar livremente, para tal pode-se recorrer à utilização de rolamentos que facilitam o movimento. A bobina tem de ser desenrolada recorrendo a um tubo metálico sendo este o veio de rotação, isto acontece, pois, é a forma mais fácil e económica de fazer com que o conjunto, bobina e tubo, desenrole.

Assim serão apresentadas duas opções de desenrolar a bobina.

Opção 1

O desenrolar do conjunto é feito recorrendo a dois rolamentos nas extremidades do tubo.



Figura 19 - Opção 1 para desenrolar o rolo de tubo de braid

Vantagens:

A utilização de somente 2 rolamentos, tornando uma construção com custo reduzido e simples.

Desvantagens:

Os rolamentos poderem ser uma limitação do diâmetro interior do rolo. Se o diâmetro exterior dos rolamentos for superior ao diâmetro interior do rolo não será possível a sua utilização devido ao conflito dimensional.

Opção 2

Na segunda opção, o tubo onde é aplicada a bobina, é pousado em cima de quatro rolamentos, dois de cada lado, fazendo assim com que o movimento seja facilitado.



Figura 20 - Opção 2 para desenrolar o rolo de tubo de braid

Vantagens:

Apresenta como vantagens o facto de o tubo não ter nada acoplado, e não ter conflitos devido ao diâmetro exterior do rolamento.

Desvantagens:

Como desvantagem, um custo superior, pois utiliza mais rolamentos.

Opção escolhida

No desenrolar do tubo a opção escolhida é a opção 2, em que o veio é pousado em quatro rolamentos. Esta é a opção escolhida pois, é uma opção muito versátil, podendo ser facilmente alterado o veio de desenrolamento do rolo. É também o desenrolador existente e funcional na empresa, o que, utilizando o mesmo desenrolador, não implica custos nem complexidade acrescida na construção da máquina.

3.2.2 Entrada do tubo

Relativamente à entrada do tubo, esta pode ser feita para um, ou mais tubos. Aquando da entrada de mais do que um tubo, é necessário a divisão dos mesmos. Contudo, inicialmente, este projeto utilizará apenas um tubo.

A entrada do tubo é um orifício que serve como entrada da máquina e alinhamento do tubo de corte, para tal, este tem de ter um formato. De seguida são apresentados três formatos que são uma possibilidade para a entrada do tubo.

Opção 1

Retangular.

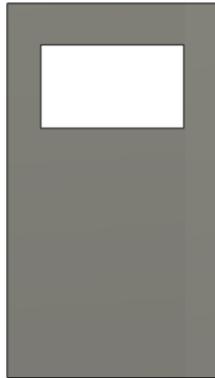


Figura 21 - Vista frontal da opção 1 de entrada do tubo



Figura 22 - Vista em perspectiva da opção 1 de entrada do tubo

Vantagens:

É o formato que mais se aproxima da área de trabalho a que o tubo está sujeito, ou seja, é o formato que as correias pressionam o tubo.

Desvantagens:

Apresenta vértices.

Opção 2

Circular.

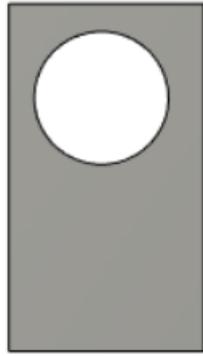


Figura 23 - Vista frontal da opção 2 de entrada do tubo



Figura 24 - Vista em perspectiva da opção 2 de entrada do tubo

Vantagens:

O facto de não ter vértices e o facto de ser uma geometria com um centro, ajudando assim a alinhar o tubo.

Desvantagens:

As desvantagens advêm do facto de ser um bocado mais limitante a nível de diâmetros de tudo.

Opção 3

Quadrada, é um formato muito semelhante à opção 1, contudo a sua altura é maior.

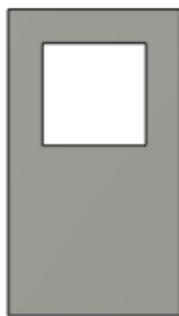


Figura 25 - Vista frontal da opção 3 de entrada do tubo



Figura 26 - Vista em perspectiva da opção 3 de entrada do tubo

Vantagens:

Entrada facilitada, pela altura disponível.

Desvantagens:

A existência de vértices.

Opção escolhida

Qualquer uma das opções apresentadas é capaz de realizar a tarefa. A opção escolhida é a opção 2, a entrada circular, devido ao facto de não apresentar nenhum vértice não causando interferências com o tubo, e pelo facto de alinhar o tubo com as correias, devido ao formato circular.

3.2.3 Fixação e medição do tubo

Como foi mencionado anteriormente, a fixação e medição do tubo são duas operações que ocorrem em conjunto.

Para começar, é necessário recorrer a correias que serão usadas para prender o tubo. Para que não haja problemas com o escorregamento entre a correia e as polias, as correias utilizadas são correias dentadas, sendo estas correias síncronas. As correias são acionadas por polias que serão acionadas pelo motor de medição. São utilizadas duas correias, uma na parte superior e outra na parte inferior.

Para um melhor funcionamento, a correia superior será móvel, caso seja necessário inserir o tubo, ou alguma outra intervenção, a correia superior pode ser levantada, para tal, está acoplada a guias lineares para que o movimento seja fácil e sem desalinhamentos. A correia inferior está limitada à sua posição de montagem.

Correias

As correias para o seu funcionamento podem adquirir vários formatos. São uma parte crucial da máquina pois são o elemento responsável por transmitir o movimento que deriva do motor para os tubos. Para o seu formato são apresentadas três opções possíveis. Para cada uma das opções, as correias utilizadas são as mesmas, variando apenas a sua disposição, mantendo as suas dimensões.

Opção 1

Formato próximo da forma retangular.

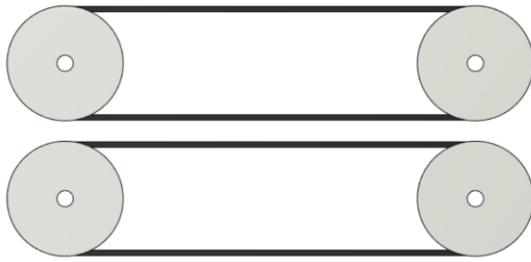


Figura 27 - Vista frontal da opção 1 para o formato das correias



Figura 28 - Vista em perspectiva da opção 1 para o formato das correias

Vantagens:

Formato simples e bastante eficiente, com o mínimo de altura possível fazendo com que o comprimento seja máximo, ou seja, a área de contacto com os tubos seja a maior, tornando assim a função das correias a mais eficiente possível. Podendo ter apenas duas polias dentadas por cada correia.

Desvantagens:

O tensionamento das correias tem de ser efetuado numa das polias, sendo estas as polias de contacto com o tubo.

Opção 2

Formato semelhante a um triângulo.

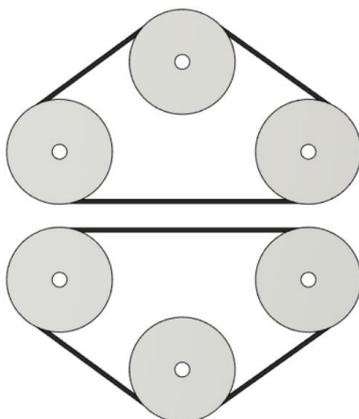


Figura 29 - Vista frontal da opção 2 para o formato das correias

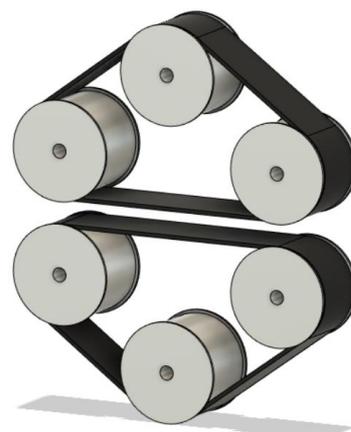


Figura 30 - Vista em perspectiva da opção 2 para o formato das correias

Vantagens:

Possibilidade de aplicar o esticador das correias na polia que está fora da zona de tração, não estando em contacto com o tubo.

Desvantagens:

Este formato implica a utilização de no mínimo três polias por correia, e uma menor área de contacto com o tubo do que a opção anterior.

Opção 3

Quadrangular.

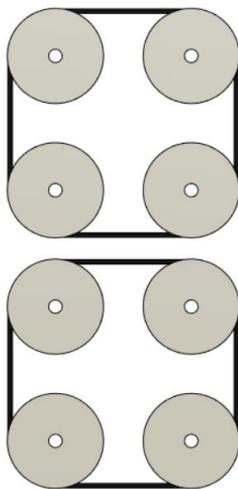


Figura 31 - Vista frontal da opção 3 para o formato das correias

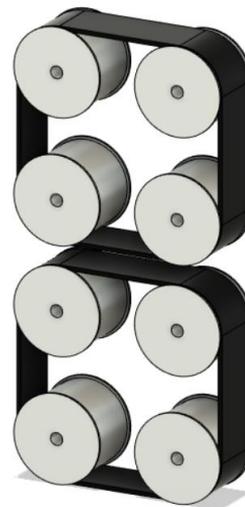


Figura 32 - Vista em perspectiva da opção 3 para o formato das correias

Vantagens:

Este formato permite a aplicação do esticador da correia em duas das polias que não estejam em contacto com o tubo.

Desvantagens:

Implica, no mínimo, a utilização de quatro polias, fazendo assim com que a área de contacto com o tubo seja ainda mais reduzida que a anterior.

Opção escolhida

Utilizando as correias dentadas fornecidas pela empresa, o formato escolhido é o formato da opção 1, retangular, pelo facto de poder utilizar apenas das polias dentadas, tornando assim a construção mais simples e de baixo custo.

Utilizando um esticador para tensionar as correias, que é feito recorrendo a um parafuso milimétrico, que será mencionado posteriormente (3.3.2).

Fixação do tubo

Independentemente do formato que as correias são sujeitas, é necessário fixar o tubo entre as correias, de forma que o tubo fique bem preso e pronto a funcionar. Para tal serão apresentadas algumas soluções possíveis. É também importante salientar que o tubo tem de estar constantemente comprimido.

Opção 1

Abertura e fecho controlado por um motor através de rodas dentadas e cremalheiras, o sistema é responsável pela abertura e fecho das correias.

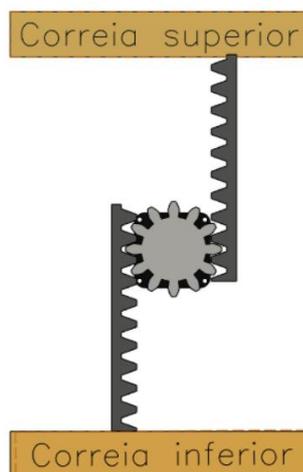


Figura 33 - Vista frontal da opção 1 do fecho das correias

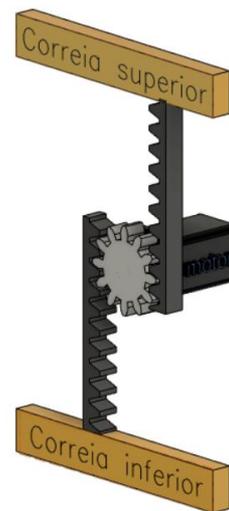


Figura 34 - Vista em perspetiva da opção 1 do fecho das correias

Vantagens:

É um sistema muito robusto e preciso.

Desvantagens:

Esta opção é relativamente dispendiosa, pois requer a utilização de um motor associado a este sistema, uma roda dentada e duas cremalheiras.

Opção 2

Abertura e fecho por cilindro pneumático, em que o fecho é controlado pela pressão inserida no cilindro pneumático.

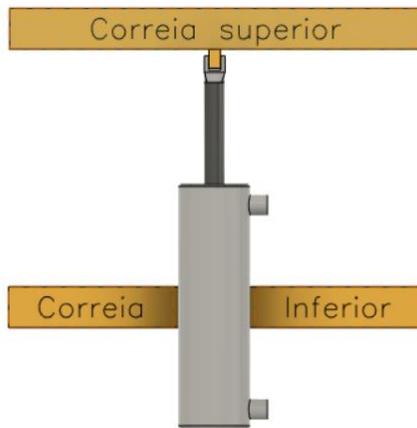


Figura 35 - Vista frontal da opção 2 do fecho das correias

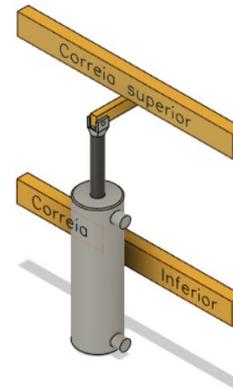


Figura 36 - Vista em perspectiva da opção 2 do fecho das correias

Vantagens:

É um sistema fácil de controlar e de baixo custo, devido à utilização do acionamento pneumático.

Desvantagens:

Devido à utilização do acionamento pneumático, o controlo não é preciso.

Opção 3

Abertura por cilindros pneumáticos e fecho por molas.

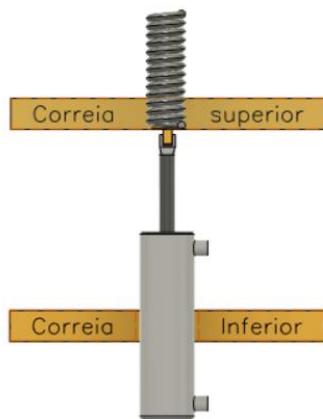


Figura 37 - Vista frontal da opção 3 do fecho das correias

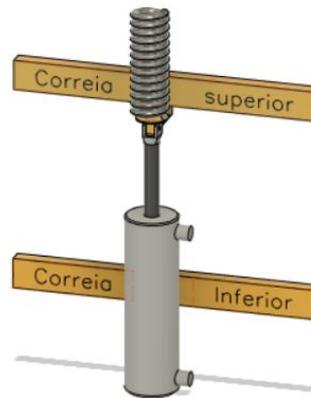


Figura 38 - Vista em perspetiva da opção 3 do fecho das correias

Vantagens:

Apresenta um fecho de força constante, controlado pela força da mola.

Desvantagens:

É uma opção mais dispendiosa que a anterior, pelo acréscimo de componentes.

Opção 4

Abertura através de pinhão e cremalheira controlada por motor e fecho por molas, esta opção é semelhante à opção 1, contudo o fecho seria controlado pela mola em vez de ser controlado pelo motor.



Figura 39 - Vista frontal da opção 4 do fecho das correias

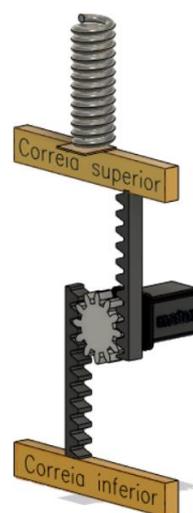


Figura 40 - Vista em perspectiva da opção 4 do fecho das correias

Vantagens:

É um sistema bastante, preciso e robusto, utilizando a mola, com força constante para pressionar o tubo.

Desvantagens:

O elevado custo de produção.

Opção 5

Abertura manual e fecho de molas.



Figura 41 - Vista frontal da opção 5 do fecho das correias



Figura 42 - Vista em perspectiva da opção 5 do fecho das correias

Vantagens:

Esta opção é a de menor custo, pois simplesmente requer uma mola e um sistema de abertura manual. A mola é responsável pelo fecho constante das correias.

Desvantagens:

O facto de não ser automatizada, obrigando assim o operador, se necessário, a realizar a ação de abertura.

Opção escolhida

Relativamente à fixação do tubo, a opção 5, abertura manual e fecho por molas, foi a opção escolhida por várias razões. São elas, o facto de ser a opção de menor custo, o facto de a correia superior não precisar de ser movimentada muitas vezes, fazendo com que o custo e complexidade que possa estar associado aos elementos adicionais, para o movimento da correia superior, não seja compensador.

Outro ponto também a favor desta escolha, é o facto de o tubo ser flexível, assim sendo, ele pode e deve trabalhar constantemente comprimido. A máquina pode trabalhar sem ser necessário levantar a correia superior, porque o tubo pode ser inserido no meio das correias, e será puxado pelas mesmas.

Motor de medição do tubo

O motor de medição que estará ligado às correias, tem de ser um motor com precisão para que seja possível medir através do mesmo, o tubo que se vai cortar. Para tal são

apresentadas duas opções. As vantagens e desvantagens dos motores podem ser consultadas no ponto 2.4.1.

Opção 1

Servo motor.

Opção 2

Motor de passo.

Opção escolhida

Para o motor de medição a opção 2 é a opção escolhida, o motor de passo, pelo facto de ser de menor custo, fácil de controlar e de menores dimensões.

Acionamento das correias

O acionamento das correias terá origem no motor de medição, e, recorrendo a um ou mais elementos mecânicos o acionamento chegará às correias. Para tal serão apresentadas algumas propostas que poderão ser usadas. Tendo em conta que é muito importante a sincronização entre o motor e as correias, pois este conjunto é responsável pela medição do tubo. Para garantir que o acionamento é mais viável ainda, é também importante o acionamento das duas correias, para que não exista a possibilidade de escorregamento entre elas.

Opção 1

Engrenagens, esta opção recorre a engrenagens para acionar as correias diretamente conectadas ao motor.

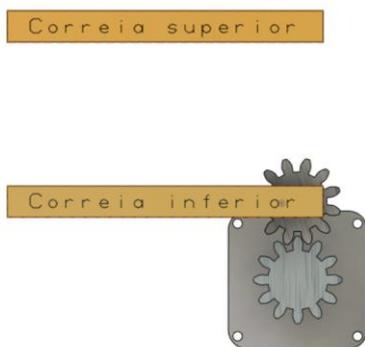


Figura 43 - Vista frontal da opção 1 de acionamento das correias

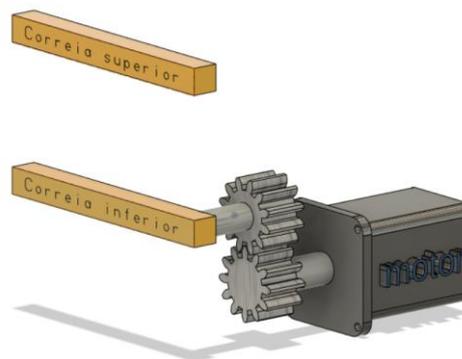


Figura 44 - Vista em perspetiva da opção 1 de acionamento das correias

Vantagens:

Este método apresenta as vantagens de utilização de engrenagens, tais como a fiabilidade, o elevado rendimento, a precisão, a robustez, entre outras.

Desvantagens:

Como desvantagem, só pode ser acionada uma correia, devido ao facto de as engrenagens não serem flexíveis. Assim sendo só a correia inferior é que pode ser acionada, pois a correia superior é móvel, e não possibilita a utilização de engrenagens para o seu acionamento, devido ao facto de não apresentar uma distância entre eixos constante, o que é obrigatório para a utilização de engrenagens.

Opção 2

Engrenagem e correia, esta opção é uma melhoria da opção anterior, ou seja, as engrenagens acionam a correia inferior e para acionar a correia móvel, recorre-se a uma correia com um esticador.

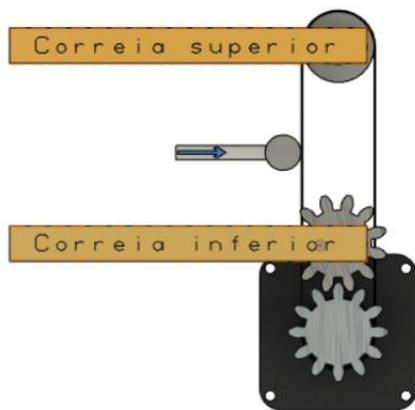


Figura 45 - Vista frontal da opção 2 de acionamento das correias

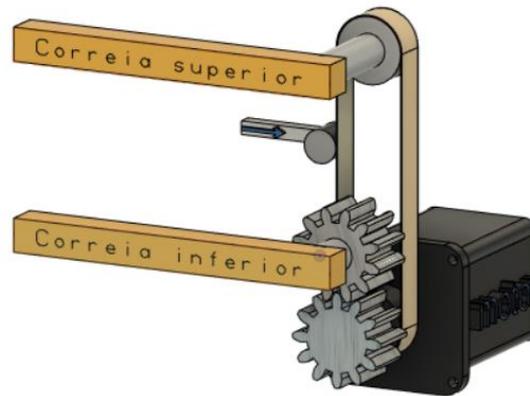


Figura 46 - Vista em perspectiva da opção 2 de acionamento das correias

Vantagens:

A vantagem desta opção, advém do facto de ambas as correias do tubo serem acionadas e não só uma, podendo ser uma opção precisa, com a utilização de uma correia dentada.

Desvantagens:

Como desvantagem, o elevado custo de produção e complexidade acrescida.

Opção 3

Esta opção baseia-se na utilização de 2 correias de acionamento, uma para cada correia dentada, individualmente permitindo assim que as correias dentadas funcionem em conjunto e também que não exista escorregamento. Para as correias funcionarem corretamente é necessário que as correias de acionamento tracionem os veios em sentidos opostos, para que o ponto de contacto das correias tenha o mesmo sentido. São apresentadas duas correias pois, para que seja garantido o sincronismo, é necessário utilizar correias dentadas. Não podendo tracionar as duas correias com correias dentadas, a correia inferior seria dentada, e a superior seria plana.

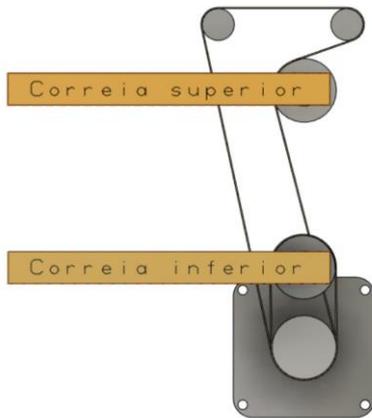


Figura 47 - Vista frontal da opção 3 de acionamento das correias

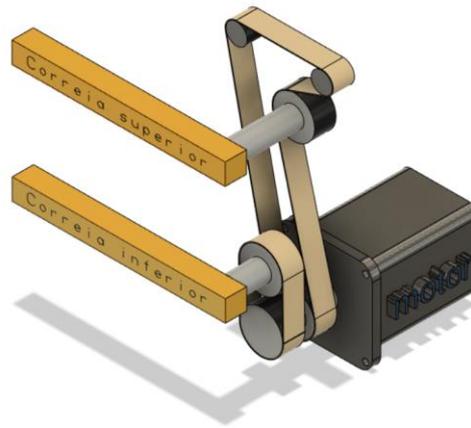


Figura 48 - Vista em perspectiva da opção 3 de acionamento das correias

Vantagens:

Como vantagem, um custo inferior às opções anteriores.

Desvantagens:

A utilização de uma correia plana, para acionamento da correia superior, não garante precisão na mesma.

Opção 4

Utilização de uma corrente, para acionamento das duas correias. A forma como a corrente é aplicada é relevante, pois as duas correias estão em contacto, e têm de rodar em sentidos diferentes, para que a parte central, onde vai ser alojado o tubo, tenha o mesmo sentido e seja possível medir o tubo, como mostram as figuras seguintes.



Figura 49 - Vista frontal da opção 4 de acionamento das correias

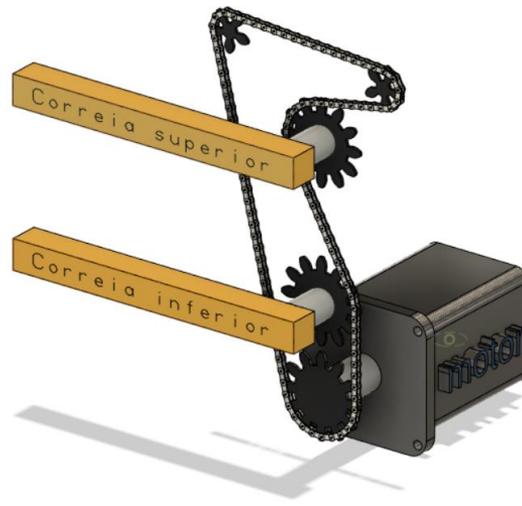


Figura 50 - Vista em perspectiva da opção 4 de acionamento das correias

Vantagens:

A utilização de uma única corrente para acionar as duas correias, simultaneamente, garantindo a sincronização.

Desvantagens:

Necessita da aplicação de um tensor, para tensionar a corrente. Este método, tem um custo superior à utilização de correias.

Opção escolhida

Para o acionamento das correias a opção 4, utilização de correntes, é a mais adequada, devido ao facto de ser a totalmente síncrona e com precisão, de fácil execução, e também de baixo custo.

3.2.4 Corte do tubo

O corte do tubo, como foi referido anteriormente é obrigatório fazer recorrendo a um elemento quente. Podendo ser por duas opções.

Opção 1

Recorrendo a um filamento quente.

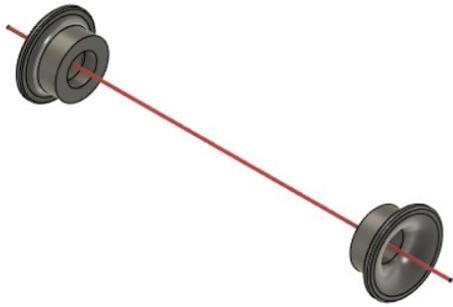


Figura 51 - Ferramenta de corte da opção 1

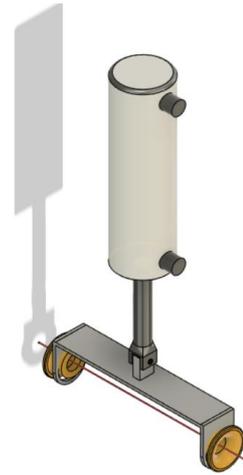


Figura 52 - Conjunto de corte da opção 1

Vantagens:

Recorrendo a um alterador de potência manual, é possível controlar o consumo de energia do fio. Possui uma montagem simples e segura.

Desvantagens:

O fio armazena pouca energia térmica.

Opção 2

A opção passa por utilizar uma lâmina quente.

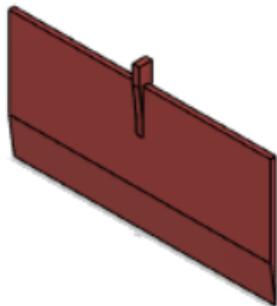


Figura 53 - Ferramenta de corte da opção 2

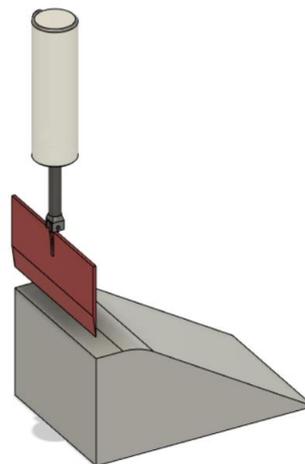


Figura 54 - Conjunto de corte da opção 2

Vantagens:

A lâmina, quando aquecida, apresenta uma elevada energia térmica.

Desvantagens:

Como o funcionamento da máquina pode não ser constante, podendo apresentar muitas paragens, a utilização da lâmina pode causar um consumo de energia indesejado.

Opção escolhida

Para o corte do tubo, a solução 1 é a solução mais viável, pela facilidade de construção, menor custo, menor perigosidade e menor consumo de energia. Recorrendo a um fio metálico que será alimentado eletricamente de forma a ficar com temperatura suficiente para cortar o tubo.

3.2.5 Acondicionar o tubo

Para o acondicionamento do tubo existem pelo menos duas opções.

Opção 1

Queda por gravidade para um recipiente.

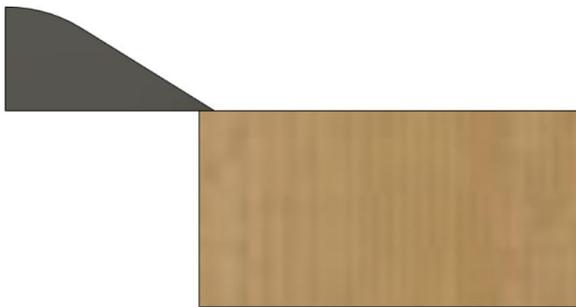


Figura 55 - Vista frontal da opção 1 de armazenamento de tubo

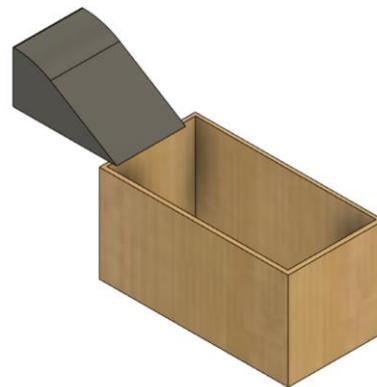


Figura 56 - Vista em perspectiva da opção 1 de armazenamento de tubo

Vantagens:

É uma opção que não acrescenta custos e de fácil aplicação.

Desvantagens:

Os tubos depois de cortados apresentam todos o mesmo destino, não existindo separação de diferentes encomendas.

Opção 2

A opção consiste na utilização de várias caixas, recorrendo a um elemento físico, por exemplo, um cilindro pneumático, para o seu acionamento, fazendo assim com que o tubo pudesse ter diferentes destinos.

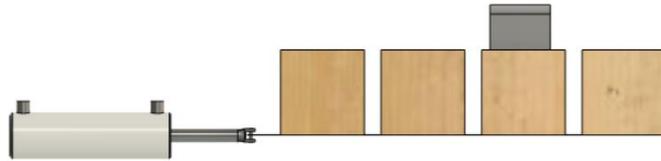


Figura 57 - Vista frontal da opção 2 de armazenamento de tubo

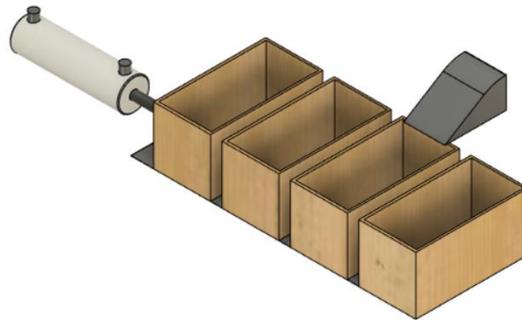


Figura 58 - Vista em perspectiva da opção 2 de armazenamento de tubo

Vantagens:

A vantagem advém da existência de vários caminhos possíveis que o tubo cortado pode percorrer, podendo fazer vários lotes de cortes, sem ter de se preocupar com a mistura dos tubos.

Desvantagens:

Esta opção implica custo e complexidade adicionais.

Opção escolhida

Como o objetivo do protótipo é provar o seu funcionamento, a diferenciação de diferentes cortes não é um requisito obrigatório, sendo que a opção 1, a queda por gravidade, é a opção escolhida, pois não aplica custos nem complexidade à realização da máquina.

3.2.6 Sistema de controlo

Para a automatização da máquina, existem várias possibilidades, contudo serão apresentadas apenas duas opções.

Opção 1

Utilização de um autómato programável.

Vantagens:

O fácil controlo, a possibilidade de adicionar módulos e ser bastante robusto.

Desvantagens:

Como desvantagens, esta opção tem um custo elevado.

Opção 2

Utilização de um Arduino.

Vantagens:

O custo reduzido, a fácil utilização, a versatilidade são as vantagens deste método.

Desvantagens:

Como desvantagens, o facto de não ser um equipamento tão robusto quanto o autómato programável, e a obrigatoriedade de utilização de componentes adicionais.

Opção escolhida

A opção escolhida é a 2, o Arduino, pelo facto de ser mais barato, ter uma comunicação facilitada com o computador e fácil controlo do motor de passo anteriormente escolhido também. Estando a ser construído um protótipo, o Arduino é mais do que capaz de realizar a tarefa pretendida.

3.2.7 Máquina de corte de tubo

Escolhidas todas as opções anteriores é possível, visualizar na Figura 59 e Figura 60, uma demonstração da possível construção da máquina. É também possível consultar, no Apêndice 4, um desenho técnico do conjunto apresentado, com as dimensões de atravancamento, e lista de peças.

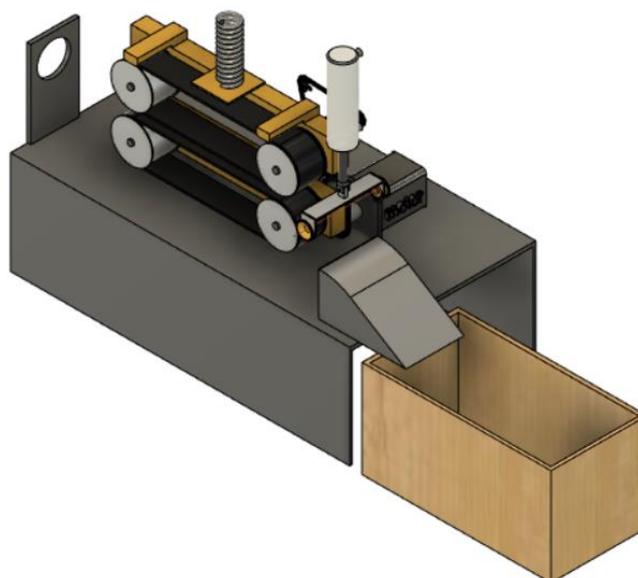


Figura 59 - Vista frontal em perspectiva do conjunto das opções da máquina

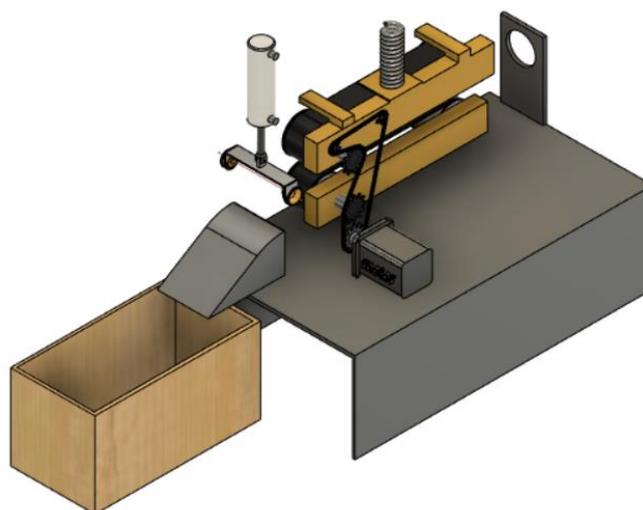


Figura 60 - Vista traseira em perspectiva do conjunto das opções da máquina

Depois de selecionado o formato de construção da máquina, as únicas correias existentes são as correias de medição do tubo.

3.3 Construção da máquina

Relativamente à construção da máquina, são apresentadas de seguida todos os procedimentos realizados na construção. Serão apresentados os elementos que foram construídos, tal como todos os constituintes. Os elementos que já existem em funcionamento na empresa não serão apresentados neste capítulo.

Para dar início à construção da máquina é feita uma base metálica para alojar os componentes e ser a estrutura principal da máquina. A estrutura pode ser visualizada em conjunto com a entrada do tubo na Figura 61.

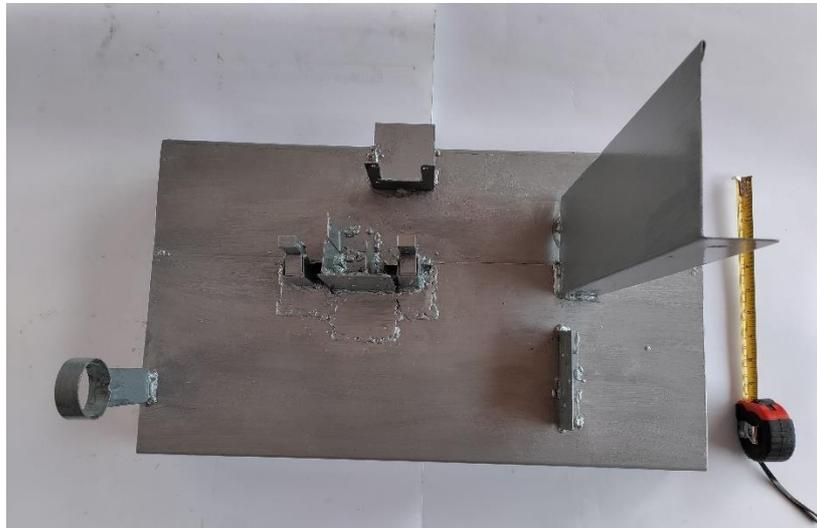


Figura 61 - Base estrutural da máquina

3.3.1 Entrada do tubo

A entrada do tubo é feita através de um pedaço de um tubo metálico normalizado com 50 mm de diâmetro externo, soldado de forma que o seu centro fique alinhado com as correias dentadas, fazendo com que o tubo de *braid* no seu funcionamento fique alinhado com as mesmas.

3.3.2 Fixação e medição do tubo

Relativamente a fixação e medição do tubo serão apresentadas agora as construções de cada elemento.

Correias

Utilizando as correias dentadas fornecidas pela empresa, representadas na Figura 62, com a referência T10 700 4316, recorrendo a duas polias dentadas para cada correia, apresentadas na Figura 63, com a referência 66 T10/27, de 27 dentes e diâmetro exterior de 88 mm, pode-se proceder a aplicação das mesmas.

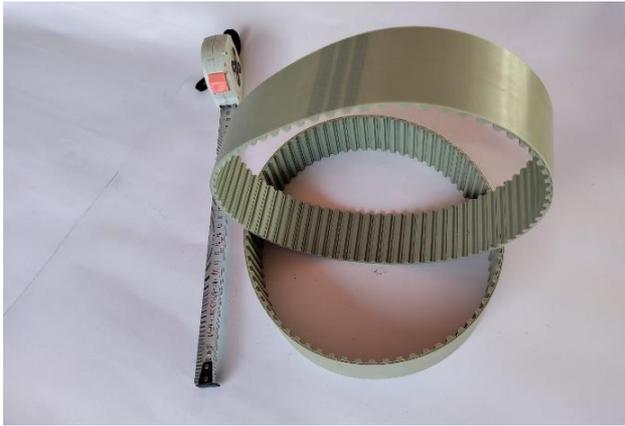


Figura 62 - Correias utilizadas na construção



Figura 63 - Polia utilizada na construção

O facto de serem usadas apenas duas polias dentadas por cada correia, facilita a sua construção. Os veios das polias dentadas, são feitos de varão roscado M12 com 12 mm de diâmetro, como representa a Figura 64.



Figura 64 - Veio das polias utilizado na construção

Esta construção com varão roscado apresenta vantagens, pois o comprimento do veio é variável e controlado na sua montagem, podendo também alterar a posição das peças montadas no veio.

Para um funcionamento mais eficiente, os veios das polias rodam recorrendo a rolamentos, cada veio utiliza 2 rolamentos de referência 6003-2Z/C3, com diâmetro externo de 35 mm, diâmetro interno de 17 mm e 10 mm de largura, representado na Figura 65.



Figura 65 - Rolamento utilizado na construção

Para o suporte dos componentes foi construída uma chumaceira, capaz de alojar os rolamentos, sendo esta um tubo metálico em que o seu diâmetro interior é igual ao diâmetro exterior do rolamento, fazendo com que os rolamentos entrem com aperto e não saiam da sua posição de trabalho. São utilizados 2 rolamentos para cada veio, distanciados entre si 40 mm, de forma a eliminar qualquer movimento não desejado, restringindo o veio a 1 único grau de liberdade, a rotação num eixo.

A chumaceira é também capaz de esticar a correia, recorrendo a um parafuso e fêmea milimétricos de 10 mm de diâmetro. Com a fêmea bloqueada, a rotação do parafuso é responsável pelo esticar e encolher do suporte presente na Figura 66.



Figura 66 - Suporte do conjunto da correia

Conhecidos todos os materiais necessários para a construção, procede-se à montagem das correias.

Para fixar todos os componentes no veio na posição pretendida são utilizadas fêmeas milimétricas de 12 mm e também anilhas para uma melhor fixação.

Existe uma pequena diferença entre o diâmetro do veio e o diâmetro interior do rolamento. Para que as dimensões sejam semelhantes, recorreu-se a um casquilho no interior

do rolamento, de forma que o furo central do rolamento fique com 12 mm de diâmetro. Os casquilhos, foram feitos com dimensões de 12 mm interiores e 17 mm exteriores, entrando com aperto no rolamento.

Fixação do tubo

A correia inferior é fixa e a superior é movel, como tal a correia inferior fica presa diretamente ao suporte da máquina e a correia superior fica conectada a duas guias lineares, representadas na Figura 67.



Figura 67 - Guias lineares utilizados na construção

As guias lineares, acopladas com carro guia de flange, capazes de suportar 14 000 N, estão sobredimensionadas, contudo foram fornecidas pela empresa pois não eram utilizadas. Estas permitem às correias, que consigam ficar juntas, mas também consigam ter um distanciamento máximo de 45 mm.

Para que as correias consigam ficar em contacto direto, não podem ficar alinhadas, precisam de um desvio de 30 mm, devido à existência das bordas laterais das polias dentadas, como pode ser verificado na Figura 68.



Figura 68 – Pormenor da polia utilizada na construção

Caso as polias fiquem alinhadas, as beiras iriam colidir e não seria possível o contacto direto das correias. Como o tubo de *braid* é flexível, as correias não iriam conseguir tracionar o mesmo. Mais à frente neste capítulo, é possível verificar o desalinhamento existente entre as correias (Figura 73 e Figura 74).

Relativamente ao movimento da correia superior é controlado pelo operador, manualmente. O fecho e compressão das correias é feito recorrendo a uma mola de força constante.

Motor de medição

O motor de medição, é fixo à base da máquina, levando acoplado ao seu veio um pinhão de corrente para, posteriormente, acionar as correias.

Quanto ao dimensionamento, foram consideradas as piores condições de trabalho de forma que a máquina consiga em qualquer situação, realizar o trabalho que é suposto. Os cálculos serão apresentados de seguida.

A medição do tubo é controlada através do controlo do motor.

Acionamento das correias

O acionamento das correias é feito recorrendo a correntes, representadas na Figura 69, com 70 elos.



Figura 69 - Corrente de transmissão utilizada na construção

O pinhão de tração acoplado ao motor, representado na Figura 70, com diâmetro de 60 mm e 14 dentes, é de dimensões inferiores aos pinhões tracionados, que por sua vez têm um diâmetro de 98 mm e 24 dentes (Figura 71).



Figura 70 - Pinhão de tração acoplado ao motor



Figura 71 - 1 dos pinhões tracionados acoplados às correias

Para que as correntes funcionem corretamente é necessário a utilização de um esticador, a sua roda possui 10 dentes, representado na Figura 72, sendo este aplicado na parte superior de uma guia linear, alinhado com os pinhões de acionamento das correias.



Figura 72 - Esticador de corrente utilizado na construção

É importante salientar que os pinhões de acionamento das correias têm de ser do mesmo tamanho, de maneira que o movimento das correias seja semelhante e não exista escorregamento entre as mesmas, já o pinhão do motor pode ser de tamanho diferente. O seu tamanho implica alterações na velocidade das correias. Considerando um tamanho constante nos pinhões das correias, quanto maior for o pinhão do motor, mais esforço é aplicado no mesmo, mas também maior será a velocidade do pinhão das correias. Quanto menor for o pinhão do motor, mais lento é o movimento das correias e menor é o esforço a que o motor é submetido, o que é o caso presente na máquina.

Dimensionamento do Motor

Para dimensionar o motor capaz de equipar a máquina, é necessário recolher alguns dados, considerando o pior cenário.

Para começar, é importante recolher os dados do rolo de tubo que vai ser tracionado, considerando o mais pesado de todos. O rolo tem uma massa de 12 kg e o seu veio de desenrolamento tem uma massa de 10 kg, os diâmetros exteriores são de 400 mm e 60 mm respetivamente, contando que o rolo tem um diâmetro interior de 60 mm também. Com estes dados é possível então calcular o momento de inércia de ambos os componentes e do conjunto.

$$I_{Rolo} = \frac{1}{2} \times m \times (r_1^2 + r_2^2) = \frac{1}{2} \times 12 \times (0,03^2 + 0,4^2) = 0,97 \text{ kg.m}^2 \quad (1)$$

$$I_{veio} = m \times r^2 = 10 \times 0,03^2 = 0,009 \text{ kg.m}^2 \quad (2)$$

$$I_{Total} = 0,97 + 0,009 = 0,98 \text{ kg.m}^2 \quad (3)$$

Calculando a inércia de rotação do conjunto, é necessário calcular a aceleração angular para ser possível calcular o binário necessário para desenrolar o rolo de tubo.

$$\alpha = \omega t \quad (4)$$

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (5)$$

A velocidade linear é definida como 50 cm por segundo, e o tempo de aceleração é definido como 1 segundo. Com estes dados é possível então calcular a aceleração angular.

$$\alpha = \frac{v}{r} t = \frac{0,5}{0,4} \times 1 = 1,25 \text{ rad/s}^2 \quad (6)$$

É agora possível calcular o binário necessário para desenrolar o conjunto de tubo com o veio.

$$T_{rolo \text{ do tubo}} = I \times \alpha = 0,98 \times 1,25 = 1,23 \text{ N.m} \quad (7)$$

Aplicado um rendimento de 90 % ao desenrolamento do tubo devido ao uso de rolamentos e montagem do desenrolador.

$$T_{rolo \text{ do tubo}} = \frac{1,23}{0,9} = 1,37 \text{ N.m} \quad (8)$$

Como é sabido o diâmetro do conjunto, é possível calcular a força necessária para desenrolar o tubo.

$$F = \frac{T}{r} = \frac{1,37}{0,4} = 3,43 \text{ N} \quad (9)$$

São necessários 3,43 N de força para desenrolar o rolo de tubo, esta força será feita pelas correias, ou seja, o motor precisa de transmitir uma força superior às correias.

Para calcular o binário que o motor precisa de exercer nas correias, são feitas algumas simplificações. Visto que são duas correias a tracionar o tubo, e o motor irá tracionar as duas

correias. Para simplificar, os cálculos são feitos como se a tração do tubo seja feita por uma só correia.

Assim sendo começa-se por calcular o binário necessário a inserir nas correias para tracionar o tubo, tendo as polias um diâmetro de 88 mm.

$$T = F \times r = 3,43 \times 0,088 = 0,3 \text{ N.m} \quad (10)$$

Considerando um rendimento de 90% associado aos rolamentos e montagem das polias, o binário fica com um valor de 0,33 N.m.

$$T = \frac{0,3}{0,9} = 0,33 \text{ N.m} \quad (11)$$

Calculado o binário necessário para atuar a correia, é possível calcular o binário que o motor tem de fornecer através da relação de transmissão das rodas dentadas.

$$I = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (12)$$

A relação de transmissão é calculada através da fração entre o número de dentes das rodas dentadas. Como o pinhão do motor tem 14 dentes e as rodas tracionadas têm 24 dentes, é possível calcular a relação de transmissão.

$$I = \frac{24}{14} = 1,71 \quad (13)$$

Através do binário calculado na equação (11), que é necessário transmitir à correia, é possível calcular o binário mínimo do motor.

$$T = \frac{0,33}{1,71} = 0,19 \text{ N.m} \quad (14)$$

Considerando um rendimento de 90% associado às correntes e sua aplicação, e arbitrando um fator de segurança de 4, para que o motor não trabalhe em esforço, e aumente assim a sua vida útil, obtém-se um novo valor do binário mínimo.

$$T = \frac{0,19}{0,9} \times 4 = 0,84 \text{ N.m} \quad (15)$$

Assim sendo, e considerando que possam existir algumas tensões indesejadas na construção da máquina, o motor selecionado para a construção da máquina é um motor com 1,5 N.m de binário. Este motor irá tracionar as correntes, estas, que equipam, normalmente, bicicletas são capazes de transmitir toda a potência do motor, pois são dimensionadas para transmitir potências muito superiores. São usadas estas correntes, pois não estão a ser utilizadas e não têm custo acrescentado à produção da máquina.

Medição

Depois de calculado o motor, estando escolhidas as rodas dentadas que tracionam as correias presentes no conjunto, é possível calcular o comprimento de tubo medido, controlando o motor.

O diâmetro das polias é de 88 mm, considerando a relação de transmissão calculada na equação (13), é possível calcular a diferença de voltas entre as rodas dentadas.

$$1 \text{ volta do motor} = \frac{1}{1,71} = 0,58 \text{ voltas das rodas dentadas} \quad (16)$$

Assim, quando o motor dá uma volta completa, as polias das correias simplesmente efetuam 0,58 da sua volta completa.

Devido ao desalinhamento que as correias possuem, mencionado anteriormente neste capítulo, e recorrendo às Figura 73 e Figura 74, para uma melhor compreensão do mesmo desalinhamento, é possível compreender que as correias têm desvios do seu funcionamento, fazendo com que o seu diâmetro efetivo de tração seja inferior ao diâmetro das polias. É possível medir na montagem da máquina o diâmetro equivalente que as correias estão sujeitas, este novo diâmetro é de 86,1 mm.



Figura 73 - Representação do desalinhamento das correias

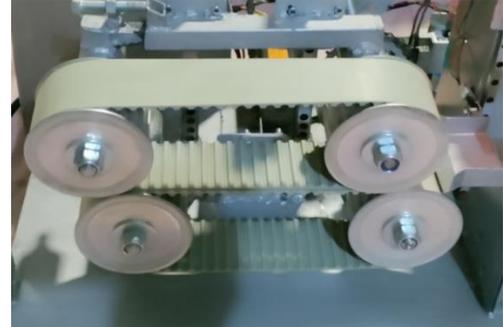


Figura 74 - Representação do desalinhamento das correias

Com o diâmetro efetivo que as correias apresentam na zona de contacto das polias, é possível calcular o perímetro de tração. Depois, com o valor do perímetro e com o valor calculado anteriormente na equação (16), é possível, finalmente, calcular o comprimento de tubo que é medido por cada volta do motor.

$$P = \pi \times D = \pi \times 86,1 = 270,5 \text{ mm} \quad (17)$$

$$1 \text{ volta do motor} = 270,5 \times 0,58 \approx 157 \text{ mm} \quad (18)$$

Este valor significa que, por cada volta que o motor de medição dê, o tubo irá avançar cerca de 157 mm.

Dimensionamento da mola

A força que as correias precisam de exercer para tracionar o tubo é de 3,43 N, com foi calculado na equação (9). Para dimensionar a mola, é necessário calcular a força mínima de compressão nas correias para que seja garantida a fixação do tubo. Neste caso, a força de atrito tem de ser superior à força necessária para tracionar o tubo (3,43 N).

$$F_a = N \times \mu \quad (19)$$

A equação anterior representa a força de atrito que é o produto entre a força normal e o coeficiente de atrito. Como o tubo pode variar, o coeficiente de atrito pode também variar.

Os materiais poliméricos podem ter diferentes coeficientes de atrito, depende muito do tipo de polímero, e do seu par de contacto, podendo obter valores como 0,04 para o PTFE, e podendo obter valores próximos de 1 para borrachas. Por esta razão, o coeficiente de atrito

utilizado é um coeficiente de atrito baixo, considerando um par de contacto entre polímeros. O coeficiente de atrito utilizado é 0,15.

$$3,43 < N \times 0,15 \Leftrightarrow N > 22,9 \text{ N} \quad (20)$$

Para além da mola a exercer força para prensar o tubo, existe também o conjunto da correia superior, composto pelo suporte, os rolamentos, os veios, polias e correia.

Depois da sua construção foi pesado o conjunto, e a sua massa é cerca de 3,2 kg. Com a massa e a aceleração gravítica, $9,8 \text{ m/s}^2$, é possível calcular o peso associado ao conjunto.

$$P = m \times g = 3,2 \times 9,8 = 31,36 \text{ N} \quad (21)$$

Como é possível verificar pelas duas equações (20) e (21), o peso do conjunto superior, que está a comprimir o tubo, é superior à força necessária. Assim, o conjunto pode funcionar sem a aplicação da mola, pois o peso do conjunto superior é suficiente para garantir que o tubo não irá escorregar.

3.3.3 Corte do tubo

Para o corte do tubo, a opção escolhida é o filamento quente, podendo ter duas espessuras, 0,4 mm e 0,6 mm de diâmetro. É importante reter que o fio quando alimentado, tem temperatura suficiente para cortar o tubo. No capítulo 3.4 é completada toda a informação necessária sobre o fio.

O acionamento do corte é feito recorrendo a um cilindro pneumático, devido à sua versatilidade e velocidade. O cilindro em questão é o cilindro presente na Figura 75, estando ligado diretamente ao suporte do fio de corte. O suporte do fio de corte está também ligado a um guia linear *MakerBeam* 103611, com 250 mm de comprimento, representado na Figura 76.



Figura 75 - Cilindro pneumático utilizado na construção



Figura 76 - Guia linear utilizado na construção

O Guia linear, como se encontra ligado ao cilindro pneumático e todo o esforço aplicado é no sentido linear do mesmo, não é posto em esforço.

O fio ao ser acionado pelo cilindro pneumático fica limitado ao seu curso, sendo ele de 100 mm, no máximo. Para o controlo do cilindro pneumático é utilizada uma válvula pneumática, cujo funcionamento detalhado é apresentado no ponto 3.4.2.

Para o correto acionamento do fio elétrico sem perdas é necessário que o fio esteja isolado dos restantes elementos de suporte. Recorre-se a dois isolantes, um para cada extremidade do fio. Como as temperaturas no fio são bastantes elevadas os isolantes utilizados são cerâmicos como se pode verificar na figura abaixo.



Figura 77 - Isolantes cerâmicos utilizados na construção

Pretendendo um melhor funcionamento do corte do tubo, inicialmente foi feito um suporte metálico capaz de conduzir o tubo para a zona de corte, Figura 78. Foi também realizado um outro suporte para prender o tubo na zona de corte, para que ele não possa sair da zona onde o fio entra em contacto com o tubo. Na Figura 79, pode visualizar-se este suporte realizado recorrendo a uma mola de compressão. O tubo será pressionado pelo suporte do fio fazendo com que o fio possa cortar o tubo.



Figura 78 - Suporte de alinhamento do tubo



Figura 79 - Suporte para corte do tubo

3.3.4 Acondicionar o tubo

Graças ao suporte já apresentado na Figura 79, pode-se verificar na Figura 80, que o tubo depois de cortado é encaminhado para o chão onde se pode aplicar um qualquer recipiente.



Figura 80 - Suportes aplicados na máquina

3.3.5 Sistema de controlo

O Arduino, é o elemento responsável pelo processamento de informação da máquina, mas, para o controlo total da máquina precisa de outros componentes, tais como a fonte de alimentação, relés entre outros. Todos eles têm de ficar corretamente conectados e fixos para depois recorrer ao seu controlo. Toda parte de comando será especificada no subcapítulo 3.4.

3.3.6 Construção geral da máquina

Neste ponto será abordada a construção geral da máquina.

A máquina requer dois tipos de abastecimento, energia elétrica e ar comprimido. A energia elétrica irá alimentar uma fonte de alimentação, e o ar comprimido será utilizado para acionar o cilindro pneumático responsável pelo movimento do fio de corte. O ar comprimido é fornecido através de uma peça macho de engate rápido, e é controlada a pressão por um regulador de pressão como se verifica na Figura 81.



Figura 81 - Regulador de pressão utilizado na máquina

Na Figura 82 pode-se visualizar a máquina, com a parte operativa completa e pronta para a montagem da parte de comando.



Figura 82 - Máquina com a parte mecânica completa

Para a construção da máquina foram utilizadas 4 técnicas de construção básicas, a soldadura, o corte sendo ele de vários tipos, a furação e aparafusamento. Para a construção da base e de todos os apoios existentes anexados à mesma foi utilizada a técnica de soldadura, pelo facto de ser uma técnica sólida, tornado assim a base numa só.

Durante toda a construção foram necessários alguns furos para aparafusar as peças, mas também para outros efeitos, como passagem de cabos. O corte abrasivo e corte de serra de fita são técnicas que, estiveram ligadas à construção da máquina desde o seu início, e tal como

todas as técnicas utilizadas estiveram em conformidade de forma a criar componentes específicos para esta construção, sendo esta construção, única.

O aparafusamento é uma técnica fortemente utilizada nesta construção pelo facto de facilitar a construção e a manutenção da mesma. Todas as partes que precisam de ser alteradas ou removidas estão conectadas por parafusos tornando assim a sua desmontagem prática.

São utilizados parafusos M3, M4, M5, M6, M10 e M12, com cabeça sextavada exterior ou cabeça sextavada interior, e para fixação, fêmeas ou roscas embutidas nos componentes.

Alguns dos componentes utilizados, na construção da máquina eram componentes inutilizados, tendo sido assim reutilizados.

Características gerais da máquina

1. Massa de 19 kg;
2. Alimentação elétrica monofásica de 230 V com 4 m de cabo elétrico e 1 interruptor para corte de energia;
3. Alimentação pneumática com pressões entre 2 e 10 bar, possui 2,5 m de tubo com entrada macho de engate rápido;
4. Dimensões gerais da máquina são de 650 x 460 x 530 mm³;
5. Fio de corte com espessura de 0,4 mm;
6. Largura útil para corte de 60 mm;
7. Correias com 50 mm de largura, 2 mm de espessura e 2,5 mm de dente;
8. Comprimento útil de tração das correias de 225 mm;
9. Abertura máxima das correias dentadas de 45 mm;
10. Correntes com 875 mm de perímetro, contendo 70 elos com passo de 12,5 mm.

3.4 Ligações e controlo

Existem 13 elementos que são constituintes da máquina e importantes para o seu funcionamento.

Os componentes são:

- Ficha;
- Interruptor;

- Fonte de alimentação;
- Controlador do motor;
- Motor;
- Relés (2 unidades);
- Válvula do cilindro pneumático;
- Controlador do fio de corte;
- Fio de corte;
- Sensor do cilindro pneumático superior;
- Sensor do cilindro pneumático Inferior;
- Arduino.

Para uma melhor compreensão do funcionamento da máquina, são explicados todos os componentes e suas funcionalidades. Existe também um componente, que não é constituinte da máquina, mas é importante para o seu funcionamento, o computador.

Ficha

A ficha é o componente através do qual a máquina tem o seu fornecimento elétrico de tensão alternada, de 230 V.

Interruptor

O interruptor é um componente em que o operador consegue, manualmente, ligar ou desligar a alimentação elétrica da máquina.



Figura 83 - Interruptor utilizado na máquina

Fonte de alimentação

A fonte de alimentação, transforma a energia elétrica de 230 V, tensão alternada, em 24 V, tensão contínua, tendo uma potência de 250 W.



Figura 84 – Fonte de alimentação utilizada na máquina

Controlador do motor

O controlador do motor é um componente responsável pelo acionamento e controlo do motor de passo, recebendo informação de comando do Arduino e energia elétrica da fonte de alimentação, transmitindo energia ao motor.



Figura 85 - Controlador do motor utilizado na máquina

Motor

O motor é responsável pelo movimento das correias dentadas, que tracionam o tubo de *braid*, como é referenciado no ponto 3.3.2.



Figura 86 - Motor utilizado na máquina

Relé

Os relés, sendo eles dois os presentes em todo o sistema, são os componentes através dos quais é possível controlar algumas ligações elétricas. Os relés têm dois lados para conectar cabos, um lado é o controlo do relé, e o outro lado funciona como um interruptor e é dependente do lado de controlo. De uma forma simples, os relés são interruptores controlados, neste caso, pelo Arduino.



Figura 87 - Relé utilizado na máquina

Válvula do cilindro pneumático

Este componente é o responsável pelo controlo do cilindro pneumático, sendo composto por duas partes, a parte elétrica e a parte pneumática. A parte elétrica é uma bobina elétrica acionada a 24 V, a parte pneumática irá ser referenciada no ponto 3.4.2.

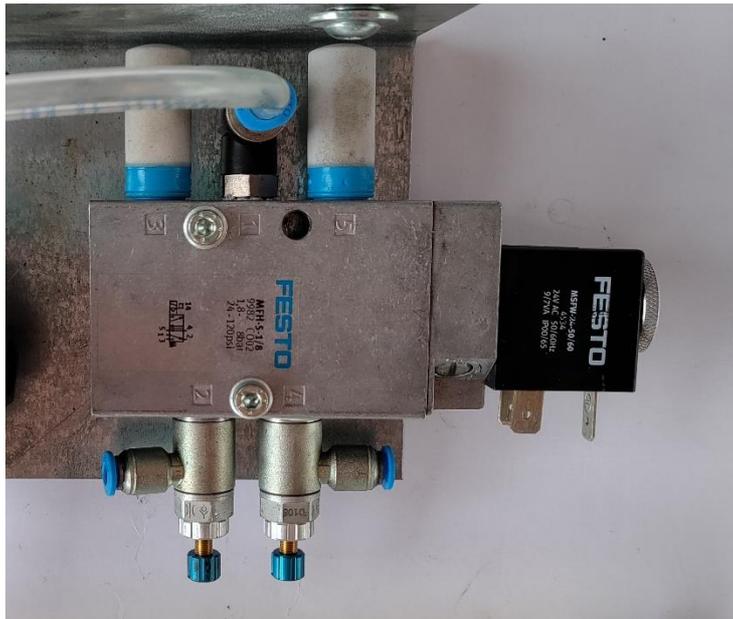


Figura 88 - Válvula pneumática utilizada na máquina

Controlador do fio de corte

O controlador do fio de corte é um conversor de tensão em que permite converter a tensão de entrada, neste caso de 24 V, numa outra tensão, desde 5 até 24 V, podendo assim aumentar a corrente que irá ser transmitida por este componente eletrónico. Contém dois parafusos que permitem definir a tensão que é pretendida e também limitar a corrente superior que é transmitida, sendo o limite máximo de 10 A. A saída de energia é ligada diretamente ao fio de corte.



Figura 89 - Conversor utilizado na máquina [40]

Fio de corte

O fio de corte é aquecido através da passagem de corrente elétrica. É um filamento metálico de nicromo, possuindo como constituintes principais níquel e cromo. É uma liga de alta resistividade, próxima de $1 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, ou seja, péssima condutora e boa a aquecer. Tem também boa resistência mecânica e é estável com temperaturas elevadas, cerca de $1\ 000\ ^\circ\text{C}$.

O fio de corte é alimentado através de dois componentes, a fonte de alimentação e o conversor de tensão, sendo que o conversor tem uma potência superior à do transformador. A potência máxima que o transformador pode fornecer é de 250 W. Transmitindo a uma tensão de 24 V, a corrente máxima é de 10 A, o conversor, apesar de ter uma potência de 300 W, é também limitado a uma corrente máxima de 10 A. Assim sendo a corrente que o fio de corte é submetido é no máximo de 10 A, podendo ter uma tensão desde 5 até 24 V.

Nas suas extremidades é ligado o polo positivo de um lado e o negativo do lado oposto, ficando assim o filamento ao rubro, com temperaturas superiores à temperatura de fusão do tubo a ser cortado e inferiores a $1200\ ^\circ\text{C}$.

Sensores do cilindro pneumático

Os sensores do cilindro pneumático são dois sensores de fim de curso presentes na máquina e acionados mecanicamente pelo cilindro pneumático. Quando estes são acionados é transmitida a informação ao Arduino.



Figura 90 - Fim de curso utilizado na máquina [41]

Arduino

O Arduino Nano, (Figura 91), presente na máquina, recebe informações de alguns componentes e controla outros, através de um programa.

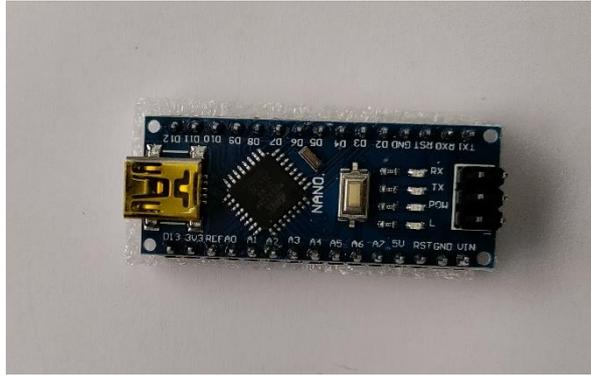


Figura 91 - Arduino utilizado na máquina

3.4.1 Circuitos elétricos

Como é referenciado anteriormente, a máquina é alimentada por uma tensão alternada de 230 V, o elemento alimentado nessa tensão é a fonte de alimentação, percorrendo também a ficha e o interruptor. Os outros elementos são alimentados por outras duas tensões, 5 V e 24 V.

Circuitos de 24 V

O controlador do motor, a válvula do cilindro pneumático e o controlador do fio de corte, são alimentados pela tensão de 24 V, que sai da fonte de alimentação.

Para uma melhor compreensão das ligações de 24 V, é apresentada a Figura 92 com um esquema elétrico.

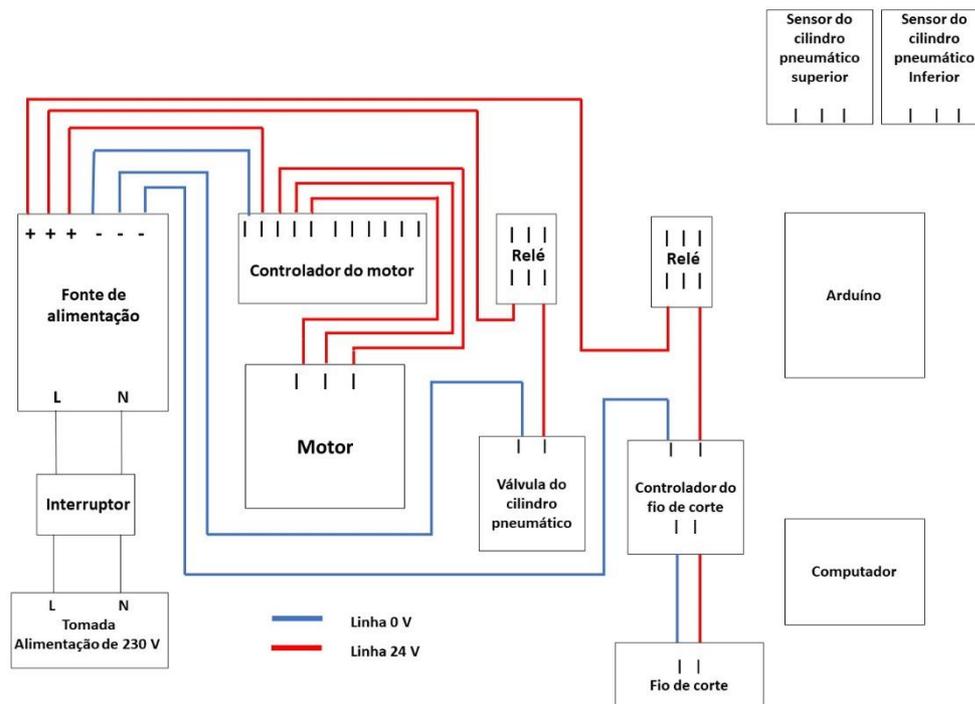


Figura 92 - Representação das ligações elétricas 24 V

O controlador do motor é ligado diretamente à fonte de alimentação, mas os outros dois componentes são ligados recorrendo a um relé como intermédio. Isto acontece porque, todos os componentes devem atuar quando o momento correto. O controlador do motor pode ser conectado diretamente, pois recebe do Arduino as informações de movimento. Quanto aos outros dois elementos, a válvula do cilindro pneumático e o controlador do fio de corte, quando recebem energia ficam ativos, sendo o seu controlo apenas possível com a utilização de relés, comandados pelo Arduino. Estes irão fornecer energia aos componentes quando for pretendido.

O fio de corte está ligado diretamente ao seu controlador sendo uma ligação direta. Quando é alimentado o controlador, o fio de corte é também alimentado.

Circuitos de 5 V

Depois de verificadas as ligações de 24 V, falta esclarecer os componentes que são alimentados a 5 V, a Figura 93, representa as ligações em causa.

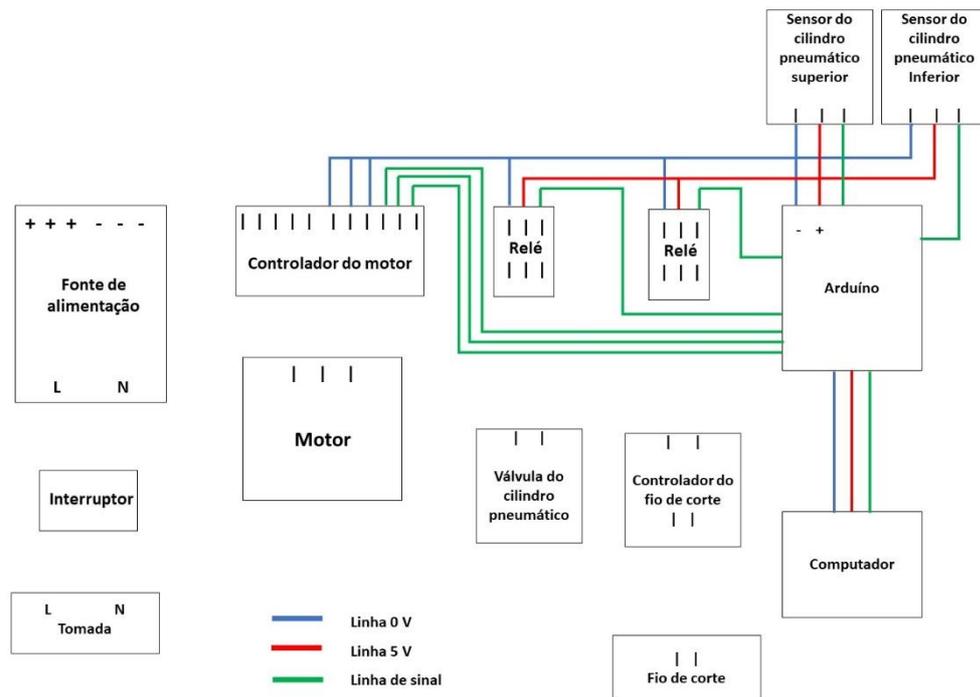


Figura 93 - Representação das ligações elétricas de 5 V

Os componentes que se encontram ligados na figura anterior, têm algo em comum, o facto de estarem todos ligados ao Arduino. O computador ao ser conectado com o Arduino, fornece energia de 5 V de tensão contínua, e também as informações necessárias para o funcionamento da máquina. Com a energia recebida do computador, o Arduino fornece energia aos componentes que necessitam da mesma, são eles os relés e os sensores de fim de curso.

O Arduino possui também uma linha de sinal, como é visualizado na Figura 93, conectada com os relés e sensores. Esta linha é uma linha de 5 V que é acionada somente quando é necessário passar informação. No caso dos sensores, esta linha é acionada quando os sensores são pressionados, e o Arduino recebe essa informação. No caso dos relés, a linha é acionada pelo Arduino para acionar os mesmos. Quando os relés são acionados, os componentes que estão conectados a eles, controlador de fio e válvula do cilindro pneumático são acionados também.

Existem seis ligações entre o Arduino e o controlador do motor. Estas linhas são as linhas utilizadas pelo Arduino para controlar o motor, sendo três delas de 0 V e as outras três de sinal.

Na Figura 94, é possível visualizar algumas das ligações presentes na máquina.

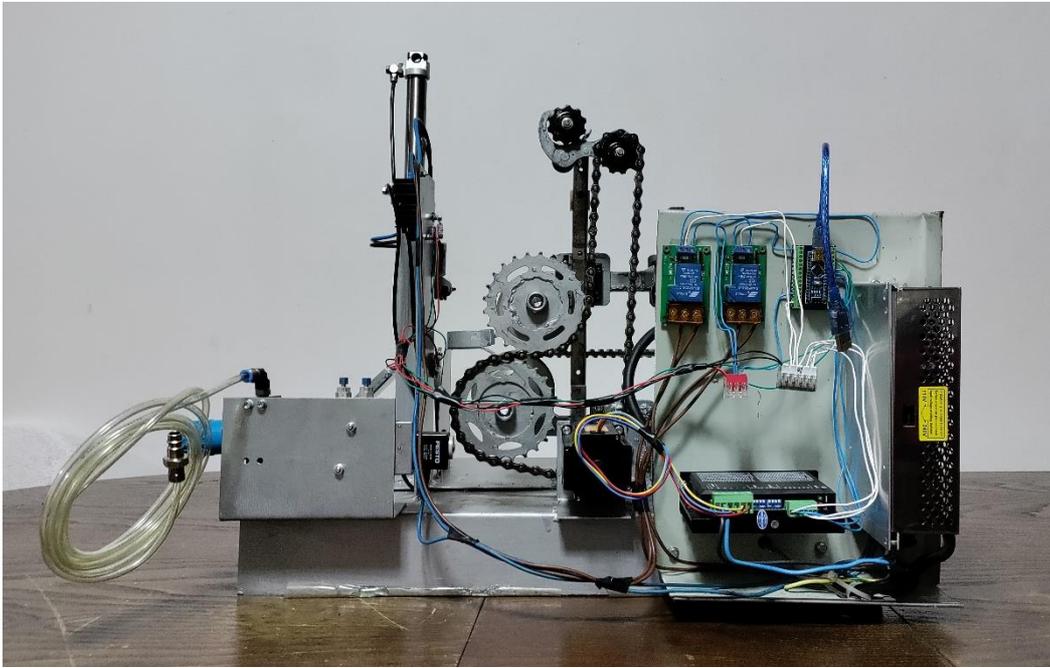


Figura 94 - Ligações elétricas presentes na máquina

3.4.2 Ligações pneumáticas

Para além do fornecimento elétrico, para a máquina funcionar é necessário ter também um fornecimento de ar comprimido. As ligações pneumáticas são reduzidas, devido ao facto de existir apenas um cilindro pneumático, fazendo assim com que existam três componentes físicos, o cilindro pneumático, a válvula pneumática para controlo do cilindro pneumático e um regulador de pressão.

Na Figura 95 é representado o cilindro pneumático de referência DSN-20-80-P.

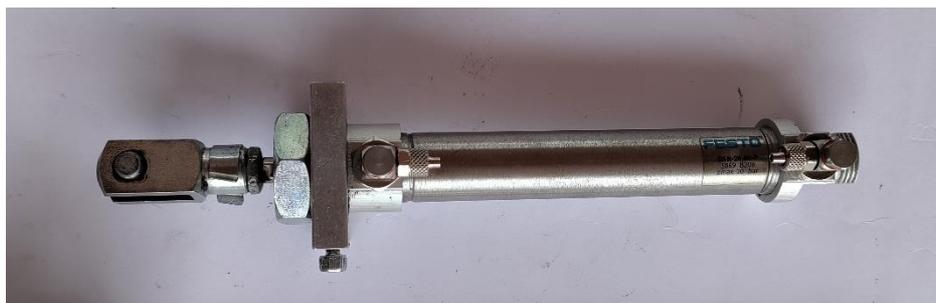


Figura 95 - Cilindro pneumático

Na Figura 96, a válvula pneumática de referência MFH-5-1/8, e o regulador de pressão manual com manómetro.

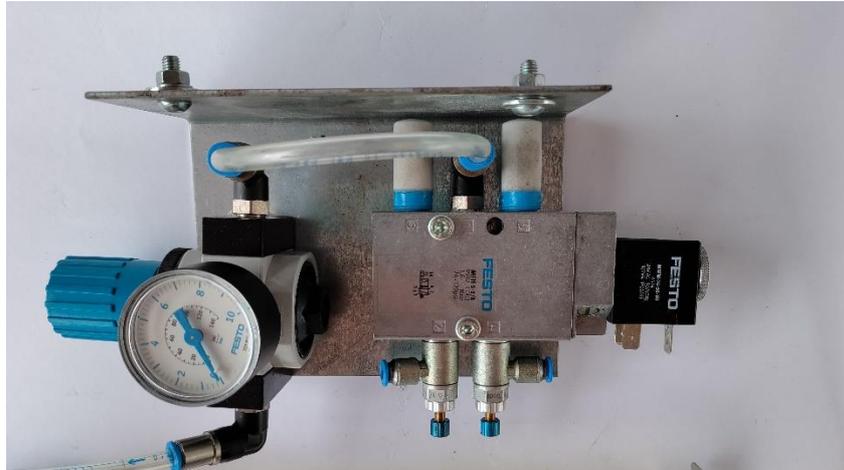


Figura 96 - Conjunto de regulador e válvula pneumática

Para uma melhor percepção das ligações pneumáticas, está representado na Figura 97, um esquema das ligações existentes na máquina.

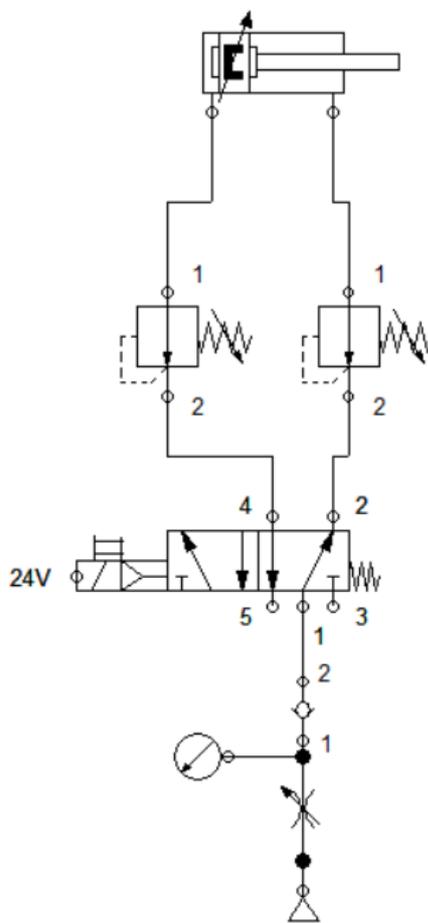


Figura 97 - Esquema das ligações pneumáticas

Estando o ar comprimido conectado, passa pelo regulador de pressão, sendo possível o operador alterar e consultar a pressão de trabalho que o sistema ficará sujeito. Em seguida o ar segue para uma válvula de 5 vias e 2 posições, acionada eletricamente ou manualmente, com efeito de mola pneumático, como está representada no esquema anterior, contendo também uma mola de retorno à posição base. Neste caso, a válvula será comandada eletricamente.

Na posição base da válvula, não energizada, o ar comprimido faz com que o cilindro pneumático fique recolhido. Quando a válvula pneumática é acionada, o cilindro pneumático é acionado por consequente. A velocidade de avanço e recuo do cilindro pneumático podem ser controladas na válvula de acionamento, graças aos estranguladores presentes na mesma.

O cilindro pneumático estando diretamente conectado ao fio de corte, é o responsável pelo movimento deste. Quando o cilindro pneumático está recolhido, na sua posição base, o fio de corte encontra-se subido, como pode ser comprovado pela Figura 98.

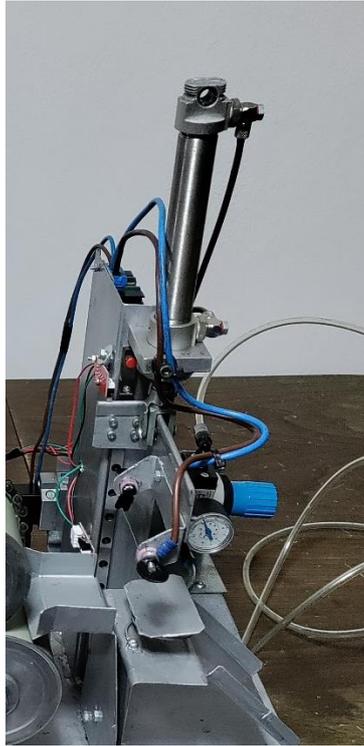


Figura 98 - Imagem em pormenor do sistema de corte da máquina

Quando o cilindro é acionado o fio movimenta-se no sentido descendente, podendo assim cortar o tubo se ele estiver no local correto.

Todos os componentes elétricos utilizados foram oferecidos pela empresa, pois não estavam a ser utilizados.

3.4.3 Controlo e programação

Explicada toda a construção da máquina e respetivas conexões, a máquina está pronta a ser operada, contudo ainda falta explicar todo o seu controlo. Como já foi mencionado, o controlo é feito através do Arduino, sendo ele o controlador desta máquina. É através do Arduino que tem de ser desenvolvido e controlado todo o processo de funcionamento.

O funcionamento da máquina é simples. Depois de inseridos os valores pretendidos, ou seja, o comprimento de tubo a ser cortado e a quantidade de tubos, é aquecido o fio de corte, com um tempo predefinido em três segundos, logo depois é medido o tubo e cortado até satisfazer os valores pretendidos.

Para uma melhor compreensão do funcionamento, é apresentado na Figura 99 um esquema em GRAFCET feito recorrendo ao programa *fluidSim*.

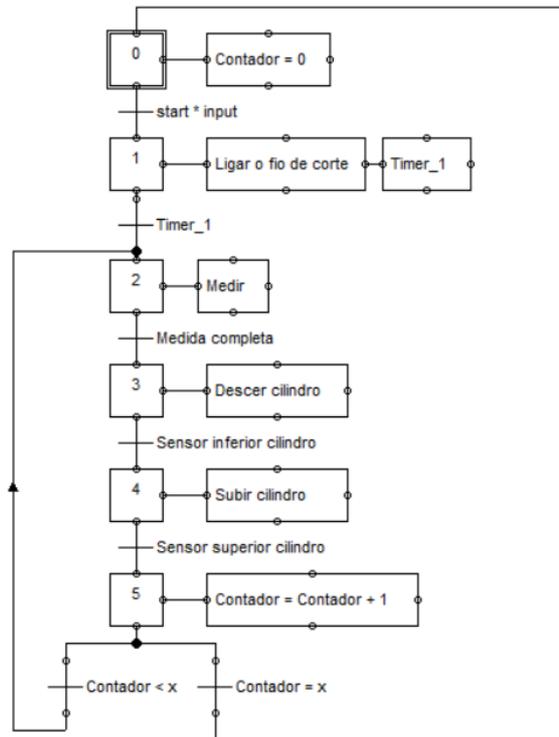


Figura 99 - Esquema grafcet para controlo da máquina

Na Tabela 1 são apresentadas as entradas e saídas do controlador.

Tabela 1 - Entradas e saídas do controlador

Entradas	Saídas
Sensor superior do cilindro pneumático	Fio de corte
Sensor inferior do cilindro pneumático	Controlador do motor de medição do tubo
Interface de comunicação homem-máquina	Válvula de controlo do cilindro pneumático

Consultando a Figura 99 e a Tabela 1, é possível perceber o funcionamento da máquina.

A realização do grafcet serve para ajudar a compreender o funcionamento detalhado de todo o programa e ajudar na realização do programa de funcionamento.

Programação

O Arduino tem um programa gratuito e específico para a programação destes componentes. Através desse programa é possível implementar o programa no Arduino, mas também manter a comunicação contante com a máquina, de maneira a controlar a mesma.

Para controlar o motor de passo é preciso enviar as informações corretas para o controlador do motor. Para tal é usado um programa em Arduino, associado ao controlador, que é facultado pelo fornecedor e possível aceder de modo online em [42]:

https://www.waveshare.com/wiki/File:SMD356C_code.7z

Todo o programa detalhado, pode ser consultado no Apêndice 2. Das seis janelas presentes no programa, é possível controlar o motor inserindo simplesmente os passos que é necessário o motor dar e a velocidade pretendida. Na Figura 100 é possível visualizar um excerto do código para controlo do motor.

```
Motor_TurnStep(BACKWARD, 300 , 2 );  
DEV_Delay_ms(100);  
  
Motor_TurnStep(FORWARD, 300 , 1);  
DEV_Delay_ms(100);  
  
Motor_Stop();
```

Figura 100 - Excerto do código de controlo do motor

Pela visualização da imagem conclui-se que a primeira linha é a responsável pelo movimento do motor no sentido retrogrado, cerca de 300 passos, na segunda velocidade.

Existem três parâmetros que podem ser alterados. O primeiro parâmetro decide se o motor roda no sentido normal ou retrogrado. O segundo parâmetro é responsável pelo número de passos que o motor da, começando em um e sem limite superior. O terceiro e último parâmetro é o responsável pela velocidade de rotação do motor, começa no número 1 sendo esta a velocidade mais rápida do motor, e podendo ir até ao número 10 sendo esta velocidade extremamente lenta e não útil para o projeto.

Assim sendo, e visto que o motor rodará sempre no mesmo sentido no seu funcionamento normal, podendo funcionar a velocidade máxima, só resta um parâmetro para controlar, que mede o tamanho do tubo a cortar.

Controlado o motor, falta a realização do programa de controlo geral da máquina. Este programa segue a linha de raciocínio apresentado no GRAFCET, começando pela inserção de dados no seguinte formato: ****_****, os quatro primeiros números representam a quantidade de tubos para cortar, podendo ser desde 1 até 9 999, os quatro últimos dígitos são o comprimento do tubo a cortar, podendo ir desde 1 até 9 999 mm.

Depois de inserir os dados, o programa vai iniciar o aquecimento do fio através do relé. Estando o fio ligado é feito um intervalo de espera, para aquecer o fio, logo de seguida é medido o tubo no tamanho correto e cortado. O tamanho é medido através do motor, como referido anteriormente, e o corte é controlado pelo cilindro pneumático. Este processo de medição e corte é repetido até atingir o número de peças pretendidas. Atingindo o mesmo, o programa é terminado e o fio é desligado.

Sendo um programa bastante extenso, pode ser consultado na íntegra no Apêndice 1.

3.5 Testes

Durante toda a construção da máquina, são realizadas experiências para verificar a segurança e fiabilidade da mesma, para que nada falhe na sua construção.

Depois de tudo completo, a máquina foi sujeita a alguns testes de corte de tubo. Apesar de a máquina cortar o tubo, na maior parte das vezes, existiam alguns cortes que não eram completos. Isto aconteceu devido ao facto de o fio de corte estar ligeiramente folgado e com liberdade de movimento dentro dos suportes cerâmicos.

Solução

A solução consistiu na criação de um novo suporte para o fio, em que o obriga a ficar na mesma posição e tensionado, eliminando assim os problemas com o corte obtidos anteriormente, utilizando a mesma estrutura, Figura 101.



Figura 101 - Estrutura para suporte do fio de corte

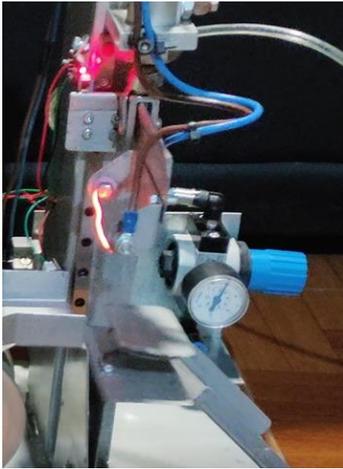


Figura 102 - Antigo suporte de fio ligado

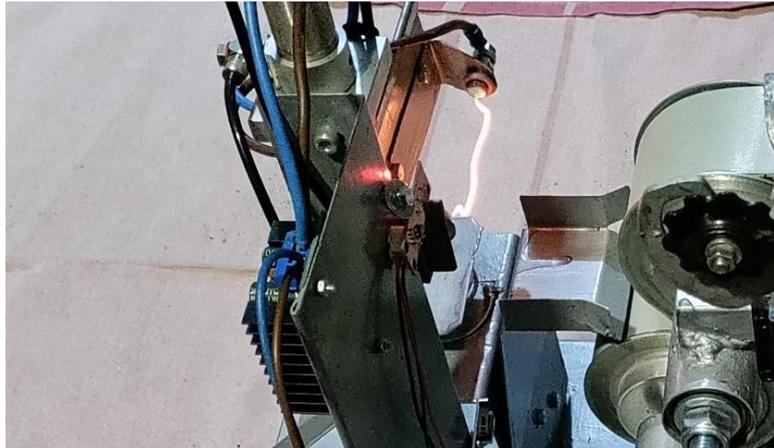


Figura 103 - Antigo suporte de fio ligado



Figura 104 - Novo suporte de fio desligado

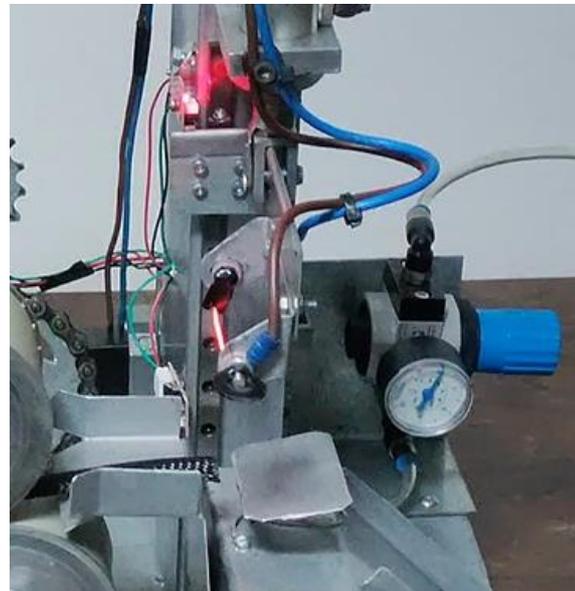


Figura 105 - Novo suporte de fio ligado

Nas Figura 102, Figura 103, Figura 104 e Figura 105, pode-se ver as diferenças na construção do fio. A vantagem na alteração da fixação do fio, para além de o fio estar tensionado, está sempre no mesmo local, fazendo assim com que o corte seja sempre constante.

Depois de toda a máquina completa (Figura 106, Figura 107, Figura 108 e Figura 109), foi ordenado à máquina que realizasse 30 cortes de tubo de *braid* com o tamanho de 100 mm.

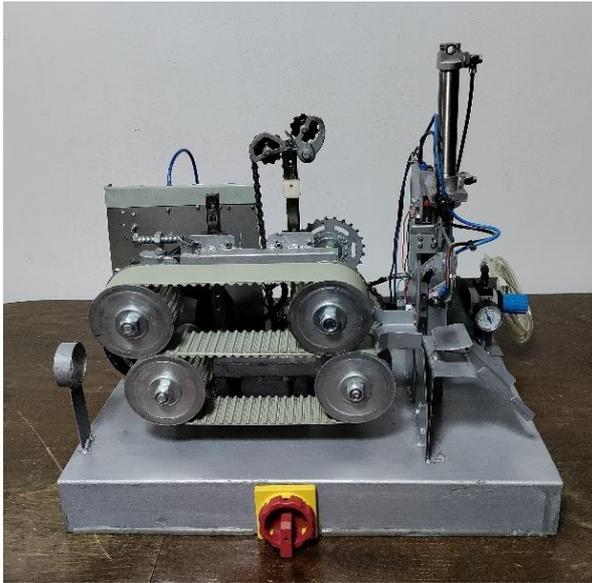


Figura 106 - Vista de frente da máquina

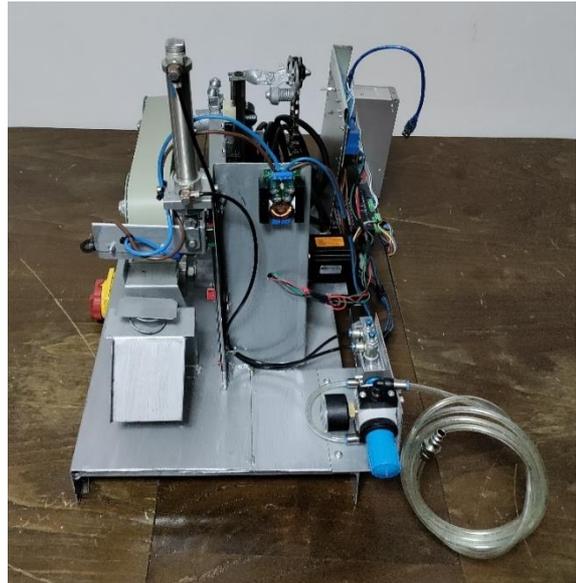


Figura 107 - Vista lateral da máquina



Figura 108 - Vista superior da máquina

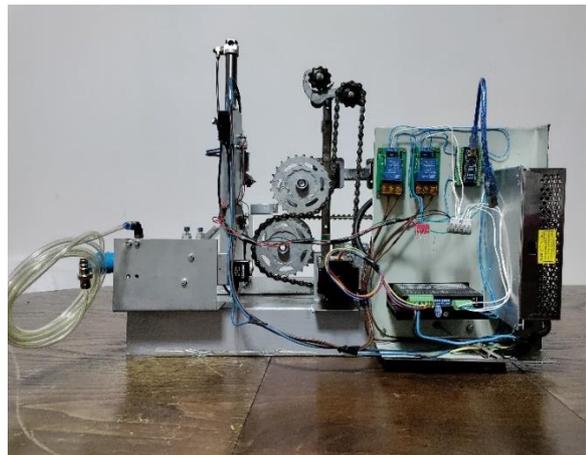


Figura 109 - Vista traseira da máquina

Os tubos foram todos medidos e na Tabela 2 é possível consultar os resultados obtidos.

Tabela 2 - Medidas obtidas para trinta cortes de 100 mm

Unidade em mm														
102	98	100	100	100	99	98	99	100	99	98	98	98	99	99
101	100	99	100	100	102	100	101	99	<u>96</u>	99	100	101	100	<u>102</u>

Com a análise dos cortes é possível ver que os tubos têm um desvio máximo de 2 mm superior e 4 mm inferior, estando os desvios máximos destacados na tabela.

Estes desvios podem acontecer devido a pequenos desalinhamentos na construção e montagem da máquina, em particular das correias dentadas. Pode também acontecer devido às características do tubo, pelo facto de ser um tubo flexível, capaz de ter comprimentos diferentes, mas também pelo corte, como o corte é feito a quente, a zona do tubo sujeita a temperaturas elevadas pode sofrer uma pequena diminuição de comprimento.

Contudo é possível, com a realização de mais testes, descobrir a origem das variações e reduzir as mesmas. Tendo em conta que o tubo em causa é um tubo muito flexível, a sua precisão de corte é reduzida, sendo aceite uma variação de até 3 mm.

4 Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

O objetivo deste trabalho incidiu sobre a criação de um protótipo capaz de medir, cortar a quente e acondicionar tubo de *braid*, de forma a comprovar o conceito de funcionamento.

Iniciado o trabalho pela caracterização da máquina a desenvolver, desde o seu controlo, o desenrolar do tubo, a entrada, a medição, o corte e o acondicionamento do mesmo. Para cada uma destas partes foram criadas soluções possíveis para a realização da tarefa, tendo em conta todas as vantagens e desvantagens de cada uma, o seu custo e a sua complexidade, tanto de montagem como de manutenção e funcionamento.

Dentro de todas as opções, foram selecionadas, normalmente, as opções com menor custo de produção e manutenção, facilidade de utilização para o operador e menor complexidade.

Para o controlo automatizado da máquina, é utilizado um Arduino, que recebe as informações do operador, sendo assim transmitidos os dados de corte para funcionamento, e posteriormente a máquina retomar a informação ao operador, quando terminado. O desenrolamento do tubo, é feito recorrendo a 4 rolamentos, facilitando assim a tarefa de desenrolar o mesmo. A máquina é capaz de tracionar, comprimir o tubo e, em simultâneo, medir com precisão o tubo a ser cortado, utilizando um motor de passo para o efeito. Como na transmissão de movimento entre as correias dentadas e o motor são utilizadas correntes, é garantida a precisão de medição da máquina. O corte do tubo, utilizando um filamento aquecido, é acionado por um cilindro pneumático, podendo ser regulada a sua velocidade. Depois de cortado, o tubo é encaminhado para um local comum.

Todas as informações que são relevantes para o operador e realizar a manutenção da máquina, podem ser consultadas no Apêndice 3, de forma resumida e condensada.

Depois da construção do protótipo, foram realizados alguns cortes de tubo, e concluiu-se que, a mesma funciona da forma pretendida, apesar de não estar preparada para funcionar em ambiente industrial, pois é um ambiente bastante rigoroso e com muitas horas de trabalho.

Mesmo tendo a máquina completa e a funcionar, o trabalho nunca está terminado, pois é possível evoluir mais.

Como o objetivo na construção da máquina se baseou na prova do conceito, a construção prática e de baixo custo, muitos dos componentes podem não ser os mais adequados para um trabalho contínuo da máquina. Um dos pontos a melhorar podem ser alguns componentes, tais como os sensores de fim de curso e o controlador de fio de corte. Os sensores de fim de curso de contacto direto utilizados, não têm proteção e por isso não são os mais adequados para utilização na indústria, devido à atmosfera a que estão sujeitos, podendo ser substituídos por outro tipo de sensores. O controlador de fio, para além de funcionar, se trabalhar durante bastante tempo, tem um aquecimento associado, pode ser substituído ou arrefecido.

Existe uma enorme variedade de tubos de *braid*, sendo que a máquina não foi testada para o corte de todos os materiais do tubo, podendo esta não conseguir cortar todos os tubos. Caso isto se verifique, devem ser apuradas as dificuldades e alterar o que seja necessário.

O programa de trabalho, pode ser sempre modificado como desejar o operador. Quanto à cablagem, esta pode ser mais organizada. Os componentes eletrónicos deveriam ser protegidos, para estes não estarem em contacto com poeiras e humidades.

No que diz respeito à segurança da máquina, pode-se fazer uma caixa de proteção geral, sendo mais seguro para o operador, visto que a máquina funciona com partes móveis e partes quentes. Também pode ser aplicado um painel de trabalho manual, recorrendo a botões, não esquecendo o botão de emergência, sendo este um componente essencial para a segurança do operador.

Para finalizar, a máquina realizada, sendo um protótipo, pode não respeitar a norma diretiva máquinas (Diretiva 2006/42/CE), que é obrigatória para trabalhar em ambiente industrial, assim, devem ser apuradas todas as alterações que a máquina necessite, e aplicá-las.

Bibliografia

- [1] L. Group, «LEONI». <https://www.leoni.com/en/company/> (acedido Out. 18, 2022).
- [2] Ulmer, «Universal cutting machine SM15 2PT». <http://www.ulmer-gmbh.net/wp/?products=universal-cutting-machine-sm15-2pt&lang=en> (acedido Out. 19, 2022).
- [3] CHEERS, «Automatic Braided Sleeving Cutting Machine QS-160S». <https://www.terminal-crimping.com/Automatic-Braided-Sleeving-Cutting-Machine-QS-160S-9275.html> (acedido Out. 19, 2022).
- [4] Rkens, «Automatic Hot Knife Cutting Expandable Braid Sleeve Machine, Braid Sleeve Hot Cutter Machine». <https://www.rkens.com/sale-9664275-automatic-hot-knife-cutting-expandable-braid-sleeve-machine-braid-sleeve-hot-cutter-machine.html> (acedido Out. 19, 2022).
- [5] A. Dey, «whatispiping.com-Types of Pipes Classification of Pipes PDF», *what is piping*, Acedido: Out. 19, 2022. [Em linha]. Available: <https://whatispiping.com/types-of-pipes/>
- [6] «Tipos de tubos». <https://sc04.alicdn.com/kf/HTB1XYyjKb5YBuNjSspoq6zeNFXai.jpg> (acedido Set. 29, 2022).
- [7] Directindustry, «braided sleeve». https://img.directindustry.com/pt/images_di/photo-g/17287-6930787.webp (acedido Set. 29, 2022).
- [8] Aerosusa, «Everything you need to know about braided cable sleeves». <https://aerosusa.com/braided-cable-sleeves-guide/> (acedido Set. 29, 2022).
- [9] Essentra components, «Guide to Braided Cable Sleeving», Mai. 2018, Acedido: Mai. 25, 2022. [Em linha]. Available: <https://www.essentracomponents.com/en-gb/news/product-resources/guide-to-braided-cable-sleeving>
- [10] HellermannTyton, «Braided sleeving for industrial applications». <https://www.hellermanntyton.com/competences/braided-sleeving#tab5> (acedido Mai. 25, 2022).

- [11] Woodwardfab, «Different Pipe and Tube Cutting Techniques and Equipment Discussed», Jun. 29, 2021. <https://www.woodwardfab.com/blog/different-pipe-and-tube-cutting-techniques-and-equipment-discussed/> (acedido Set. 29, 2022).
- [12] L. Eaton, «Tube and pipe cutting techniques; advantages and limitations», *The Tube & Pipe Journal*, Jan. 2002.
- [13] «Corte abrasivo».
https://st.depositphotos.com/1592923/4376/i/450/depositphotos_43764821-stock-photo-sparks-flying-metal-cutting-abrasive.jpg (acedido Set. 29, 2022).
- [14] «Corte de fita».
https://images.tcdn.com.br/img/img_prod/762235/noticia_66597308360183231c9380.jpg (acedido Set. 29, 2022).
- [15] Protosul, «Corte a laser». <https://protosul.com.br/wp-content/uploads/2021/09/corte-a-laser-protosul.png> (acedido Set. 29, 2022).
- [16] «Corte de cisalhamento». https://images.pregunta-casera.com/outillage-specialise/4933764/comment_dcouper_du_mtal_la_cisaille_et_au_disque__4.jpeg.webp (acedido Set. 29, 2022).
- [17] I. Mohammed e A. Kadhum, «Optimization the Parameters of Hotwire Cutting Process to Enhance the Properties of Polystyrene Foam», *Innovative Systems Design and Engineering*, vol. 10, 2019, doi: 10.7176/ISDE.
- [18] J. Pinto, *Técnicas de automação*. ETEP - Edições Técnicas e Profissionais, 2004.
- [19] A. Francisco, *Autómatos programáveis*, 2.^a ed. ETEP – Edições Técnicas e Profissionais, 2004.
- [20] OMRON, «Autómatos programáveis». <https://industrial.omron.pt/pt/services-support/training/tc001-plc-basic> (acedido Set. 29, 2022).
- [21] M. Neto, «Automação industrial Linguagem de programação do CPL», 2018.
<https://miguelprofessor.files.wordpress.com/2018/08/5-linguagem-de-programac3a7c3a3o-do-clp.pdf> (acedido Set. 21, 2022).
- [22] Arduíno, «About Arduíno», Set. 15, 2021. <https://www.arduino.cc/en/about> (acedido Set. 21, 2022).

- [23] «Arduíno».
<https://www.electronicaembajadores.com/datos/fotos/articulos/grandes/lc/lca1/lca1001.jpg> (acedido Set. 29, 2022).
- [24] J. Pires, *Automação industrial*, 2.^a ed. Coimbra: ETEP - Edições Técnicas e Profissionais, 2004.
- [25] P. Santos, «Projeto mecânico de equipamento para fabrico automatizado de vestuário», ISEP, Porto, 2015.
- [26] Reiman, «o que é um servomotor?» <https://reiman.pt/pt/blog/transmissao-e-controlo-de-potencia/o-que-e-um-servo-motor> (acedido Mai. 26, 2022).
- [27] Í. Coelho, «O que é motor de passo? Entenda seu funcionamento e aplicações», Nov. 09, 2020. <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-motor-de-passo-entenda-seu-funcionamento-e-aplicacoes/> (acedido Mai. 27, 2022).
- [28] STEPPERONLINE, «What is stepper motor?» <https://www.omc-stepperonline.com/support/what-is-stepper-motor> (acedido Out. 19, 2022).
- [29] L. Ribeiro e T. Malagutti, «Motores de passo: funcionamento e aplicações», *Revista Linguagem Acadêmica*, 2020.
- [30] Festo, «Cilindro pneumático».
https://www.festo.com/media/pim/247/D15000100143247_1056x1024.jpg (acedido Set. 29, 2022).
- [31] R. Juvinall e K. Marshek, *Fundamentals of MACHINE COMPONENT DESIGN*, 4.^a ed. John Wiley & Sons, 2005.
- [32] P. Flores e J. Claro, *Cinemática de mecanismos*. Edições ALMEDINA, 2007.
- [33] P. Flores, J. Gomes, N. Dourado, e F. Marques, «SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO», 2017. Acedido: Out. 18, 2022. [Em linha]. Available: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/42662/1/T.01%20-%20Sistemas%20de%20Transmissao%20de%20Movimento.pdf>
- [34] «Rodas dentadas».
https://sites.google.com/site/frezasul/_/rsrc/1468743267677/Destaques/mod.jpg (acedido Set. 29, 2022).

- [35] J. Shigley e C. Mischke, *MECHANICAL ENGINEERING DESIGN*, 5.^a ed. McGraw Hill, 1989.
- [36] P. Flores, J. Gomes, Dourado; Nuno, e F. Marques, «Transmissão por correias», 2017. Acedido: Out. 18, 2022. [Em linha]. Available: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/42663/1/T.02%20-%20Transmissoes%20por%20Correias.pdf>
- [37] «Correntes de transmissão». https://sites.google.com/site/frezasul/_/rsrc/1468743267677/Destaques/mod.jpg (acedido Set. 29, 2022).
- [38] APSEI, «A normalização em portugal». <https://www.apsei.org.pt/normalizacao/a-normalizacao-em-portugal/> (acedido Set. 21, 2022).
- [39] Autodesk, «Autodesk Fusion 360». <https://play-lh.googleusercontent.com/WVl18ugl3adNd8rjRQUJwnmt5VeiSf-7GSv7Fae8vbKywECFwsYXbD43buTZCmAR11ht> (acedido Set. 29, 2022).
- [40] Botnroll, «Conversor». <https://www.botnroll.com/pt/conversores-dcdc/3671-conversor-dc-dc-step-down-300w-12a.html> (acedido Set. 29, 2022).
- [41] Botnroll, *Fim de curso*. Acedido: Set. 29, 2022. [Em linha Video]. Available: <https://www.botnroll.com/pt/acessorios/3117-placa-c-fim-de-curso-p-impressora-3d-ramps-1-4.html>
- [42] Waveshare, «File: SMD356C code.7z», 2018. https://www.waveshare.com/wiki/File:SMD356C_code.7z (acedido Jul. 15, 2022).

Apêndices

Apêndice 1

Programa do funcionamento da máquina.

```
#include "MotorDriver.h"

double mm4Turn=157;

double Steps4Turn=300;

String Received_Data;

void setup()
{

  //Serial.begin(9600);

  DEV_ModuleInit();
  Motor_Init();

  pinMode(13, OUTPUT); //acionar cilindro
  pinMode(12, OUTPUT); // acionar fio de corte

  pinMode(10, INPUT_PULLUP); //sensor de Fim Curso Topo
  pinMode(9, INPUT_PULLUP); // Sensor de Fim Curso Baixo

  digitalWrite(12, HIGH);
  digitalWrite(13, HIGH);

  Serial.println("SETUP");
}

void loop()
{

  while(Serial.available()) {

    digitalWrite(12, LOW); // ligar fio de corte
    Received_Data=Serial.readString();
```

Figura 110 – primeira parte do código de funcionamento da máquina

```

Serial.println(Received_Data);

String QTD;
String Comprimento;

QTD=Received_Data.substring(0,4);

Comprimento=Received_Data.substring(5);

//0000_0000
Serial.print("Qtd:");
Serial.println(QTD);
Serial.print("Comprimento:");
Serial.println(Comprimento);
Serial.println("Ligar fio Corte");

int _QTD;
int _Comp;

int Steps;

_QTD=QTD.toInt();
_Comp=Comprimento.toInt();

Serial.print("Qtd:");
Serial.println(_QTD);
Serial.print("Comprimento:");
Serial.println(_Comp);

double distanceForStep=Steps4Turn/mm4Turn;

Serial.print("distanceForStep:");
Serial.println(distanceForStep);

int NStepsForEachTube=distanceForStep*_Comp;

```

Figura 111 – segunda parte do código de funcionamento da máquina

```

Serial.print("NSteps:");
Serial.println(NStepsForEachTube);

delay(6000);

for(int NTube=1;NTube<=_QTD;NTube++){
  //roda moda
  Motor_TurnStep(BACKWARD, NStepsForEachTube , 1);
  //Manda descer
  Serial.println("Manda descer");
  digitalWrite(13, LOW);
  Serial.println("Aguarda descer");
  delay(200);
  while(digitalRead(9)== HIGH or digitalRead(10)==LOW){}
  Serial.println("Manda subir");
  delay(700);
  digitalWrite(13, HIGH);
  Serial.println("Aguarda Subida");
  delay(200);
  while(digitalRead(10)==HIGH or digitalRead(9)== LOW){}
  //bateu no teto

  delay(200);

  Serial.print("Tubo:");
  Serial.println(NTube);
}

Serial.println("DONE");

digitalWrite(12, HIGH); // Desligar fio de corte
}
Motor_Stop();
}

```

Figura 112 – última parte do código de funcionamento da máquina

Apêndice 2

Programa do funcionamento do motor.

```
demo DEV_Config.cpp DEV_Config.h Debug.h MotorDriver.cpp MotorDriver.h
#include "MotorDriver.h"

void setup()
{
    DEV_ModuleInit();
    Motor_Init();

    //Subdivision Set D1-ON D2-ON D3-ON D4-ON
    //Current Set D1-OFF D2-OFF D3-ON D4-ON
    Motor_TurnStep(BACKWARD, 3000 , 2 );
    DEV_Delay_ms(100);

    Motor_TurnStep(FORWARD, 0, 1);
    DEV_Delay_ms(100);

    Motor_Stop();
}

void loop()
{
}
}
```

Figura 113 - primeira página do programa do motor

```
demo DEV_Config.cpp DEV_Config.h Debug.h MotorDriver.cpp MotorDriver.h
/*
 * File      : DEV_Config.cpp
 * Author    : Waveshare team
 * Function  : Hardware underlying interface
 * Info      :
 *
 * Used to shield the underlying layers of each master
 * and enhance portability
 *
 * This version: V1.0
 * Date      : 2018-09-03
 * Info      : Basic version
 *
 */
#include "DEV_Config.h"
#include "Debug.h" //DEBUG()

/**
 * Module Initialize, use BCM2835 library.
 */
UBYTE DEV_ModuleInit(void)
{
    //set pin
    pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);
    pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);
    pinMode(ENABLE_PIN, OUTPUT);

    //set Serial
    Serial.begin(115200);

    return 0;
}
}
```

Figura 114 - Primeira parte da segunda página do programa do motor

```
/**
 * Millisecond delay.
 *
 * @param xms: time.
 *
 * Example:
 * DEV_Delay_ms(500);//delay 500ms
 */
void DEV_Delay_ms(UDOUBLE xms)
{
    delay(xms);
}

/**
 * Microsecond delay.
 *
 * @param xus: time.
 *
 * Example:
 * DEV_Delay_us(500);//delay 500us
 */
void DEV_Delay_us(UDOUBLE xus)
{
    int j;
    for(j=xus; j > 0; j--);
}
}
```

Figura 115 - Segunda parte da segunda página do programa do motor

```

demo  DEV_Config.cpp  DEV_Config.h  Debug.h  MotorDriver.cpp  MotorDriver.h
* | This version:  V1.0
* | Date          :  2018-09-03
* | Info         :  Basic version
*
*****/
#ifndef __DEV_CONFIG_H_
#define __DEV_CONFIG_H_

#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <stdint.h>

/**
 * data
 **/
#define UBYTE   uint8_t
#define UWORD   uint16_t
#define UDOUBLE uint32_t

/**
 * GPIO
 **/
#define STEP_PIN 5
#define DIR_PIN  6
#define ENABLE_PIN 7

#define DEV_Digital_Write(_pin, _value) digitalWrite(_pin, _value)

/*-----
UBYTE DEV_ModuleInit(void);

void DEV_Delay_ms(UDOUBLE xms);
void DEV_Delay_us(UDOUBLE xus);

#endif

```

Figura 116 - Terceira página do programa do motor

```

demo  DEV_Config.cpp  DEV_Config.h  Debug.h  MotorDriver.cpp  MotorDriver.h
/*****
* | File       :  Debug.h
* | Author    :  Waveshare team
* | Function   :  debug with printf
* | Info      :
*   Image scanning
*   Please use progressive scanning to generate images or fonts
*-----
* | This version:  V1.0
* | Date          :  2018-01-11
* | Info         :  Basic version
*
*****/
#ifndef __DEBUG_H
#define __DEBUG_H

#include <Wire.h>

#define USE_DEBUG 1
#if USE_DEBUG
#define DEBUG(__info) Serial.print(__info)
#else
#define DEBUG(__info)
#endif

#endif

```

Figura 117 - Quarta página do programa do motor

```

demo  DEV_Config.cpp  DEV_Config.h  Debug.h  MotorDriver.cpp $  MotorDriver.h
...../
#include "MotorDriver.h"
#include "Debug.h" //DEBUG()
MOTOR Motor;
/**
 * Select motor
 * @param name: motor.
 * Example:
 * Motor_Init();
 */
void Motor_Init(void)
{
    Motor.EnablePin = ENABLE_PIN;
    Motor.DirPin = DIR_PIN;
    Motor.StepPin = STEP_PIN;

    // PU- DR- MF- to GND
    Motor.Positive = 1;
    Motor.Negative = 0;

    // PU+ DR+ MF+ to VCC
    // Motor.Negative = 0;
    // Motor.Positive = 1;
}

/**
 * The motor stops rotating and the driver chip is disabled.
 */
void Motor_Stop(void)
{
    DEV_Digital_Write(Motor.EnablePin, Motor.Positive);
}

```

Figura 118 - primeira parte da quinta página do programa do motor

```

demo  DEV_Config.cpp  DEV_Config.h  Debug.h  MotorDriver.cpp $  MotorDriver.h
...../
/**
 * turn.
 *
 * @param dir: direction.
 * @param steps: Step count.
 * @param stepdelay: step delay.
 *
 * Example:
 * Motor_TurnStep()
 */
void Motor_TurnStep(UBYTE dir, UWORD steps, UWORD stepdelay)
{
    if (dir == FORWARD) {
        DEV_Digital_Write(Motor.EnablePin, Motor.Negative);
        DEV_Digital_Write(Motor.DirPin, Motor.Negative);
    } else if (dir == BACKWARD) {
        DEV_Digital_Write(Motor.EnablePin, Motor.Negative);
        DEV_Digital_Write(Motor.DirPin, Motor.Positive);
    } else {
        DEV_Digital_Write(Motor.EnablePin, Motor.Positive);
    }

    if (steps == 0)
        return;

    UWORD i = 0;
    for (i = 0; i < steps; i++) {
        DEV_Digital_Write(Motor.StepPin, 1);
        DEV_Delay_ms(stepdelay);
        DEV_Digital_Write(Motor.StepPin, 0);
        DEV_Delay_ms(stepdelay);
    }
}

```

Figura 119 - segunda parte da quinta página do programa do motor

```

demo  DEV_Config.cpp  DEV_Config.h  Debug.h  MotorDriver.cpp $  MotorDriver.h
...../
* | File      : MotorDriver.h
* | Author   : Waveshare team
* | Function  :
* | Info     :
*
*-----
* | This version: V1.0
* | Date       : 2018-11-24
* | Info      : Basic version
*
...../
#ifndef __MOTORDRIVER_H_
#define __MOTORDRIVER_H_

#include "DEV_Config.h"

//Motor Dir
#define FORWARD 0
#define BACKWARD 1

typedef struct {
    UBYTE EnablePin;
    UBYTE DirPin;
    UBYTE StepPin;
    UBYTE Positive;// positive connection = 1
    UBYTE Negative;// negative connection = 0
} MOTOR;

void Motor_Init(void);
void Motor_Stop(void);
void Motor_TurnStep(UBYTE dir, UWORD steps, UWORD stepdelay);
#endif

```

Figura 120 - Última página do programa do motor

Apêndice 3

Manual de Instruções da Máquina de Corte de Tubo de *Braid*

Características gerais da máquina:

1. Massa de 19 kg;
2. Alimentação elétrica monofásica de 230 V com 4 m de cabo elétrico e 1 interruptor para corte de energia;
3. Alimentação pneumática com pressões entre 2 e 10 bar, possui 2,5 m de tubo com entrada macho de engate rápido;
4. Dimensões gerais da máquina são de 650 x 460 x 530 mm³;
5. Fio de corte com espessura de 0,4 mm;
6. Largura útil para corte de 60 mm;
7. Correias com 50 mm de largura, 2 mm de espessura e 2,5 mm de dente;
8. Comprimento útil de tração das correias de 225 mm;
9. Abertura máxima das correias dentadas de 45 mm;
10. Correntes com 875 mm de perímetro, contendo 70 elos com passo de 12,5 mm.

Regras de utilização

Para uma melhor percepção do funcionamento da máquina será feito uma lista ordenada de tarefas para o funcionamento da máquina.

1. Verificar se a máquina está pronta a trabalhar, garantindo que todos os componentes estão funcionais e na sua correta posição de trabalho;
2. Ligar a alimentação elétrica e respetivo interruptor;
3. Ligar a alimentação pneumática;
4. Ligar o computador e o respetivo programa de trabalho;
5. Iniciar o trabalho de corte, inserindo os dados no formato seguinte: ****_****, sendo os primeiros 4 dígitos, a quantidade, e os últimos quatro dígitos, o comprimento em milímetros.
6. Depois de terminado o trabalho de corte, desligar o interruptor.

De uma forma geral, este é procedimento normal a seguir, contudo, é necessário estar sempre atento a todos os componentes da máquina, caso alguma coisa não esteja correta, pode ser desativada a energia elétrica da máquina, desligando o interruptor elétrico.

O valor de trabalho da pressão pneumática da máquina é limitado, recorrendo ao regulador de pressão, sendo a pressão de 2,5 bar suficiente para o correto funcionamento da mesma.

É importante salientar que o corte mínimo de tubo para que a máquina funcione corretamente, é de 80 mm. Caso o comprimento seja inferior a este valor, pode o tubo não descer para o local pretendido, não tendo um funcionamento perfeito.

Manutenção

A nível de manutenção, a máquina possui uma manutenção simples.

Quanto à lubrificação, utilizar óleo nas guias lineares e correntes, sempre que necessário para que o seu funcionamento seja mais fluido e saudável.

Verificar o fio de corte, esticando-o quando necessário e proceder à sua substituição quando partir. Verificar que as correias estejam tensionadas, para que o seu funcionamento seja o pretendido.

Convém, regularmente, medir os tubos a ser cortados, para verificar se a máquina está a medir corretamente.

Na Tabela 3 é exposta uma lista de peças normalizadas, utilizadas na máquina.

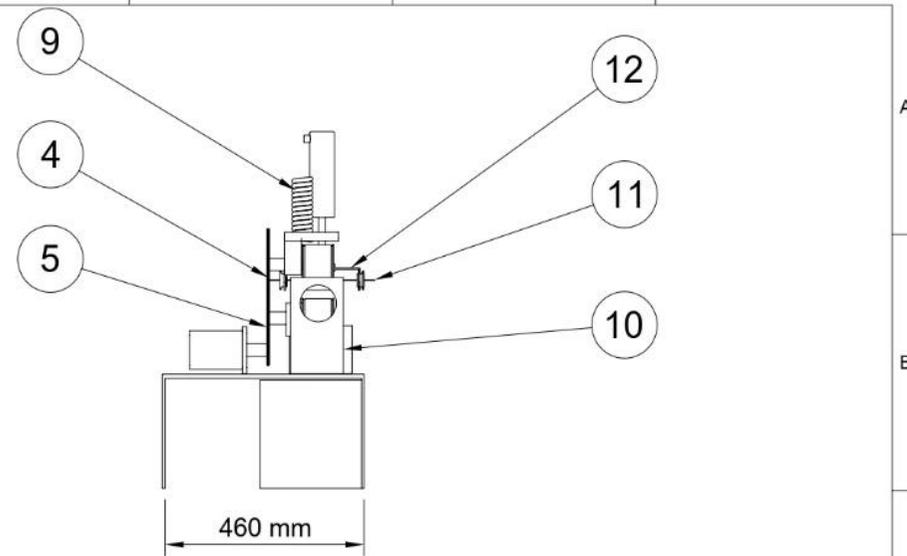
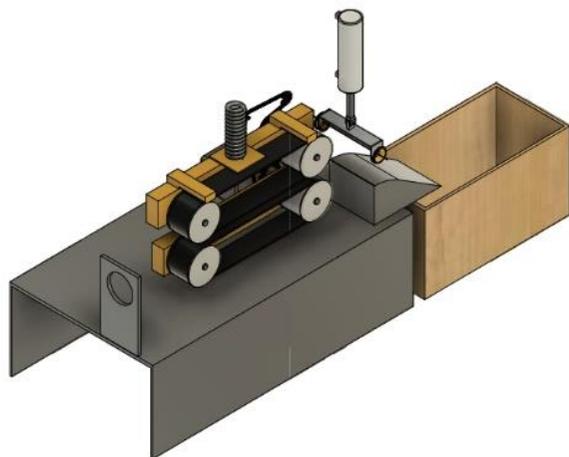
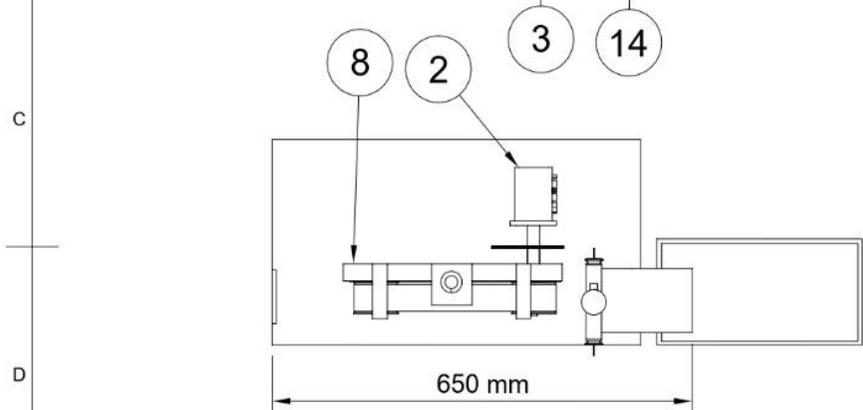
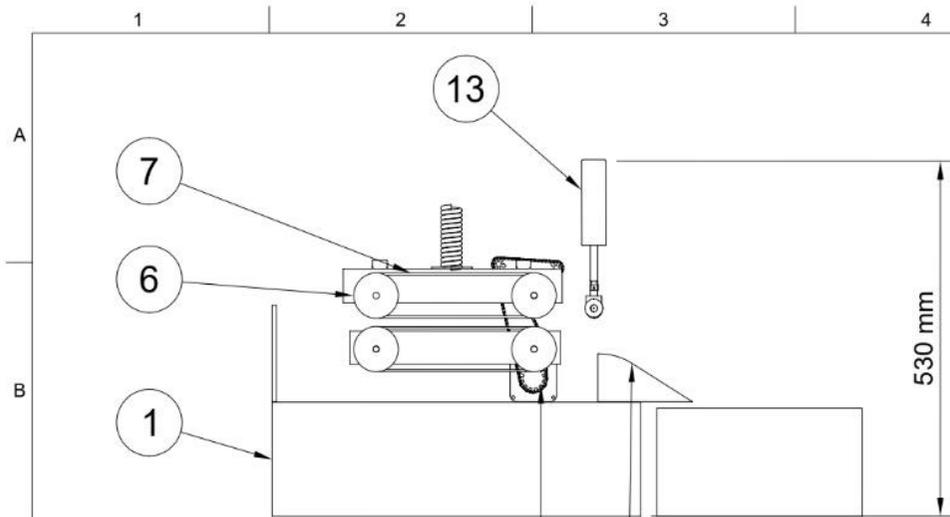
Todos os restantes componentes normalizados como parafusos e fêmeas, não estão enumerados na tabela porque podem ser substituídos e a máquina funciona corretamente. Relativamente aos materiais não normalizados, enumerados durante todo o trabalho, são feitos à medida.

Tabela 3 - Componentes normalizados utilizados na máquina

Quantidade	Nome	Referência/ características
1	Fio de corte	Fio nicromo 0,4 mm espessura
2	Correia dentada	T10 700 4316
4	Polia dentada	66 T10/27
1	Correntes	Corrente de bicicleta com 70 elos
1	Pinhão motor	Pinhão de bicicleta com 14 dentes
2	Pinhão movido	Pinhão de bicicleta com 24 dentes
8	Rolamento	6003-2Z/C3
1	Cilindro pneumático	DSN-20-80-P
2	Guia linear	Carro Guia com flange 21402-20107801
1	Guia linear	103611 – 300 mm
1	Válvula pneumática	MFH-5-1/8
1	Arduino	Arduino Nano
2	relé	SLA-05VDC-SL-C
2	sensor	Acionado por contacto
1	Controlador do fio	CONVERSION DC-DC STEP-DOWN 300W 10 A
1	Fonte de alimentação	230 V - 24 V /250 W
1	Controlador do motor	SMD356C
1	motor	SM35778

Apêndice 4

Desenho técnico da máquina de corte de tubo.



Lista de peças

Número	Quantidade	Nome
1	1	Base da máquina
2	1	Motor
3	1	Pinhão motor
4	2	Pinhão movido
5	1	Corrente
6	4	Polia
7	2	Correia dentada
8	2	Chumaceira
9	1	Mola
10	1	Entrada do tubo
11	1	Fio de corte
12	1	Suporte do fio de corte
13	1	Cilindro pneumático
14	1	Rampa de queda do tubo

Dept.	Technical reference	Created by Helder Gomes 23/11/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Desenho técnico do conjunto da máquina de corte de tubo	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1