

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO
PORTO**

Desenvolvimento de sistema de aplicação de vedante no interior de um pneu

Ricardo André Almeida Lei



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Orientador na FEUP: Professor Francisco Jorge Teixeira de Freitas

Orientador na Empresa: Engenheiro Rui Manuel Fazenda da Silva

3 de Agosto de 2020

Desenvolvimento de sistema de aplicação de vedante no interior de um pneu

Ricardo André Almeida Lei

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

3 de Agosto de 2020

Resumo

A indústria de pneus aposta cada vez mais na automatização dos processos de produção. As soluções atualmente oferecidas pela Gislótica carecem de respostas no capítulo dos pneus anti-furo e há uma pressão por parte do mercado para um investimento nessa área - nasce assim a motivação para o desenvolvimento e concretização deste projeto.

Este projeto consiste no estudo e desenvolvimento de uma solução experimental de aplicação de vedante no interior de um pneu, o que faz com que um pneu "normal" ganhe valor acrescentado na parte final da sua produção ao tornar-se um pneu anti-furo.

Numa primeira fase é definido o problema, sendo apresentados os pontos fulcrais para uma melhor compreensão por parte do leitor sobre o tema a tratar.

Foi selecionado e dimensionado todo o sistema de bombagem, doseamento e cabeça de aplicação do vedante. O aquecimento e controlo do sistema, tal como o caudal, a temperatura e a pressão foram apresentados com as respetivas justificações.

Relativamente à realização dos testes da rotina do robô são apresentados os protótipos da ferramenta de testes e as suas diferentes abordagens ao problema. O modelo utilizado para testes foi obtido com componentes existentes na empresa, os quais servira para os ensaios de deposição de vedante.

Este projeto proporcionou à Gislótica uma melhoria do *know-how* em relação ao sistema estudado e que será tido em conta no próximo desenvolvimento e readaptação do sistema.

Palavras-chave: Indústria de pneus, vedante, robô, pneus anti-furo.



Development of tyre sealant application system

Abstract

The tyre industry is increasingly focusing on automating production processes. The solutions currently offered by Gislóstica lack in the anti-puncture tyre category and there is a market pressure for investment in the area - the motivation for the development and implementation of this project is born.

This project consists on the study and development of an experimental solution which intends to apply a sealant inside a tyre, making a "normal" tyre gain added value at the final stage of its production by becoming a run flat tyre.

On a first stage, the problem was defined and key points are exposed in order to give the reader a better understanding of the subject.

The entire pumping and dosing system were selected and dimensioned, as well as the sealant's application head. The heating and controlling of the system, such as flow, temperature and pressure are presented and properly justified.

Regarding the robot's routine testing, the test tool prototypes and their different approaches to the problem are presented. The testing model used for sealant deposition tests was obtained with already existing components from the company.

This project provided Gislóstica with an improved know-how on the studied system that will be taken into account on the system's future developments and readaptations.

Keywords: Tyres industry, sealant, robot, run flat tyres.



Agradecimentos

Em primeiro lugar, começo por agradecer ao Professor Francisco Freitas, pela disponibilidade e orientação prestada ao longo da realização da dissertação na Gislótica. De salientar a sua boa vontade de ajudar e as suas frequentes deslocações à empresa para acompanhar de perto a realização da dissertação.

Uma palavra de gratidão ao Engenheiro Rui Manuel Fazenda da Silva, pela oportunidade de realizar este projecto na Gislótica, onde foram dadas as condições necessárias para o seu desenvolvimento, permitindo compreender e ganhar experiência nas dinâmicas que um contexto industrial exige.

Aos meus amigos, Maria Soares, José Delerue e João Maciel, que também realizaram a sua dissertação na Gislótica no mesmo período e que foram realmente importantes com seu apoio e contributo.

A todos os colaboradores da Gislótica por toda a hospitalidade, disponibilidade e tempo dispendido para o seu desenvolvimento.

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes e me acompanharam neste percurso. Ao grupo de amigos do ISEP que me acompanharam durante estes cinco anos e estiveram presentes nos bons e maus momentos.

A todos os professores e pessoas que se cruzaram comigo ao longo do meu percurso académico.

Por último, e não menos importante, o meu muito obrigado à minha família, principalmente aos meus pais e irmã. Aos meus pais por proporcionarem a oportunidade de ingressar neste curso e por todo o apoio ao longo da minha vida académica.

A todos o meu sincero obrigado.

Ricardo André Almeida Lei



À minha família e amigos



Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	A empresa	2
1.2	Objetivos da dissertação	3
1.3	Motivação da dissertação	4
1.4	Estrutura da dissertação	4
2	Contextualização	7
2.1	Apresentação do projeto	7
2.1.1	Requisitos do sistema a desenvolver	10
2.2	A indústria do pneu	13
2.2.1	Constituintes do pneu	13
2.3	Vedantes	15
2.3.1	Breve história sobre polímeros sintéticos e tecnologia dos vedantes modernos	15
2.3.2	Vedantes butil	15
2.4	Acidentes automóveis	18
2.5	Robotização no processo de aplicação de vedante	18
2.5.1	Configurações da ferramenta	19
2.6	Exemplos de sistemas completos para deposição de compostos vedantes	20
2.6.1	Sames Kremlin - Unidade de extrusão manual a quente para vedantes a partir de um depósito	20
2.6.2	Nordson - sistema de dispensamento na indústria automóvel	21
3	Seleção e dimensionamento do sistema	25

3.1	Sistema de bombagem	25
3.1.1	Descrição do ciclo completo de transferência	27
3.1.2	Descrição do ciclo completo de bombagem	28
3.1.3	Apresentação de sistemas bombagem	32
3.1.4	Sistema de bombagem escolhido	36
3.2	Sistema de doseamento	37
3.2.1	Apresentação de sistemas doseamento	40
3.2.2	Escolha da bomba de doseamento	44
3.2.3	Escolha do servomotor e respetiva caixa redutora	44
3.3	Cabeça de aplicação desenvolvida	45
3.4	Medição do caudal debitado pela bomba de doseamento	52
3.4.1	Descrição do sistema do sensor	53
3.4.2	Escolha do caudalímetro	54
3.5	Aquecimento do sistema	55
3.5.1	Aquecimento do bidão de 200 litros	55
3.5.2	Mangueiras de aquecimento flexíveis	56
3.5.3	Aquecimento da cabeça aplicação	61
3.5.4	Aquecimento da tubagem e restantes componentes	61
3.6	Dimensionamento da tubagem do sistema	63
3.7	Medição da temperatura	64
3.7.1	RTDs	64
3.7.2	Termopar	65
3.7.3	Medição da temperatura do corpo da cabeça de aplicação	65
3.7.4	Medição da temperatura da tubagem de circulação do material	66
4	Controlo do sistema	69
4.1	Controlo do caudal	69
4.2	Pressão do sistema	71
4.2.1	Monitorização da pressão do sistema	71
4.2.2	Escolha do transdutor de pressão	72
4.2.3	Controlo da pressão	73

4.3	Controlo de temperatura	73
4.4	Controlo da subida e descida do elevador	73
4.5	Controlo da abertura e fecho do bico de aplicação	74
4.6	Controlos adicionais	75
5	Hardware e software do sistema de testes da rotina do robô	77
5.1	Protótipo da ferramenta de testes	77
5.1.1	1ª abordagem	78
5.1.2	2ª abordagem	79
5.1.3	Modelo utilizado para testes	80
5.2	Elementos complementares à ferramenta de testes	83
5.3	Robô Fanuc R-2000iC/210F	84
5.4	PLC e E/S distribuídas	85
5.5	Comportamento lógico do sistema	86
5.6	Detalhes do desenvolvimento e implementação dos <i>Grafcet</i>	89
5.6.1	<i>Grafcet</i> G1	89
5.6.2	<i>Grafcet</i> G2	89
5.6.3	<i>Grafcet</i> G5	90
5.7	Comportamento lógico do robô	90
5.7.1	Definição do TCP	91
5.7.2	Definição do <i>User Frame</i> (UF)	92
6	Ensaio realizados e resultados obtidos	95
6.1	Conjunto de ensaios realizados antes da montagem no robô	95
6.2	Montagem no robô	98
6.3	Validação da rotina do robô	99
6.4	Conjunto de ensaios efetuados após montagem no robô	103
7	Conclusões e Trabalho Futuro	107
7.1	Conclusão	107
7.2	Trabalhos futuros	108

A	Grafkets comportamentais	109
A.1	Grafket (G1)	109
A.2	Grafket (G2)	110
A.3	Grafket (G3)	111
A.4	Grafket (G4)	112
A.5	Grafket (G5)	113
B	Elementos complementares à ferramenta de testes	115
B.1	Fonte de alimentação	115
B.2	Disjuntor magneto-térmico	116
B.3	Distribuidor de corrente	117
B.4	Relé de segurança	118
B.5	Painel de visualização	119
B.6	Robô Fanuc R-2000iC/210F	120
C	Sistema de aplicação vedante	121
C.1	Therm-o-flow 200	121
C.2	Bombas Kremlin	128
C.3	Bombas Grunfeld	129
C.4	Bombas de doseamento	130
C.5	Transdutor de pressão	133
C.6	Kremlin sistema de bombagem	134
C.7	Mangueiras de aquecimento	138
C.8	Graco - Extensão bidão vazio ou nível baixo	139
C.9	Graco - Extensão E/S discretas	140
D	Desenhos da cabeça de aplicação de vedante	141
	Referências	155

Lista de Figuras

1.1	Representação a laranja da zona a preencher pelo vedante.	2
1.2	Logótipo Gislótica.	2
2.1	Fluxo de produção dos dois principais componentes e do pneu.	8
2.2	Ilustração representativa do balanceamento entre propriedades elásticas e viscosas.	9
2.3	Trajectória do pneu.	9
2.4	Trajectória do bico ferramenta.	10
2.5	Dimensões do pneu.	11
2.6	Constituintes do pneu.	14
2.7	Estrutura molecular da borracha butílica.	15
2.8	Representação do pneu com vedante.	16
2.9	Aspetto do vedante presente na empresa.	17
2.10	Robô usado pelo fabricante Continental.	18
2.11	Sistema completo para deposição de compostos vedantes.	20
2.12	Sistema completo da Nordson.	21
2.13	Válvulas de dispensamento apenas de um componente.	23
3.1	Tipos de bombas de transferência.	26
3.2	Seleção do tipo de bomba tendo em conta a viscosidade e caudal.	27
3.3	Ciclo movimento do conjunto de bombagem.	28
3.4	Funcionamento da bomba <i>chop-check</i>	29
3.5	Ciclo da bomba <i>chop-check</i> em corte.	30
3.6	Área da superfície bomba pneumática vs área da superfície da bomba de alimentação.	31

3.7	Bombas de êmbolo com diferentes rácios de pressão.	31
3.8	Bombas Rexson da Kremlin.	32
3.9	Fluxo vs viscosidade material.	33
3.10	Modelo BSA0200 da Grunfeld.	34
3.11	Modelo da Graco Therm-o-flow 200.	35
3.12	Representação do modelo da Graco therm-o-flow 200.	37
3.13	Vedação dinâmica das bombas de engrenagens.	39
3.14	Bomba de engrenagem da série EXTRU3 da Witte.	40
3.15	Tipos de dentado das bombas Witte.	42
3.16	Tipos de vedação para a bomba selecionada.	42
3.17	Força teórica do avanço e fecho do cilindro ADN da Festo.	46
3.18	Corpo de entrada do material da cabeça de aplicação.	46
3.19	Medida do misturador para aplicações de extrusão.	47
3.20	bloco espaçador para acoplamento do bico de aplicação.	48
3.21	Modelo escolhido para o vedante de haste.	48
3.22	Gama de temperaturas dos elastómeros mais comuns.	49
3.23	Cilindro pneumático e a flange Peek acoplado ao bloco espaçador.	49
3.24	Corpo do bico de aplicação.	50
3.25	Corpo de aplicação em corte.	50
3.26	Abertura e fecho do bico de aplicação.	51
3.27	Cotas de atravancamento a cumprir.	51
3.28	Cotas de atravancamento finais.	52
3.29	Ilustração caudalímetro VSE.flow.	52
3.30	Modelo para aquecimento do bidão 200 litros. KM-HJD-250S.	56
3.31	Modelo para aquecimento da base do bidão 200 litros. PEFU.C.	56
3.32	Representação de um exemplo de mangueira de aquecimento flexível.	57
3.33	Representação do modelo RB400 Series, recomendado para a indústria auto- móvel.	58
3.34	Valores de pressão máximos de operação dinâmica do tipo T3.	59
3.35	Formatos da tampa final.	59
3.36	Localização dos cartuchos de aquecimento.	61

3.37	Manga aquecimento com diferentes exemplos de camadas exteriores.	62
3.38	Exemplos de mangas de aquecimento do fabricante SAF.	63
3.39	Layout do sistema completo de aplicação vedante.	64
3.40	Local de colocação de um RTD Pt100.	65
3.41	Ligação Pt100.	66
4.1	Diagrama controlo.	70
4.2	Diagrama de blocos do controlo do caudal.	70
4.3	Esquema dos elementos para controlo caudal.	71
4.4	Tipos de transdutores de pressão de Gefran.	72
4.5	Zonas de aquecimento (Term-o-flow 200).	73
4.6	Esquema pneumático elevador.	74
4.7	Esquema pneumático bico de aplicação.	74
5.1	1º protótipo de ferramenta.	79
5.2	2º protótipo da ferramenta.	80
5.3	Tubo de silicone neutro.	80
5.4	Representação da montagem do eixo linear ao motor passo a passo.	81
5.5	Representação do acoplamento para conexão rápida da tubagem.	82
5.6	Representação do acoplamento do tubo de silicone à tubagem de 16mm.	82
5.7	Representação do suporte presente no 6º eixo do robô.	83
5.8	Robô Fanuc R-2000iC/210F.	85
5.9	PLC s7-1200 com a CPU1215C DC/DC/DC.	86
5.10	Níveis hierárquicos entre <i>Grafcats</i>	88
5.11	Diagrama de posições referentes à rotina robô.	90
5.12	Representação dos eixos do TCP.	92
5.13	Representação das duas posições do cartão que serviram de auxílio à obtenção das coordenadas do <i>User Frame</i>	92
5.14	Representação da orientação dos eixos do <i>User Frame</i>	93
6.1	Drive CMMS da Festo.	96
6.2	Redutor Festo EMGA-80-P-G5-SST-87.	97
6.3	Escape de silicone pelas paredes.	98

LISTA DE FIGURAS

6.4	Tubo de poliuretano PU40.	99
6.5	Visualização do suporte do conjunto, no robô.	100
6.7	"Posição nº1" da rotina do robô.	100
6.8	"Posição nº2" da rotina do robô.	100
6.6	Banca de testes com os componentes auxiliares à ferramenta de testes.	101
6.9	"Posição nº3" da rotina do robô.	101
6.10	"Posição nº4" da rotina do robô.	101
6.11	"Posição nº5" da rotina do robô.	102
6.12	Posição A da rotina do robô.	102
6.13	Posição B da rotina do robô.	102
6.14	Escape do vedante pela parte de trás do tubo.	103
6.15	Escape da massa consistente pelas paredes do tubo.	104
6.16	Resultado do alargamento efetuado ao tubo.	104
6.17	Utilização da tubagem de 16 mm ao longo do trajeto com tubagem de 8 mm no final.	105
6.18	Adaptação do cilindro da Festo.	106
6.19	Camada de massa consistente final.	106
A.1	Grafcet comportamental G1.	109
A.2	Grafcet comportamental G2.	110
A.3	Grafcet comportamental G3.	111
A.4	Grafcet comportamental G4.	112
A.5	Grafcet comportamental G5.	113
B.1	Fonte de alimentação da <i>Siemens</i>	115
B.2	Disjuntor magneto-térmico.	116
B.3	Distribuidor de corrente - MICO 4.10.	117
B.4	Relé segurança PNOZ S2.	118
B.5	HMI KTP600 Basic Color PN.	119
C.1	Forma de aquecimento da bomba de alimentação do sistema TOF 200.	124
C.2	RTD do prato pressor e da bomba de alimentação.	125
C.3	Esquema aquecimento prato pressor e bomba de alimentação.	126

C.4	Localização ligação RTD e aquecimento.	127
C.5	Gráfico do fluxo de material tendo em conta a velocidade de rotação da bomba EXTRU 10,2.	130
C.6	Gráfico do fluxo de material tendo em conta a velocidade de rotação da bomba EXTRU 25,6.	131
C.7	Ligação do transdutor de pressão.	133
C.8	Ligação de 6 pinos ou 8 pinos.	133
C.9	Esquema pneumático do sistema de bombeamento Kremlin.	134
C.10	Válvula direcional 5/2 e válvulas de limite superior e inferior.	135
C.11	Válvula direcional para alimentação das câmaras da bomba.	136
C.12	Esquema pneumático dos conjuntos de paragem da bomba no fim do bidão. . .	137
C.13	Extensão Graco sensores bidão.	139
C.14	Extensão Graco E/S discretas.	140

LISTA DE FIGURAS

Lista de Tabelas

2.1	Dimensões dos pneus de jante 15"até 24"	11
2.2	Resultado das equações para as medidas do pneu.	12
3.1	Diferenças entre os tipos de dentado.	41
3.2	Limites de aplicação para as bombas da série “cincox therminox”.	43
3.3	Principais especificações das mangueiras de aquecimento standard.	57
3.4	Especificações técnicas do sensor "KM-TC-PT".	67
5.1	Referências do principal hardware.	81
5.2	Referências dos elementos complementares.	84
5.3	Principais especificações do controlador S7-1200 CPU1215C DC/DC/DC.	87
5.4	Tarefas de controlo referente aos Graficets.	88
5.5	Descrição das etapas relativas ao Graficet G1.	88
5.6	Descrição das posições da rotina do robô.	91
5.7	Coordenadas do TCP da ferramenta.	93
5.8	Coordenadas do <i>User Frame</i> em relação ao referencial <i>world</i> do robô.	93
6.1	Características principais do drive CMMS-ST.	96
B.1	Características principais do MICO 4.10.	117
B.2	Principais especificações técnicas e funcionais da HMI.	119
B.3	Principais características do robô.	120
C.1	Especificações técnicas do sistema Therm-O-Flow 200.	122
C.2	Constituintes de um sistema de bombagem TOF 200.	123
C.3	Modelos da gama Rexson.	128

LISTA DE TABELAS

C.4	Especificações modelo BSA0200.	129
C.5	Capacidade teórica de doseamento em litros/min.	132
C.6	Principais especificações das mangueiras do tipo RB400 Series.	138

Abreviaturas e Símbolos

CPU	Central Processing Unit
HMI	Human-Machine Interface
LAN	Local area network
PLC	Controlador Lógico Programável
PIB	Poliisobutileno
PID	Proportional–integral–derivative controller
PROFINET	Process Field Net
PTFE	Politetrafluoretileno
SCL	Structured Control Language
TCP	Tool Centre Point
UF	User Frame

Capítulo 1

Introdução

A dissertação que é apresentada neste relatório baseia-se no estudo e desenvolvimento de um sistema de aplicação de vedante no interior de um pneu. Esta solução ainda não foi explorada pela empresa e por isso, constitui uma primeira abordagem da empresa a esta área de aplicação tecnológica e aos problemas que advirão do mesmo.

A indústria dos pneus está em constante expansão e inovação. No mercado existem diversos tipos de pneus com as mais diversas características. Uma das mais recentes inovações foi o desenvolvimento e implementação dos pneus anti-furo.

O processo produtivo dos pneus envolve inúmeras etapas e o pneu torna-se anti-furo na última etapa da sua produção na qual o seu valor acrescentado já é elevado, o que exige especial foco para que não ocorram defeitos que resultem em perdas económicas e/ou desperdícios.

A determinação da empresa Gislótica em disponibilizar aos seus clientes uma solução para o mercado dos pneus anti-furo despoletou a motivação para se realizar o estudo e desenvolvimento do sistema de aplicação do vedante no interior do pneu já vulcanizado, com recurso a um robô.

O vedante é o material a depositar no interior do pneu, na zona equivalente ao que está em contacto com o piso, que tem como objetivo vedar a saída de ar do interior do pneu em caso de furo, o que por consequência permite que o veículo não necessite de interromper a sua marcha devido ao esvaziamento do pneu.

Na figura 1.1 é representada a zona a preencher pelo vedante, que se encontra representada a cor laranja, para o proteger de potenciais furos.

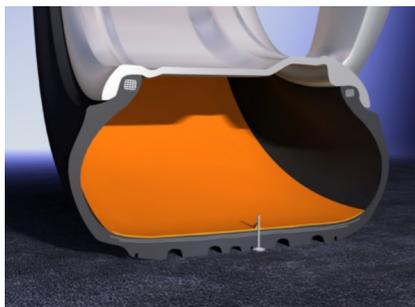


Figura 1.1 - Representação a laranja da zona a preencher pelo vedante.[1]

Este relatório "Desenvolvimento de sistema de aplicação de vedante no interior de um pneu", insere-se na unidade curricular de dissertação do ramo de Automação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto. A dissertação foi realizada em ambiente empresarial, na empresa Gislótica - Projecto e Fabrico de Soluções Mecânicas, Lda, tendo como orientadores o Professor Francisco Jorge Teixeira de Freitas e o Engenheiro Rui Manuel Fazenda da Silva, ao nível da faculdade e da empresa, respetivamente.

1.1 A empresa

A Gislótica é uma empresa situada em Perafita especializada na conceção, desenvolvimento e produção de sistemas mecânicos para a indústria de pneus.

Foi fundada em 2000 numa pequena oficina com 100 m² e após 19 anos de experiência no mercado já exporta para 35, o que corresponde a 95% do volume de negócios, dos quais constam nomes de referência mundial tais como, Continental AG, Goodyear, Pirelli, Apollo e Nexen.

Hoje, a empresa, conta com uma área de construção de 2500 m² num espaço total de terreno de 16000 m², onde já se encontra parte em construção, para duplicar a área construída [2].



Figura 1.2 - Logótipo Gislótica.

A Gislótica é uma empresa determinada em fornecer inovação através da colaboração com os seus clientes, tendo como objetivo contribuir para a realização das suas visões e para a criação de valor.

Um dos principais objetivos da empresa é a expansão da sua área de trabalho para a manutenção industrial, de maneira a conciliar a sua vasta experiência com as necessidades dos clientes, tendo por objetivo minimizar os tempos de paragem dos equipamentos, garantindo uma maior produtividade e rentabilização [3].

1.2 Objetivos da dissertação

O objetivo geral da presente dissertação é estudar, desenvolver e demonstrar uma solução protótipo para uma aplicação de vedante no interior de um pneu utilizando para tal um robô. O presente projeto pode-se dividir em vários objetivos parciais os quais são enumerados de seguida.

O principal objetivo é o dimensionamento e controlo de um sistema que permite aplicar, de modo automatizado, compostos vedantes no interior de um pneu ligeiro. Este sistema divide-se em várias partes que são:

- o sistema de bombagem
- o sistema de doseamento, e
- a aplicação do vedante.

É necessária a seleção, o dimensionamento e o controlo do sistema de bombagem bem como o sistema de doseamento que vão ser responsáveis pela alimentação e controlo do doseamento fornecido à cabeça de aplicação do vedante.

Após isso, é necessário desenhar e conceber a cabeça de aplicação que vai ser responsável pela deposição do material no interior do pneu com recurso a um robô.

Sendo um sistema no qual o material é manipulado a quente, é necessário selecionar, dimensionar e controlar o sistema de aquecimento do vedante.

O último objetivo é o desenvolvimento de uma rotina de controlo da aplicação do vedante com recurso a um robô.

1.3 Motivação da dissertação

A minha motivação para a escolha desta dissertação foi o facto de ser um tema inserido no ambiente da Indústria 4.0 e se encontrar inserida no ramo automóvel. Sinto que há grande potencial de desenvolvimento e investigação nesta área. O mercado na área dos transportes continua em expansão e no caso específico dos pneus que é um componente que inevitavelmente continua a ser utilizado todos os dias para os mais variados meios de deslocação.

Sinto que posso dar o meu contributo para o desenvolvimento na área dos pneus anti-furo com a conclusão desta dissertação.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação tem no total oito capítulos, servindo o presente para o introduzir.

No segundo capítulo é apresentada uma contextualização determinante para conhecer os pontos fulcrais do tema proposto, começando na indústria do pneu até ao processo construtivo antecedente ao da aplicação do vedante, passando por uma abordagem ao robô e finalizando com alguns exemplos de sistemas completos para deposição de compostos vedantes.

No terceiro capítulo são abordados os vários componentes do sistema de aplicação, principalmente a seleção e o dimensionamento do sistema de bombagem, do doseamento e a aplicação.

O quarto capítulo é apresentado o controlo do sistema, contando com o controlo de caudal, de pressão, da temperatura e outros dispositivos de controlo secundários.

No quinto capítulo é apresentado *hardware* utilizado na implementação do sistema de testes, a apresentação técnica e funcional dos recursos físicos utilizados, o comportamento lógico do robô e as escolhas efetuadas em relação ao Tool Centre Point (TCP) e ao User Frame (UF).

No sexto capítulo descreve-se a fase de ensaios e resultados obtidos do sistema de testes da rotina do robô. Neste capítulo é mostrado ao leitor todo o processo de ensaios ocorridos em chão de fábrica ao longo deste projeto, a montagem no robô e a validação da rotina do robô.

Por fim, no último capítulo, são apresentadas as principais conclusões do trabalho em comparação com os objetivos inicialmente propostos e são feitas sugestões para trabalhos futuros.

Relativamente aos anexos, estes contêm:

- Anexo A - Gráficos comportamentais do sistema
- Anexo B - Ensaios realizados
- Anexo C - Sistema de bombagem
- Anexo D - Desenhos cabeça aplicação

Capítulo 2

Contextualização

Este capítulo apresenta uma breve contextualização determinante para o conhecimento dos fatores relacionados com o tema proposto.

É feita uma abordagem à indústria do pneu e aos seus constituintes. São apresentados os requisitos do sistema a desenvolver e também do processo construtivo do pneu antecedente ao da aplicação do vedante. Por fim, uma pequena abordagem à robotização e a apresentação de exemplos de sistemas de deposição de compostos vedantes.

2.1 Apresentação do projeto

Os pneus anti-furo são uma tecnologia recentemente implementada no mercado dos pneus que tem como objetivo vedar furos originados no piso do pneu, de modo a permitir que não seja necessária a imobilização do veículo, nem a imediata substituição do pneu, isto sem alteração da performance esperada do veículo.

Neste processo forma-se uma camada aderente e viscosa no interior do pneu, que requer que o material necessite de ser aquecido para a sua aplicação, o que implica que o sistema ao longo do seu percurso desde a mistura dos vários componentes até à sua aplicação no interior do pneu, tenha de ser aquecido e mantido a uma determinada temperatura para evitar que o mesmo solidifique dentro da tubagem. A camada de vedante pretende vedar qualquer perfuração até *5mm* de diâmetro e mantém o pneu insuflado.

O vedante é composto maioritariamente pela junção de dois componentes. Um dos componentes é produzido numa extrusora de duplo parafuso onde um composto de borracha, po-

libuteno e óleo parafínico são misturados enquanto o outro componente que é uma mistura de peróxidos orgânicos e polibuteno são misturados num reservatório. A junção destes dois componentes normalmente dá-se na câmara de mistura no dispositivo de aplicação do vedante, que no caso da empresa Continental, é através de um robô que pretende ver realizada a sua deposição no interior de um pneu. Na figura 2.1 apresenta, de forma simplificada, o fluxo de produção tanto para o pneu anti-furo como para a matéria-prima.[4]

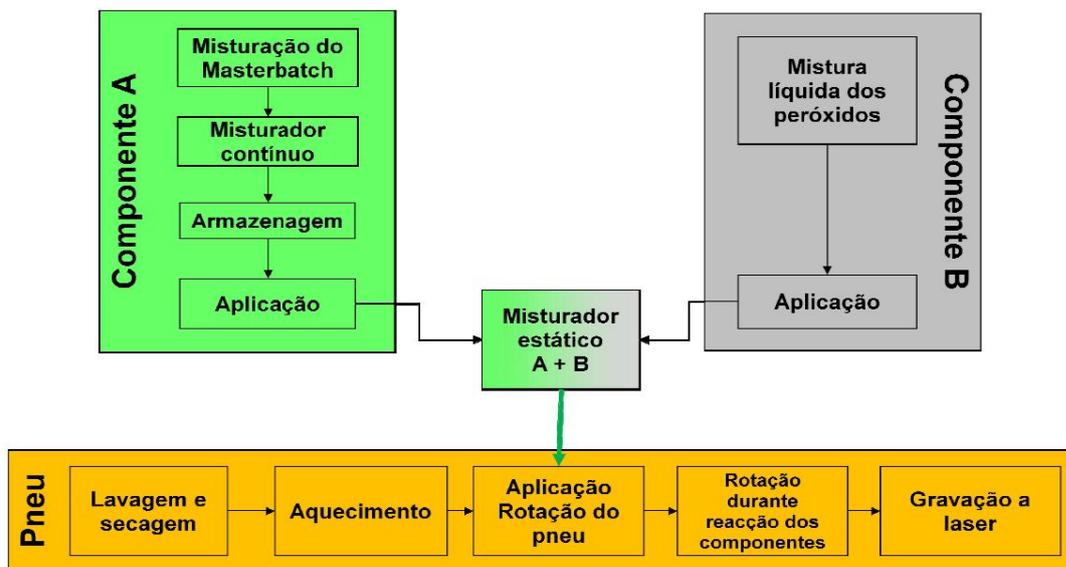


Figura 2.1 - Fluxo de produção dos dois principais componentes e do pneu. [4]

A mistura tem como objetivo a formação de ligações entre compostos, levando a um compromisso entre propriedades viscosas e elásticas, tornando o material viscoelástico.

As propriedades viscosas são responsáveis por permitir a adesão do vedante ao pneu, não deixando de existir fluidez suficiente para não apenas este aderir ao objeto penetrante no pneu mas também para selar o furo quando o objeto for retirado.

As propriedades elásticas é que asseguram a estabilidade do vedante no interior do pneu e evitam que o material se desloque da zona aplicada e assegure a impermeabilidade ao ar.

Na figura 2.2 é possível observar o balanceamento que tem que existir nestas variáveis na composição do vedante.

O vedante é aplicado em formato espiral de forma a que a superfície de aplicação seja uniformemente preenchida pelo mesmo. O formato de espiral é obtido através do movimento de rotação do pneu em coordenação com o movimento linear da ferramenta de aplicação. O

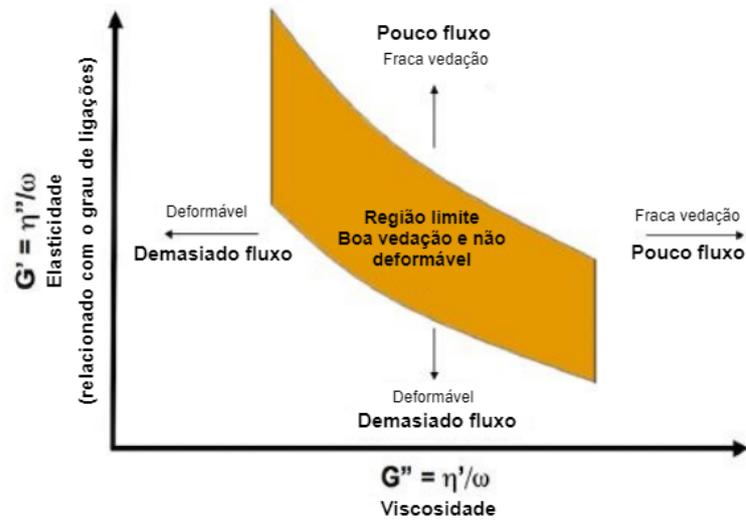


Figura 2.2 - Ilustração representativa do balanceamento entre propriedades elásticas e viscosas. [5]

movimento de rotação do pneu é realizado com recurso a um mecanismo que suporta o pneu e impõe um movimento de rotação, como representado na figura 2.3.

O movimento linear do bico da ferramenta de aplicação que depositará o vedante está representado na figura 2.4 que inicia no ponto A e finaliza no ponto B. Nas figuras apresentadas a zona verde representa a camada de vedante depositado.

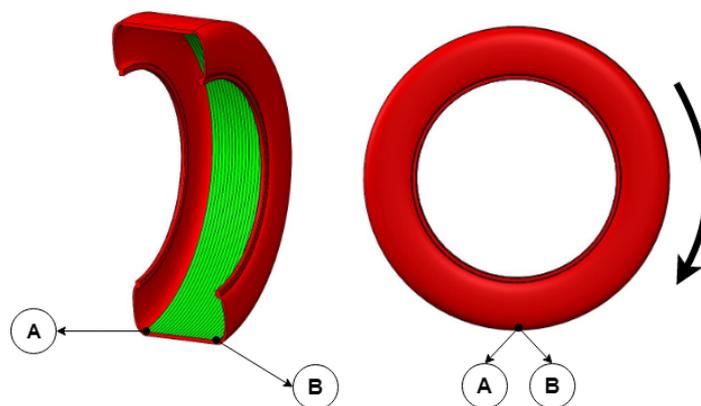


Figura 2.3 - Trajectória do pneu.

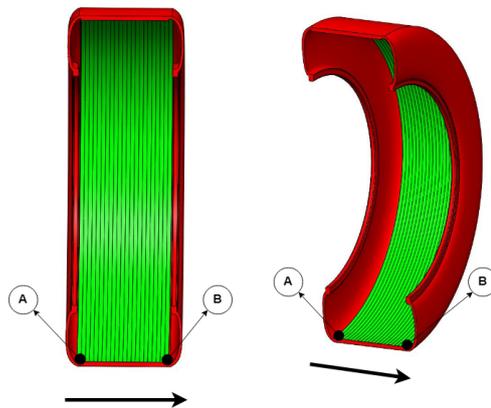


Figura 2.4 - Trajectória do bico ferramenta.

2.1.1 Requisitos do sistema a desenvolver

A empresa forneceu um exemplo dos requisitos possíveis de um cliente que o sistema tenha de cumprir, e que são apresentados de seguida.

O sistema tem de ser capaz de aplicar o vedante na superfície interna do pneu na zona correspondente ao piso do pneu. Esta camada de vedante tem de ser homogênea em termos de espessura da camada que é definida pelo cliente.

O sistema tem de garantir uma taxa de deposição entre 15 a 20 g/s.

Um ciclo completo para o pneu 205/55R16 tem de ter no máximo 120s ou melhor:

- Uma massa de cerca de 1450g de vedante tem de ser dispensado;
- O vedante tem de ser aplicado em espiral;
- Tem de ser capaz de processar pneus com dimensões desde jante 15" até 24" com as dimensões apresentadas na tabela 2.1;
- Os pneus são mantidos e colocados em rotação usando um suporte rotativo.
- É necessário manter o vedante sempre dentro de um intervalo estreito de temperatura para que o mesmo não solidifique na tubagem nem perca as suas características. O vedante encontra-se num reservatório de 200 litros e têm de existir pelo menos dois reservatórios para não haver interrupções entre substituição de reservatórios.
- O sistema de bombagem é responsável pela alimentação do sistema a partir dos bidões de 200 litros. O sistema de bombagem tem de ser mantido à temperatura de trabalho do material.

Tabela 2.1 - Dimensões dos pneus de jante 15" até 24"

Dimensão pneu	Id	Mínimo	Máximo
Diâmetro exterior	O	500 mm	850 mm
Diâmetro jante	B	350 mm	605 mm
Largura exterior	WO	175 mm	370 mm
Largura interior bead	WB	100 mm	265 mm
Peso pneu	-	6 kg	30 kg
Largura vedante	a	140 mm	360 mm
Espessura vedante	b	3 mm	6 mm
Altura secção	X	35 mm	160 mm

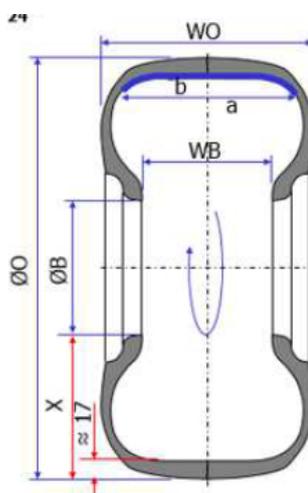


Figura 2.5 - Dimensões do pneu.

Para controlo da quantidade de vedante a depositar é necessário dimensionar o sistema de doseamento. O sistema de doseamento tem de ser capaz de controlar a quantidade do vedante a depositar.

Na parte final do circuito deve-se estudar e desenvolver o sistema de aplicação que vai ser responsável pela deposição do material.

Este sistema tem de:

- ser alimentado a partir do vedante existente em reservatórios;
- manter-se à temperatura requerida pelo trabalho, e
- possuir capacidade de abertura e fecho do bico.

A rotina tem de ser capaz de se adaptar automaticamente às condições exigidas pela aplicação, como por exemplo, variações da dimensão do cordão.

O código de programação tem de ser otimizado de forma a ser adaptável a qualquer conjunto de dados inicialmente introduzidos referentes ao pneu presente no sistema.

Com os dados fornecidos pelo cliente foi efetuado cálculos para perceber as exigências do processo.

O tempo de ciclo é obtido através da razão entre a largura do cordão da aplicação do vedante e a velocidade média do robô.

$$\text{tempo ciclo [s]} = \frac{\text{larg. de aplicação do vedante [mm]}}{\text{velocid. média robô [mm/s]}} \quad (2.1)$$

O caudal de vedante necessário depositar é dado pela equação:

$$\text{caudal vedante [cm}^3\text{/s]} = \frac{\text{espess. vedante [mm]} \times \text{larg. vedante [mm]} \times \text{diâm. int [mm]} \times \pi}{\text{tempo ciclo [s]}} \quad (2.2)$$

A massa total do vedante necessário é dado pela equação:

$$\text{massa total vedante [g]} = \text{densidade [g/cm}^3\text{]} \times \text{quantidade total vedante [cm}^3\text{]} \quad (2.3)$$

Tendo em conta a velocidade linear mínima do robô que é de 1 mm/s e considerando uma largura de aplicação do vedante de aproximadamente 80% da largura do pneu, o tempo de ciclo especificado para o pneu de referência ultrapassa o tempo de ciclo desejado de 120 s. Aumentando a velocidade linear do robô para 2 mm/s (usando números inteiros) e usando os valores iniciais fornecidos pelo cliente, são apresentados na tabela 2.2 o resultado das equações acima apresentadas para as medidas mínimas, máximas e de referência (205/55R16).

Tabela 2.2 - Resultado das equações para as medidas do pneu.

	Mínimo	Referência	Máximo
Tempo ciclo [s]	70	82	180
Caudal vedante [cm³/min]	450	884	1846
Massa total vedante [g]	630	1450	6645
Caudal máximo [g/s]	9,0	17,7	36,9

2.2 A indústria do pneu

O pneu é o único elemento de contacto entre o veículo e o solo, pelo que desempenha um papel de extrema importância e de grande relevância de investigação e contínuo desenvolvimento no mundo dos transportes.

São vários os meios de transporte que usam este elemento desde veículos não motorizados tais como bicicletas, passando pelos transportes motorizados - motas, automóveis e veículos pesados - até à aviação. Toda esta necessidade do pneu faz com que seja um setor industrial de extrema importância na economia mundial.

Segundo o relatório "*The Future of Global Tyres to 2022*" da *Smithers Rapra* o valor global estimado do mercado dos pneus rondou 200 biliões de euros em 2017 e alcançará em 2022 os 236 biliões de euros, observando-se um crescimento de 3,7% ao ano. Estima-se que o mercado passe de 2,2 biliões de unidades em 2017 para 2,7 biliões de unidades em 2022, verificando-se um crescimento de 3,4%. O consumo de matéria prima continua em crescimento passando de 45,2 para 54,5 biliões de toneladas, verificando-se um crescimento de 3,8% ao ano.[6].

O conceito de pneu "*Run-flat*" foi desenvolvido pela *Dunlop*, conhecido como '*Denovo II*', com o objetivo para operar sem ou com ar, mantendo a capacidade de controlo sobre o veículo em ambas as situações.

O conceito de pneu "*Run-flat*" contempla os seguintes pontos:

- O talão tem de se manter contra o aro da jante quando o pneu esvazia;
- O pneu tem de ser capaz de suportar todas as possíveis tensões impostas pelo esvaziamento;
- O pneu não se pode danificar perante fricção interna ou calor gerado quando circular vazio;
- O pneu deve ser capaz de auto selar furos.[7].

2.2.1 Constituintes do pneu

De seguida, são expostos os principais constituintes de um pneu para melhor compreensão do mesmo. A figura 2.6 ilustra os principais constituintes de um pneu.

- **Capa** - É responsável por não permitir que o ar pressurizado no seu interior escape, garantindo a estanquidade do pneu;

- **Telas** - Formadas por tecido envolvido por duas camadas de borracha e que podem ser cortadas segundo um ângulo igual ou inferior a 90°. Têm como função suportar o peso e os impactos;
- **Talões** - Compostos por um conjunto de fios de arame revestidos por borracha que estão em contacto com a jante numa zona específica quando o pneu se encontra pressurizado. Tem como função transmitir as forças tangenciais geradas pelas acelerações e travagens do veículo, assim como garantir a ligação entre pneu e jante;
- **Cunhas ou enchimento talão** - São fabricadas num composto de borracha duro e as suas dimensões determinam o ponto de flexão do pneu em curva;
- **Cintas metálicas** - São formadas por cordas metálicas envolvidas por borracha e são cortadas segundo um ângulo inferior a 90°. São dispostas de forma cruzada de forma a limitarem a expansão da carcaça em serviço. Concede à zona do piso uma maior rigidez e estabilidade.
- **Paredes** - São tiras de borracha que podem ser constituídas por dois compostos diferentes, sendo um deles o protetor de jante que possui a maior dureza e o outro o que confere flexibilidade ao pneu, tendo como função absorver as flexões do pneu.
- **Piso** - Composto por dois ou mais compostos de borracha. Na zona de contacto com o solo temos um composto de borracha duro para resistir à abrasão e às elevadas temperaturas. O outro composto forma a base, zona que tem como objetivo promover a ligação entre o piso e as cintas metálicas. O formato do piso tem que ser capaz de conferir aderência, estabilidade, conforto e produzir um baixo nível de ruído. O piso tem ainda que permitir a refrigeração do pneu, o escoamento de água e evitar o deslizamento lateral. [8]



Figura 2.6 - Constituintes do pneu.

2.3 Vedantes

2.3.1 Breve história sobre polímeros sintéticos e tecnologia dos vedantes modernos

O desenvolvimento dos vedantes polímeros modernos coincide com os desenvolvimentos da indústria dos polímeros que se deu em meados da década de 20 do século 20, no qual até essa data, todos os vedantes derivavam de substâncias vegetais, animais ou minerais. Foi um desenvolvimento marcante nessa época que teve um período de cerca de 20 anos que levou aos polímeros sintéticos que hoje são usados numa escala industrial.

A guerra acelerou a criação e o desenvolvimento dos polímeros sintéticos por causa da escassez do fornecimento de borracha natural. Os polímeros butílicos começaram a ser comercializados pela *Standard Oil Company* em meados de 1930. Devido à sua baixa permeabilidade ao ar e à humidade, um dos primeiros usos da borracha butílica foi no fabrico do revestimento interior do pneu automóvel. [9]

2.3.2 Vedantes butil

O nome genérico vedantes butil é usado para vedantes, mastiques ou fitas que derivam de um homo-polímero poliisobutileno (PIB) ou borracha butílica que é um copolímero de isobutileno e 1-3 mol% de isopreno. Comporta-se como um termoplástico em estado fusão e um elastómero. Tem como principais aplicações a construção, a indústria automóvel e aplicações elétricas. [9]

A figura 2.7 representa a cadeia de hidrocarbonetos. São produzidas borrachas butílicas com graus de insaturação compreendidos entre 0,8% e 2,2%. Quanto maior for o grau de insaturação, maior será a velocidade de vulcanização e a resistência ao calor, mas diminui a resistência ao ozono. [10]

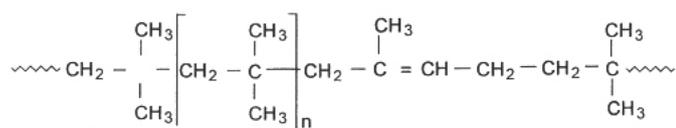


Figura 2.7 - Estrutura molecular da borracha butílica.

Como já foi referido anteriormente, é usada uma extrusora de duplo parafuso e existem várias variáveis que influenciam no produto final do vedante, como por exemplo a velocidade do parafuso, a taxa de produção, a taxa de alimentação, a temperatura dos reservatórios, a viscosidade dos componentes utilizados, a energia específica e a pressão.

Para uma taxa de produção constante, aumentando a velocidade do parafuso faz com que seja uma mistura mais pobre e a energia específica aumente, devido à diminuição do grau de enchimento.

Se para uma velocidade do parafuso constante, for aumentada a taxa de produção resulta numa mistura mais pobre, também, porque o tempo de estágio diminui e o material deixa de estar o tempo suficiente na extrusora e resulta num decréscimo da energia específica.

A temperatura dos reservatórios, influencia na viscosidade do material - temperaturas dos reservatórios elevadas vão facilitar a mistura dos componentes, mas obtém-se um produto final demasiado líquido e também causa a diminuição da energia específica porque necessita de menos energia para o processo de mistura.

Estes foram alguns exemplos de como os parâmetros podem influenciar a produção e de que todas as variáveis têm de ser tidas em conta para obter um produto final como o desejado e o mais otimizado possível.

A camada de vedante contém na cobertura uma camada fina de nylon que previne que o vedante se disperse e que o protege contra elementos externos tais como poeiras.

Quando um objeto penetra no pneu e perfura a capa, o vedante imediatamente fecha e sela hermeticamente a perfuração, prevenindo que o ar saia do pneu. O objeto deverá ser retirado do pneu e assim a pressão interna forçar o vedante a preencher o espaço do objeto e selá-lo.



Figura 2.8 - Representação do pneu com vedante.[1]

Acima foi referido como as variáveis influenciam as propriedades do material caso este seja produzido pela própria empresa que o aplica no pneu.

Mas no caso presente, o material é adquirido em recipientes de 200L, na qual forma de obtenção as propriedades de fabrico são desconhecidas para o comprador.

O recipiente do vedante, representado na figura 2.9, presente na empresa foi adquirido à empresa Isocoll Chemie GmbH. É designado como um produto de testes *Butyl Sealant 17*.

Vantagens do uso de vedante:

- é apenas uma camada interior num pneu convencional e não afeta o seu desempenho;
- pode ser usado em veículos que não estejam equipados com sistema de controlo de pressão dos pneus;
- não necessita de uma jante especializada ou outro equipamento específico;
- pode ser utilizado em simultâneo com pneus convencionais. [11]

Desvantagens do uso de vedante:

- existe um limite para o tamanho do objeto que pode perfurar que é cerca de 5mm de diâmetro e idealmente na zona do piso que está em contacto com a via já que o vedante não cobre as zonas laterais nem suporta cortes profundos;
- apesar do pneu reparar os possíveis furos e prevenir a perda de ar, eles devem ser examinados periodicamente e reparados se necessário;
- esta tecnologia ainda não é muito comum em volta de algumas empresas. Há limitação a certas marcas e a tamanhos de pneus;
- o custo mais elevado do que o dos pneus convencionais. [12]



Figura 2.9 - Aspeto do vedante presente na empresa.

2.4 Acidentes automóveis

O rebentamento do pneu ocorre quando o pneu é danificado o suficiente para perder imediatamente o ar comprimido e causar a perda de controlo do veículo, o que poderá provocar um acidente rodoviário, especialmente a alta velocidade.

Principais causas de rebentamento ou furo nos pneus:

- buracos na via;
- cortes no pneu que causam perda rápida de ar;
- pequena perfuração que permite que o pneu perca ar até a pressão normalizar; Nota: sobrecarregar consecutivamente o veículo causa a cedência prematura do pneu.

Os acidentes rodoviários causados por rebentamentos têm vindo, contudo, a diminuir devido a avanços na tecnologia do fabrico dos pneus. [12]

2.5 Robotização no processo de aplicação de vedante

No fabrico dos pneus anti-furo, os fabricantes de pneus, recorrem ao uso de robôs para o processo de deposição de vedante no interior de um pneu. A Continental é um desses exemplos, sendo possível observar na figura 2.10 um robô em utilização.



Figura 2.10 - Robô usado pelo fabricante Continental.[5]

Um dos grandes desafios na indústria é o desenvolvimento de soluções que impliquem conectividade, interface homem-máquina e gestão das células de fabrico utilizando robôs, especialmente quando utilizados em conjunção com outros equipamentos produtivos.

Segundo a ISO 8373, um robô industrial é - "uma máquina manipuladora com vários graus de liberdade controlada automaticamente, reprogramável em posição, velocidade e aceleração, que pode estar fixa ou móvel e é destinada a várias tarefas de automatização industrial".[13]

2.5.1 Configurações da ferramenta

O ponto de centro de ferramenta serve para definir o “ponto de pivotagem” e as referências de deslocamento da mesma. O sistema de referência do deslocamento da ferramenta deve ser definido para cada caso particular de aplicação, da forma mais conveniente ao movimento e orientação dessa ferramenta. O **TCP** é a designação de origem da referência da ferramenta. Normalmente distingue-se dois tipos de ferramenta:

- **Ferramenta simples** - é uma ferramenta na qual, por defeito, o eixo de ataque é paralelo ao eixo Z da ferramenta. Neste caso, a orientação da ferramenta não é alterada relativamente à posição predefinida da ferramenta; desloca-se apenas o TCP.
- **Ferramenta complexa** - é uma ferramenta na qual o eixo de ataque não é, por defeito paralelo ao eixo Z da ferramenta. Neste caso, o TCP está deslocado e a sua orientação encontra-se redefinida.

Existem vários métodos para definir o TCP:

- **Método de entrada direta de valores** - as coordenadas e a orientação da ferramenta a definir devem ser perfeitamente conhecidas. Estas coordenadas serão introduzidas de forma direta e manualmente.
- **Método dos 3 pontos** - o objetivo deste método é o de deslocar o TCP até ao extremo da ferramenta utilizada, sendo necessário marcar um mesmo ponto com 3 orientações diferentes e memorizar essas posições. As coordenadas são apresentadas relativamente ao TCP original de fábrica. O sentido da coordenada Z do TCP criado pelo método é o mesmo que a do TCP original do robô.
- **Método dos 6 pontos** - o objetivo deste método é o de deslocar o TCP original do robô para um ponto concreto da ferramenta utilizada e reorientar a ferramenta com base nesse ponto. O sentido da coordenada Z do TCP criado pelo método é diferente do sentido do TCP original do robô, que é imposta pelo utilizador.

2.6 Exemplos de sistemas completos para deposição de compostos vedantes

2.6.1 Sames Kremlin - Unidade de extrusão manual a quente para vedantes a partir de um depósito

O fabricante Sames Kremlin fornece soluções de deposição de compostos vedantes, que neste caso, é uma solução de um simples conjunto para alimentar cola ou mástique a quente para um único operador.

Em termos de performance, garante um caudal de produto constante que permite um cordão homogêneo e flexível com o controlador de temperatura PID.

Em termos de produtividade não existe a necessidade de substituir os cartuchos com regularidade e o operador consegue regular o caudal de produto com baixo esforço de gatilho (pneumaticamente assistido).

Exemplo de configuração:

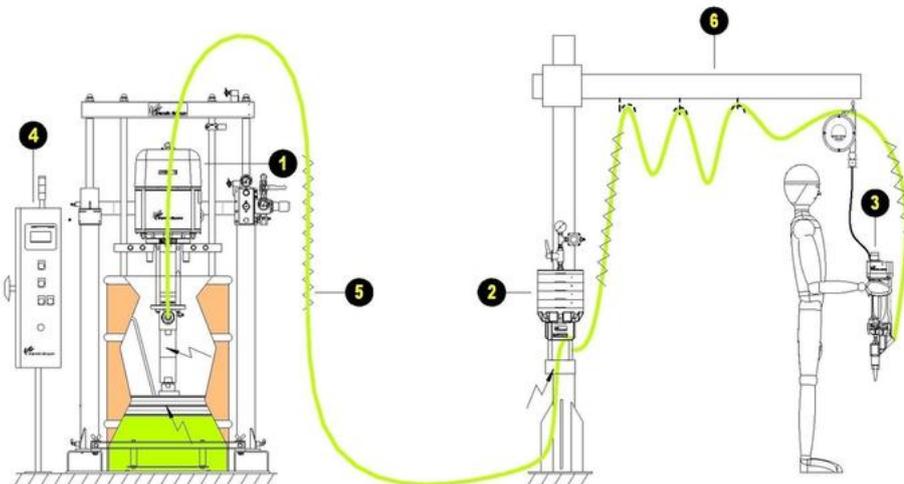


Figura 2.11 - Sistema completo para deposição de compostos vedantes. [14]

1. Bomba êmbolo “chop-check” – são as mais usadas no ramo dos adesivos e vedantes;
2. Regulador de caudal – assegura um fornecimento de material constante;
3. Pistola de extrusão manual – Pistola de grande caudal pneumaticamente assistida;

4. Controlador Rexflow – controlo da zona de aquecimento, arranque e paragem da bomba, regulação da pressão;
5. Mangueira aquecida – Assegura uma temperatura e viscosidade constante do produto para reduzir as perdas de pressão;
6. Suporte e braço – Para reduzir a fadiga do operador.

2.6.2 Nordson - sistema de dispensamento na indústria automóvel

O fabricante Nordson oferece um conjunto completo de produtos que promete níveis insuperáveis de produtividade, precisão, simplicidade, velocidade e durabilidade em processos da indústria automóvel. A figura 2.12 ilustra um exemplo de um sistema da Nordson, do qual se encontra representado pela numeração, o controlador do sistema, o sistema de bombagem, o sistema de doseamento e o sistema de aplicação, respetivamente.

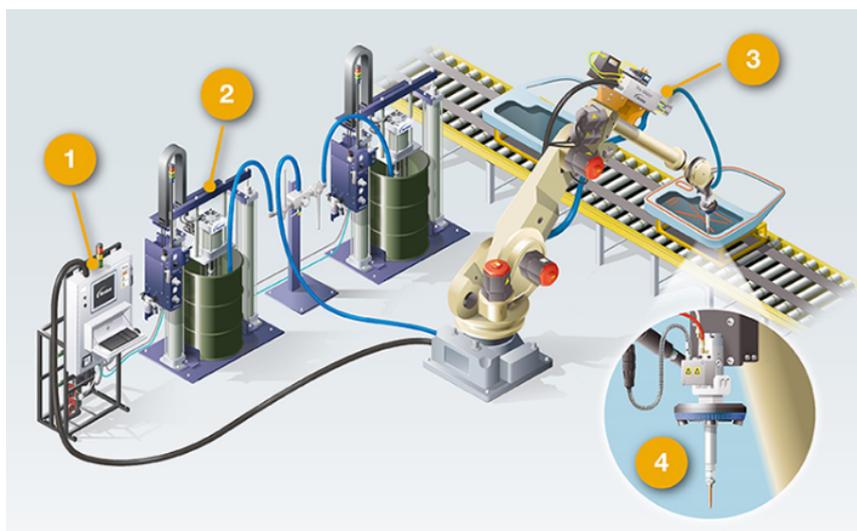


Figura 2.12 - Sistema completo da Nordson.[15]

O controlador do sistema é um controlador compacto baseado em PLC com um ecrã sensível ao toque de 10 polegadas e de fácil utilização e interação com o operador, que permite monitorizar e controlar todos os elementos de distribuição, de alimentação, de medidores e ainda, válvulas e sistemas de visão dos processos de aplicação de adesivos e vedantes para a área automóvel. Exibe representações gráficas precisas e em tempo real para controlo do sistema com um ou dois reservatórios de material.

Este controlador tem a capacidade de escolher os elementos e as zonas de aquecimento individuais de modo personalizados. O sistema regista informação relevante sobre todo o processo, incluindo referências de peças, volumes de dispensamento do material e códigos de falhas.

O sistema de bombagem “Rhino” para bidões de 200l fornece capacidades elevadas de fluxo e facilidade de operação na alimentação de materiais adesivos e vedantes com alta viscosidade. Projetado para uma longa vida útil e fácil manutenção.

A conceção modular oferece flexibilidade para alterações nos requisitos das aplicações, tais como motor pneumático, bomba de alimentação, prato pressor. As opções incluem proporção da bomba, tamanho motor pneumático, troca automática, despressurização do sistema, filtros e mangueiras de distribuição.

O sistema de doseamento é designado por “Pro-Meter S”. É fornecido com pressão positiva do material pelo sistema de bombagem “Rhino”. A tecnologia de deslocamento positivo é ideal para distribuir todos os tipos de materiais, em todos os tipos de aplicações. O deslocamento com movimento positivo fornece precisão meticulosa na distribuição volumétrica, independentemente do tipo, temperatura ou viscosidade do material.

A utilização de um servo atuador no “Pro-Meter S” permite a alteração da velocidade a meio de cada curso, para ajustar a largura do cordão ou para permitir compatibilidade com as mudanças de velocidade do robô. Como alternativa, o sistema pode iniciar e parar rapidamente, para fornecer pontos e manchas precisos, produzindo vários disparos precisos em sucessão antes da necessidade de recarregar, resultando em menor tempo de ciclo e maior produtividade.

Por último, para a cabeça de aplicação, a Nordson dispõe de uma vasta gama de válvulas de dispensamento, projetadas para a maioria dos tipos de materiais, viscosidades, caudais e tipos de bicos.

A Nordson disponibiliza um guia de seleção de válvulas de modo a servir para cada aplicação específica. Focando apenas nas válvulas que encaixam nos requisitos para uso apenas de um componente e materiais com elevada viscosidade, temos as válvulas designadas “Tip-Seal” e “Snuf-Bak” que estão representadas respetivamente na figura 2.13.

A “Tip-Seal” foi concebida para interromper o fluxo de material de baixa a alta viscosidade, criando um ponto de completa vedação na ponta do bico.

Por outro lado, temos as válvulas “Snuf-Bak” que foram concebidas para materiais de média a alta viscosidade para uma vedação mais rápida. [16]

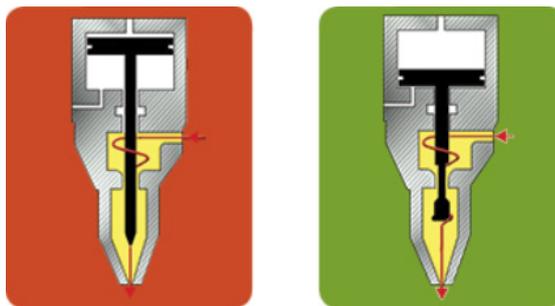


Figura 2.13 - Válvulas de dispensamento apenas de um componente.[16]

Capítulo 3

Seleção e dimensionamento do sistema

3.1 Sistema de bombagem

O sistema de bombagem tem de ser capaz de manipular o vedante, que se encontra no reservatório, e realizar a alimentação do vedante ao sistema de doseamento.

Na indústria de adesivos e vedantes é comum a utilização de bombas de êmbolo para grande variedade de aplicações e soluções de bombagem. A maioria destas podem ser descritas em 4 grandes categorias:

- Bombas de transferência,
- Bombas de extrusão,
- Bombas para aplicação de revestimentos, e
- Bombas de medição/dispensamento.

Bombas de transferência: destinam-se a mover um fluido de baixa a média viscosidade de uma localização para outra. Tipos de bombas de *2-ball* e *4-ball* são as mais usadas para este tipo de aplicações.

Bombas de extrusão: consiste em usar uma bomba de êmbolo para aplicar fluidos de média a alta viscosidade. Tipicamente as aplicações de extrusão requerem dispositivos adicionais, tais como, atuadores e reguladores de caudal. Bombas do tipo *2-ball* e *chop-check* são as mais usadas nestas aplicações.

Bombas para aplicação de revestimentos: são usadas para aplicar um fluido através de pintura ou mergulho. Usam-se bombas do tipo *2-ball* e *4-ball*. [17]

Bombas de medição/dispensamento: são usadas para aplicar uma quantidade específica de fluido, normalmente num processo repetitivo. Usam-se bombas do tipo *2-ball*, *4-ball* e *chop-check*.

As bombas tipo **2-ball** são capazes de manusear materiais de baixa a média viscosidade até 100 [Pa.s] com um fluxo até cerca de 70 [l/min]. Uso maioritariamente para aplicações em *spray*, transferência ou alimentação e extrusão. São usadas para materiais como óleos pesados, revestimentos, pintura e químicos.

As bombas tipo **4-ball** são concebidas para transferir um maior volume de material de baixa a média viscosidade, até 12,5 [Pa.s] com um fluxo até 124 [l/min], dependendo da aplicação. O uso mais comum é a circulação de um fluido a partir de um reservatório para o ponto de aplicação e retornar ao ponto inicial. São usadas para materiais como tintas, químicos e vernizes.

Por fim, as bombas **chop-check** foram concebidas para transferir fluidos de médias a altas viscosidades desde 15 a 1000 [Pa.s] envolvendo fluxos até cerca de 47 [l/min]. Uso maioritariamente para aplicações de extrusão, transferência ou alimentação e lubrificação. São usadas para materiais como mástiques, vedantes e tintas.

Os diferentes tipos de bombas de alimentação de *2-ball*, *4-ball* e *chop-check* estão representadas na figura 3.1.

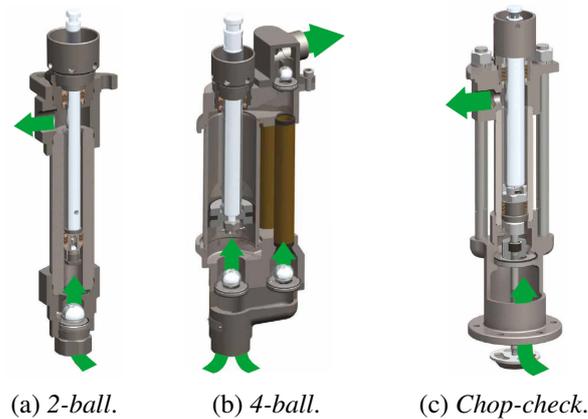


Figura 3.1 - Tipos de bombas de transferência.

O fabricante Grunfeld disponibiliza um gráfico, representado na figura 3.2, de forma a facilitar a escolha do tipo de bomba de alimentação em função da viscosidade do material e do fluxo de material. Como a viscosidade do material é desconhecida assume-se o valor da viscosidade segundo o tipo de materiais descritos mais parecidos com a consistência do mesmo

à temperatura de trabalho. O valor de referência escolhido para a viscosidade a utilizar para futuras decisões é cerca de 1000 [Pa.s].

O fluxo máximo do material é de aproximadamente 1,9 [l/min] (calculado na tabela 2.2), estando contido no intervalo de fluxo disponível para os três tipos de bombas. Intersectando com a sua viscosidade, que como mostra a figura 3.2, para viscosidades superiores a 100 [Pa.s], a escolha recai no tipo de bomba *chop-check*. Assim, a **bomba de alimentação** do sistema deverá ser do tipo *chop-check*.

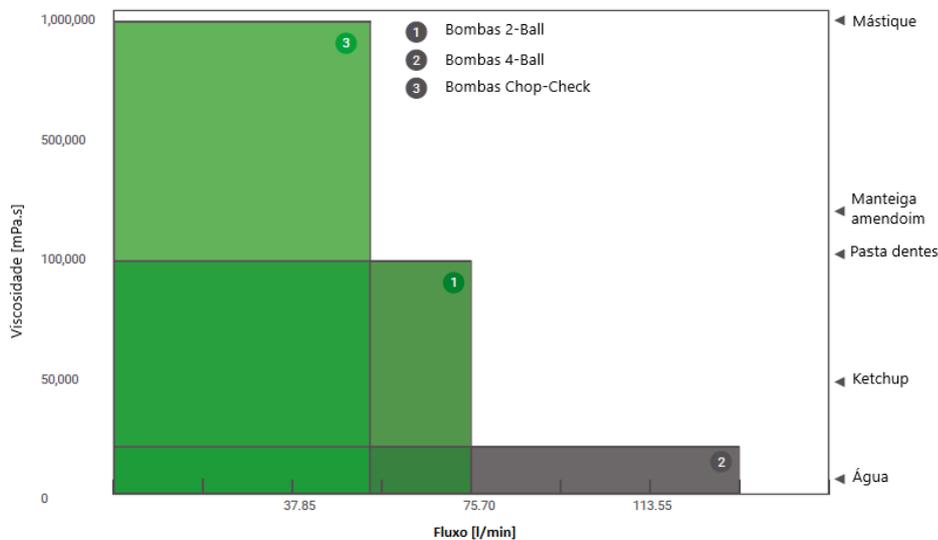


Figura 3.2 - Seleção do tipo de bomba tendo em conta a viscosidade e caudal.[17]

3.1.1 Descrição do ciclo completo de transferência

Para melhor compreensão do sistema por parte do leitor, na figura 3.3 é apresentado o ciclo completo de transferência do material que se encontra no interior de um bidão de 200 litros. O ciclo tem o seu início com o prato pressor (corpo em forma de disco no qual a sua área vai estar em contacto com o vedante) em posição de repouso que está representado pelo número 1. Para introdução do bidão de 200 litros no sistema é necessário que se efetue o deslocamento do prato pressor e atinja a cota máxima disponível no eixo Z (representado pelo número 2) ou no mínimo a cota suficiente para a introdução do bidão.

Com a introdução do bidão de 200 litros no sistema o prato pressor desloca-se até entrar em contacto com o material (ilustrado pelo número 3) e dá-se o início do movimento descendente do prato pressor.

Após transferência de todo o material que se encontra no bidão (ilustrado pelo número 5) é iniciado o movimento ascendente do prato pressor para se proceder à retirada do bidão (ilustrado pelo número 6). E assim, o ciclo recomeçará com a introdução de um novo bidão.



Figura 3.3 - Ciclo movimento do conjunto de bombagem.

3.1.2 Descrição do ciclo completo de bombagem

Durante o ciclo completo de transferência apresentado anteriormente, ocorre em paralelo com o movimento descendente do prato pressor, um grande número de ciclos de bombagem da bomba *chop-check* que é responsável por alimentar o sistema de doseamento. O número de ciclos da bomba vai ditar a quantidade de material inserido no sistema de doseamento.

A tecnologia *chop-check* é a mais utilizada na indústria em geral para bombear produtos muito viscosos (vedantes e adesivos).

O princípio de funcionamento de uma bomba *chop-check*, que se encontra representado na figura 3.4, descreve-se:

- Quando o êmbolo desce, a válvula anti-retorno (verde) é pressionada contra o batente e o produto da câmara V2 sai da bomba através do orifício da mesma.
- Quando o êmbolo sobe, a válvula anti-retorno (verde) abre e o produto é forçado para a câmara V2. A válvula de retenção superior (vermelha) fecha-se e o produto é extraído da câmara V1.

Segundo o fabricante Kremlin, na descida do êmbolo o volume V3 é maior que o volume V2. Na subida do êmbolo o volume V1 é metade do volume V2.

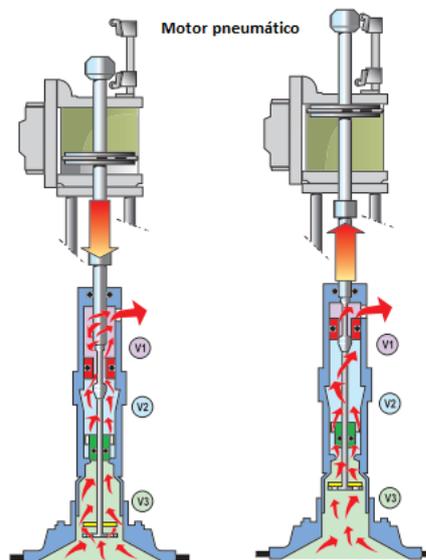


Figura 3.4 - Funcionamento da bomba *chop-check*. [18]

A figura 3.5 descreve em vista de corte de um sistema do fabricante Graco, um ciclo completo da alimentação do material, já descrito anteriormente.

Quando se fala em realização um ciclo da bomba *chop-check*, é o ciclo ilustrado na figura 3.5, onde se encontra representado o movimento ascendente (movimento representado no número 1 até à fase do movimento representado pelo número 2) e o movimento descendente (movimento representado pelo número 3 até à fase do movimento representado pelo número 4).

Há 4 fatores que é preciso ter em consideração na decisão de qual o tipo de bomba de êmbolo a seleccionar: tipo de fluido, viscosidade, fluxo necessário e pressão de saída do fluido.

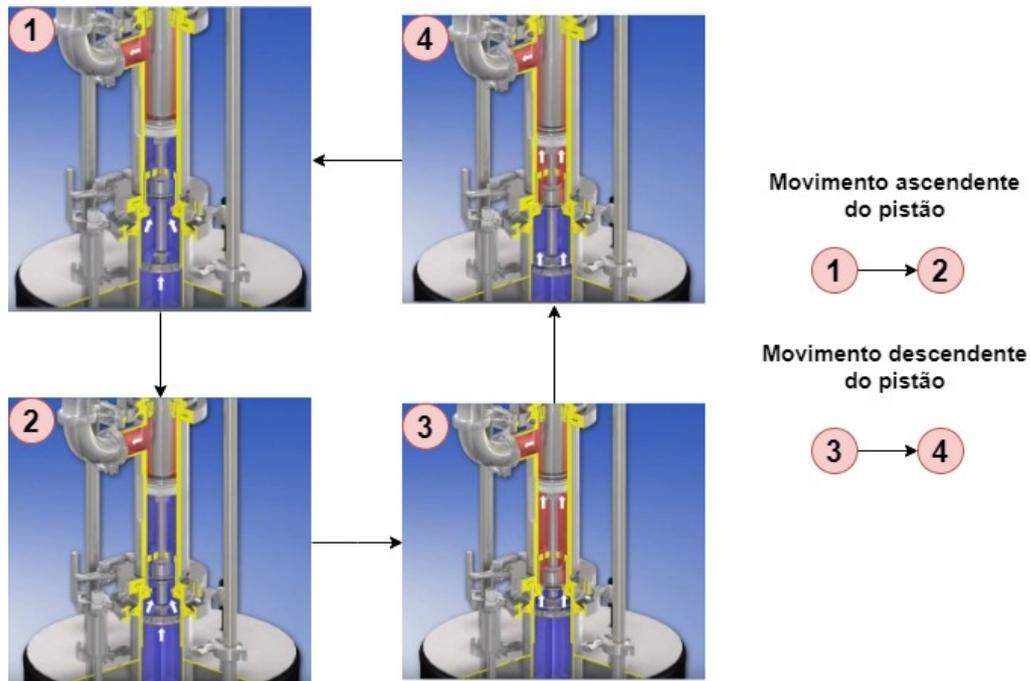


Figura 3.5 - Ciclo da bomba *chop-check* em corte.

Para seleção de uma bomba de êmbolo é necessário ter em atenção o rácio de pressão da bomba. O rácio de pressão da bomba, dado pela equação 3.1, é a razão entre a área da superfície do êmbolo do atuador pneumático e a área da superfície da bomba de alimentação do fluido, como mostra na figura 3.6. Por exemplo – uma relação de 11:1 indica que o atuador pneumático tem uma área efetiva 11 vezes maior que a área efetiva do êmbolo de manuseio do fluido. Elevados rácios permitem pressões disponíveis no fluido elevadas, que permite um manuseio de fluídos com maior viscosidade ou transferir o fluido a maiores distâncias.

$$\frac{\text{Área da superfície do êmbolo da bomba}}{\text{Área da superfície da bomba de alimentação}} = \text{Rácio pressão da bomba} \quad (3.1)$$

Com recurso ao rácio pressão da bomba determina-se o valor máximo da pressão de saída do material da bomba, dado pela equação 3.2.

Como se pode observar pela figura 3.7, onde são apresentadas duas bombas de êmbolo com diferentes rácios de pressão, a bomba A com um rácio de 11:1 e a bomba B com um rácio de 23:1 para uma mesma pressão de entrada vão originar diferentes pressões de saída do material, que são resultado da aplicação da equação 3.2. A bomba A com uma pressão de entrada de 6 bar (≈ 100 psi) origina uma pressão de saída de 66 bar (≈ 1100 psi). Já a bomba B com a mesma

pressão de entrada que a bomba A origina uma pressão de saída de 138 bar (≈ 2300 psi).

$$\text{Rácio pressão bomba} \times \text{Pressão do ar entrada} = \text{Pressão de saída do fluido} \quad (3.2)$$

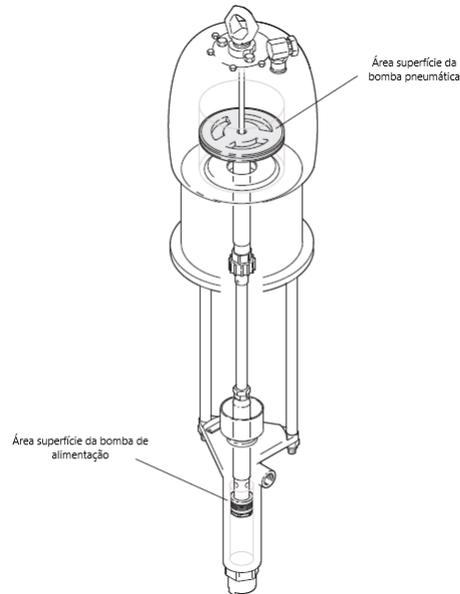


Figura 3.6 - Área da superfície bomba pneumática vs área da superfície da bomba de alimentação. [19]

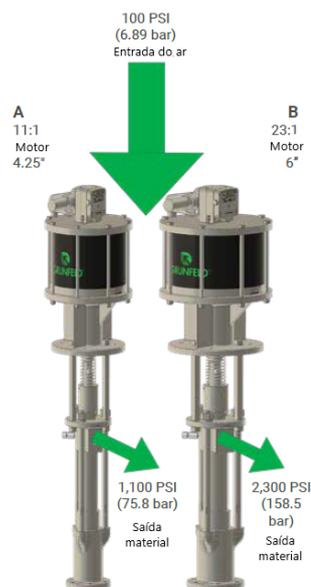


Figura 3.7 - Bombas de pistão com diferentes rácios de pressão. [18]

3.1.3 Apresentação de sistemas bombagem

É necessário selecionar uma bomba *chop-check* existente no mercado. As bombas de *chop-check* do fabricante **Kremlin** são conhecidas como as bombas Rexson. Todas as bombas Rexson estão equipadas com um motor pneumático e uma bomba *chop-check*. Todas estas bombas são de duplo efeito e são recomendadas para o uso de materiais com valores de viscosidade acima de 5 [Pa.s]. Funcionam com um máximo de 6 bar de pressão pneumática.

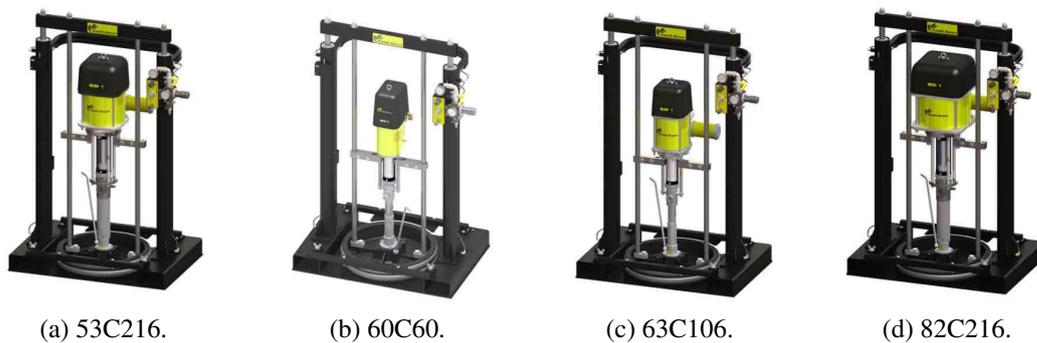


Figura 3.8 - Bombas Rexson da Kremlin.

O sistema bombeia diretamente do reservatório de material e é normalmente usado em bidões de 200 litros (diâmetro interior de 571mm).

São disponíveis quatro modelos desta gama Rexson, no qual todas permitem aplicar vedantes e adesivos a partir dos seus depósitos de origem de 20 ou 200 litros: 53C216, 60C60, 63C106 e 82C2016. É possível utilizar gamas de produtos com uma viscosidade até 1000 [Pa.s].

Estas unidades de extrusão são constituídas por:

- Uma bomba de extrusão;
- Um elevador de coluna simples ou coluna dupla;
- Um prato pressor.

O prato pressor tem três funções:

- Contribuir para um fluxo positivo do material em direção à entrada da bomba;
- Selar o material no reservatório;
- Garantir que o material é dispensado do tambor com o mínimo de desperdício.

O prato pressor pode ser, maioritariamente, dois tipos: com apenas uma vedação simples ou com dupla vedação de PTFE. A vedação simples é normalmente usada para materiais de baixa viscosidade, até 30 Pa.s, e a dupla vedação é usada para materiais de maior viscosidade ou sensíveis à humidade.

O elevador é o dispositivo responsável pela subida e descida do conjunto do sistema de bombagem e da prato pressor. Este permite fazer com que a placa exerça uma pressão contínua sobre a superfície do reservatório. Isso garante que a bomba *chop-check* esteja sempre com uma pressão positiva na sua alimentação. Para materiais viscosos e bidões de 200 litros, o fabricante Kremlin recomenda o uso de elevador duplo, que são dois cilindros pneumáticos de duplo efeito, para ser capaz de exercer uma maior pressão.

Para seleção da bomba adequada para a aplicação, a Kremlin disponibiliza um gráfico de fluxo vs viscosidade do material, como representado na figura 3.9. Devido à viscosidade de referência do material a única opção é a bomba com um rácio de 82:1 que corresponde ao **modelo 82C216**.

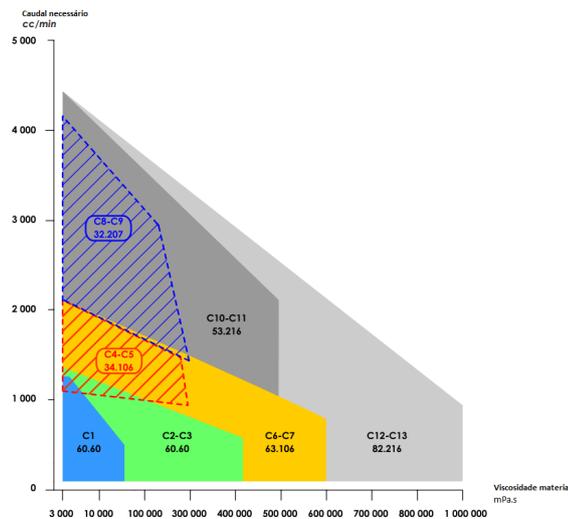


Figura 3.9 - Fluxo versus viscosidade material. [18]

O fornecedor **Grunfeld** disponibiliza soluções de transferência de comando manual, semi-automático ou totalmente automático de vedantes ou adesivos.

Oferecem uma grande variedade de combinações de bombas/motores pneumáticos que vão desde rácios de 1:1 a 100:1 e caudais até 124 l/min, compatíveis com o tipo de material, fluxos necessários e distâncias a percorrer.

Disponibilizam os três tipos de bombas de alimentação do estilo *chop-check*, *2-ball* e *4-ball*.

Perante os modelos visualizados, o modelo mais adequado do fabricante Grunfeld é a bomba designada BSA0200, representado na figura 3.10, que manipula vedantes e adesivos com uma bombagem dos reservatórios em aço UN1A2 – 200L. Na tabela C.4 é apresentado as principais características do modelo referido.



Figura 3.10 - Modelo BSA0200 da Grunfeld. [20]

As bombas da marca **Graco** designadas por **Therm-O-Flow**, são projetadas para lidar com vedantes e adesivos com qualquer grau de viscosidade. Os seus sistemas são facilmente integrados noutros sistemas e requerem pouca manutenção.

O modelo Therm-O-Flow 200, representado na figura 3.11, é um sistema termofusível que possui grande capacidade de transferência e precisão no controlo da temperatura. A principal função é manipular vedantes termofusíveis e adesivos em bidões de 200 litros. São facilmente integrados com uma segunda unidade de Therm-O-Flow para operação em conjunto.

Possuem grande capacidade de fluxo para materiais como PSA e vedantes butil. [22]

O alto rendimento por ciclo reduz o desgaste da bomba para uma vida útil mais longa e baixos custos de manutenção.

Possui um desempenho excepcional com uma ampla gama de materiais em qualquer viscosidade. Programação rápida e fácil da temperatura.

O campo de materiais processados é bastante amplo, como por exemplo, borracha butílica, poliamida, poliuretano reativo, adesivos sensíveis à pressão, poliisobutileno, vedantes de fusão a quente, etc.



Figura 3.11 - Modelo da Graco therm-o-flow 200. [21]

O fluxo e o material a manipular são as principais características a ter em consideração quando se pretende selecionar o prato pressor aquecido. O fabricante disponibiliza em três formatos: o design padrão, design “MegaFlo” e o design com fundo liso.

O design padrão é recomendado para fluxos normais e para materiais quentes e fundidos a quente.

Para muitas aplicações, a placa “MegaFlo” é escolhida, devido a aumentar a transferência de calor e permite maiores taxas de fluxo do material fundido. O design convexo da placa reduz a quantidade de material restante no recipiente.

O design com fundo liso foi projetado para o uso com materiais que precisam de ser limpos com frequência ou não precisam de ser derretidos antes da bombagem. Oferece baixas taxas de fusão quando usada com materiais de fusão a quente.

O design do prato pressor aquecido e o material usado são as principais considerações para seleção do design dos elevadores. É disponível com um conjunto de elevação pneumático ou hidráulico. Ambos são montados em cilindros de 165 mm.

O elevador pneumático é o conjunto *standard* para as unidades do Therm-o-flow. É compatível com maior parte dos materiais de fusão a quente.

O elevador hidráulico é ideal para aplicações que usam materiais com elevada viscosidade e requerem elevados fluxos de material. Possui uma maior força descendente comparativamente com o elevador pneumático. O aumento da pressão de alimentação permite que alguns materiais sejam bombeados a uma taxa de fluxo mais alta.

Pode ser encomendado com seis ou oito zonas de calor. As zonas 1 e 2 são sempre usadas

para o reservatório aquecido e a bomba aquecida. As zonas 3, 4, 5 e 6 para o restante sistema e as zonas opcionais 7 e 8, caso seja necessário zonas adicionais.

O fornecedor disponibiliza também um ecrã interativo conectado à caixa de controlo principal que pode ser configurado para ligar (realizar um pré-aquecimento) e desligar em horários específicos. O ecrã interativo também permite definir facilmente parâmetros para todas as zonas de calor incluindo, o ponto de ajuste, alarmes, valores de PID e controlo de *on/off* de cada zona individual.

Há também um interruptor de fim de curso ajustável que sinaliza quando o nível do reservatório atinge o limite mínimo.

Há disponível o modo de controlo de mudança de reservatório que alterna automaticamente a operação de uma bomba para uma segunda bomba. Inclui interruptores, luzes e controlo para pré-aquecimento e troca automática de reservatório.

Na tabela C.1 são apresentados as principais especificações técnicas do Therm-O-Flow.

3.1.4 Sistema de bombagem escolhido

O sistema de bombagem escolhido, perante as várias opções apresentadas, foi o sistema da **Graco Therm-o-flow-200**, que pela visão do autor, é o que melhor corresponderá às características do material a manusear e no qual obterá uma melhor *performance*. É o sistema que apresenta mais flexibilidade e opções de configuração, interação e aplicação em relação às outras opções e destaca-se no mercado pelos sistemas disponibilizados para manuseamento de materiais vedantes a quente.

O sistema da Graco é apresentado na figura 3.12 e a sua respetiva legenda na tabela C.2 para uma melhor interpretação do leitor dos constituintes do sistema de bombagem da Graco.

A válvula pneumática principal do sistema (A) é usada para interromper o fornecimento de ar comprimido ao sistema. O filtro de ar (B) remove os resíduos e a humidade do ar comprimido. O regulador pneumático (C e V) controla a pressão de saída do material. A válvula pneumática principal (D) desliga o fornecimento de ar.

O painel de controlo pneumático inclui:

- Válvula de despressurização automática - despressuriza o motor pneumático após o desligar;

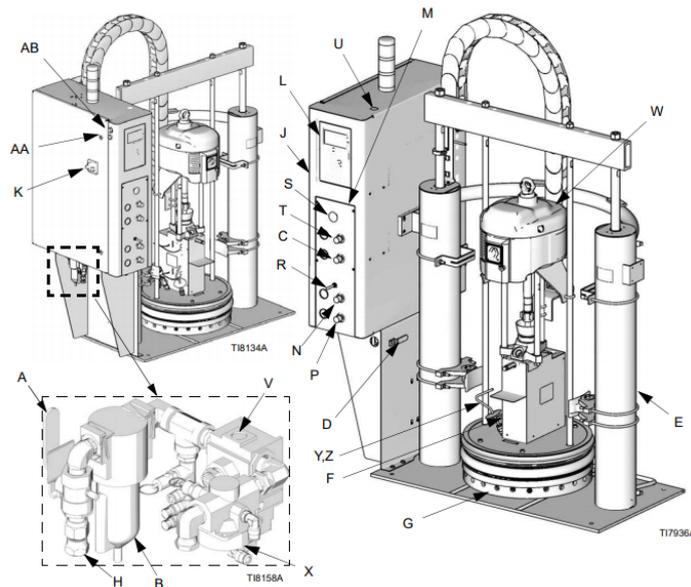


Figura 3.12 - Representação do modelo da Graco therm-o-flow 200. [23]

- Reguladores do elevador (N, P) - controlam a pressão de ar nos cilindros. São reguladores separados para controlar a pressão na subida e na descida;
- A alavanca de subida e de descida (R) - muda o sentido de deslocamento do elevador;
- Regulador pneumático de escape (T) - controla a pressão de escape do prato pressor. [23]

3.2 Sistema de doseamento

Uma importante consideração a ter em qualquer aplicação é as condições de doseamento. Normalmente a necessidade do uso de uma bomba volumétrica já é determinado, pelos requisitos para uma determinada quantidade de fluxo, independentemente da pressão diferencial, viscosidade muito alta para uma bomba centrífuga, necessidade de altas diferenças de pressão ou outros fatores.

Nas bombas volumétricas rotativas, o fluido é deslocado através do movimento rotativo simples, ou combinado com um movimento oscilatório dos elementos de bombagem.

As suas principais características são:

- A saída e a pressão do fluido bombeado sofre pequenas oscilações quando a rotação é constante.

- Fluxo: função do tamanho da bomba e velocidade de rotação, é pouco influenciado pela pressão de descarga.
- Eficientes para fluidos viscosos e tintas.
- Operam em faixas moderadas de diferenciais de pressão.
- Utilizadas para medição de volumes de fluidos.

Há vários tipos comuns de bombas volumétricas rotativas: de engrenagem, de lobos, de palhetas e de parafuso.

A bomba necessita de condições de sucção adequadas para o correto funcionamento. Cada bomba volumétrica tem um mínimo de pressão de entrada para permitir encher as cavidades da bomba. Se estas não estiverem completamente preenchidas, o fluxo total da bomba será afetado negativamente.

As **bombas de engrenagem** podem ser de dois tipos: de engrenagens externa e engrenagens interna.

As de engrenagem externa são formadas por um par de rodas dentadas idênticas que rodam acopladas no interior de um cárter. O fluido ocupa as cavidades entre as rodas dentadas e o cárter e o mesmo é deslocado desde a secção de admissão para a zona de descarga.

Quando os dentes de uma roda dentada encaixam nos dentes da outra roda dentada, o espaço entre os dentes quase que deixa de existir, logo, o fluido preso é forçado para fora da bomba.

À medida que a engrenagem se move e os dentes desencaixam, o espaço volta a estar disponível do lado da aspiração da bomba, permitindo a aspiração de fluido e a sua circulação dentro do cárter.

A existência de uma grande quantidade de dentes nas engrenagens assegura que o caudal bombeado é mais homogêneo, sem picos de pressão significativos. Uma bomba de engrenagem com rodas dentadas de reduzido número de dentes fornece um caudal menos homogêneo. No entanto, o caudal da bomba é superior, uma vez que quanto maior for o espaço entre os dentes, maior é a quantidade de fluido bombeado.

Nas bombas de engrenagem interna uma roda de dentado externo (pinhão) engrena numa roda de dentado interior (cremalheira).

As bombas de lobos têm o princípio de funcionamento similar ao das bombas de engrenagem. Podem ter dois ou mais lobos, conforme o tipo. As mais comuns são as bombas de três lobos por terem um rendimento maior. São usadas para produtos químicos, líquidos lubrificantes ou não-lubrificantes para todas as viscosidades.

As bombas de palhetas são também muito utilizadas em sistemas hidráulicos. O seu rotor é um cilindro perfurado radialmente para alocar as palhetas que se deslocam radialmente percorrendo uma superfície oval no estator. Uma vantagem deste tipo de bombas é que a folga entre o cárter e palheta é sempre mínima.

Por fim, as bombas de parafuso que possuem um, dois ou três parafusos helicoidais sendo o seu movimento sincronizado através de rodas dentadas. São bastante silenciosas e induzem oscilações de fluxo e de pressão mínimas no fluído. São maioritariamente utilizadas para o transporte de produtos de viscosidade elevada.

Um aspeto importante nas bombas de engrenagem é a performance da sua vedação dinâmica que ocorre dentro da bomba. Esta vedação dinâmica permite que se realize o movimento de doseamento enquanto se mantém uma separação distinta entre a entrada e saída. As bombas de engrenagem possuem três áreas de vedação dinâmica como representado na figura 3.13a: (A) entre a ponta do dentado e a parede da cavidade, (B) na zona de engrenamento e (C) as cavidades de fecho da zona da engrenagem.

Nos vedantes dinâmicos existem folgas para que as peças de bombagem se movam, o que origina fuga da zona de saída de maior pressão da bomba de volta à zona de entrada de menor pressão, como representado na figura 3.13b.

A fuga origina que o fluxo total da bomba seja menor que o fluxo teórico (fluxo de saída se o rendimento da bomba fosse de 100%). É, portanto, o fator com mais influência na determinação da eficiência volumétrica das bombas de engrenagem.

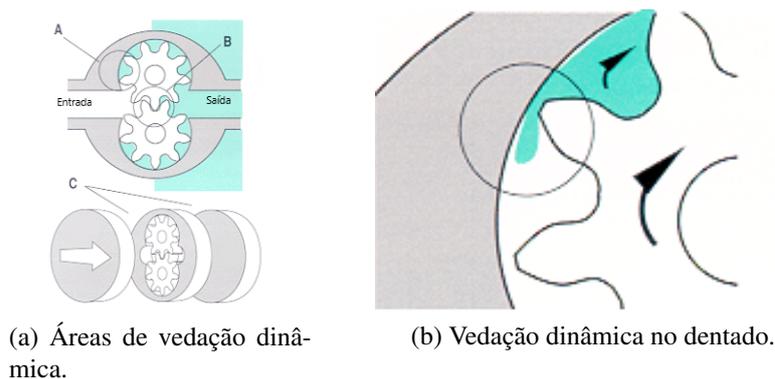


Figura 3.13 - Vedação dinâmica das bombas de engrenagens. [24]

- Viscosidade

Quando o fluido é mais viscoso há uma diminuição do escorregamento devido ao fluido

ser fisicamente menos capaz de retornar pelas folgas, pelo qual a capacidade de fabrico e tolerâncias do projeto tem um papel muito importante na produção de bombas de engrenagem eficientes.[24]

3.2.1 Apresentação de sistemas doseamento

O fabricante Witte disponibiliza bombas de doseamento na categoria de extrusão, compatível com o valor de viscosidade do vedante, designada por série “EXTRU3”.

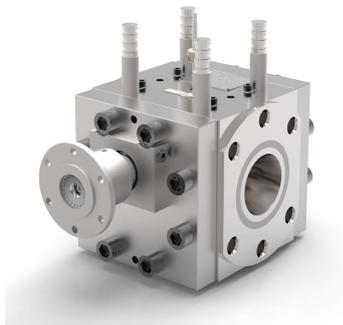


Figura 3.14 - Bomba de engrenagem da série EXTRU3 da Witte.

A bomba standard “EXTRU3” é entregue com vedantes de alumínio-bronze para materiais viscosos e altas pressões de aspiração.

Segundo o fabricante são bombas que operam com viscosidades até 30000 [Pa.s], temperaturas até 350° C, pressões de aspiração até 120 bar e diferenciais de pressão até 250 bar.

O fabricante disponibiliza um gráfico para ajudar na seleção da medida da bomba tendo em conta o fluxo necessário e a velocidade de rotação.

Na figura C.5 foram marcados os três pontos correspondentes ao "ponto mínimo", "ponto máximo" e "ponto de referência" de funcionamento da bomba para cilindrada de 10,2 cm³/rot. De seguida, traçaram-se novamente os três pontos, mas agora para uma cilindrada de 25,6 cm³/rot, como representado na figura C.6.

Com o aumento da cilindrada da bomba, as velocidades de rotação da mesma vão diminuindo para um mesmo caudal desejado. Como na maior parte do uso do sistema se vai situar aproximadamente no ponto de referência, o autor tomou a decisão de escolher a cilindrada da bomba para o qual o ponto de referência se localiza mais perto do valor médio do intervalo apresentado no gráfico para a velocidade de rotação da bomba. Posto isto, a **escolha da bomba do fornecedor Witte** foi com cilindrada de **10,2 cm³/rot**.

Com a bomba selecionada, a velocidade da bomba é dada pela equação 3.3

$$\text{Velocidade rotação bomba [rpm]} = \frac{\text{caudal vedante [cm}^3\text{/min]}}{\text{cilindrada bomba [cm}^3\text{/rot]}} \quad (3.3)$$

Para os três pontos apresentados nos gráficos, a velocidade de rotação da bomba é respectivamente, aproximadamente, 44, 87 e 181 rpm.

Para as bombas de engrenagem da Witte, existem três tipos standard de dentado como também alguns tipos especiais de dentado de bombas de engrenagem mais pequenas, largas ou de geometrias ajustadas. Dentado reto, helicoidal e em espinha são os três tipos standard disponíveis, como representados na figura 3.15.

O **dentado reto** é o dentado standard nas bombas Witte de alta pressão e da série “CHEM”. É diferenciada através de impulso axial inexistente e possui uma elevada eficiência volumétrica.

O **dentado helicoidal** é usado principalmente como engrenagem padrão em aplicações de polímeros, onde é necessário um fluxo com a menor pulsação possível. Pode ser usada para aplicações com pressões diferenciais de até 250 bar.

O **dentado em espinha** reduz a pulsação média do fluxo em comparação com o dentado reto e helicoidal, o que origina uma melhor qualidade de saída do produto.

A tabela 3.1 mostra resumidamente as diferenças entre elas.

Tabela 3.1 - Diferenças entre os tipos de dentado.

	Dentado reto	Dentado helicoidal	Dentado em espinha
Viscosidade	Baixa; elevada com elevada variação pressão	Média a elevada	Média a elevada
Diferencial pressão	120 bar; até 250 bar com elevada variação pressão	250 bar	250 bar
Eficiência volumétrica	Elevada	Elevada	Baixa
Pulsação	Mais elevada entre as opções	Menor que dentado reto	Baixa

A bomba de engrenagem possui um eixo de acionamento que precisa de ser vedado. Vedação essa que pode ser realizada através de um acoplamento magnético, caixa de empanque (*stuffing box*), vedante viscoelástico com rosca reversa (*viscoseal with reverse conveyance threads*), simples ou duplo vedante mecânico, vedante com múltipla aba ou através de combinações dos sistemas anteriormente mencionados. Dependendo do tipo de bomba e do local de uso, diferentes sistemas podem ser usados. Pressão, temperatura e viscosidade são fatores decisivos que influenciam ou limitam a seleção da vedação da bomba.



Figura 3.15 - Tipos de dentado das bombas Witte.[25]

O fabricante recomenda dois tipos de vedação para a bomba selecionada que é a caixa de empanque (*stuffing box*) ou vedação do veio roscada (*threaded shaft seal*) representados respectivamente na figura 3.16.

A caixa de empanque é uma vedação comparativamente simples e extremamente robusta para as bombas de engrenagem Witte. Pode ser projetado com uma vedação dupla. É normalmente usado um entrançamento feito de anéis grafite com fibras têxteis.

A vedação do veio roscada é o vedante standard usado no tipo de bombas *Extru* e *Booster*, mas também podem ser usadas como uma variação especial para a série *Poly*. É descrito como um vedante viscoelástico e opcionalmente ter um design específico para ser aquecido ou arrefecido. A aplicação do tipo de vedante é determinada pela pressão de sucção e pela viscosidade do material.

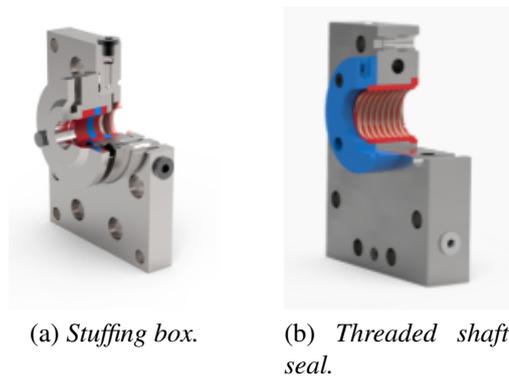


Figura 3.16 - Tipos de vedação para a bomba selecionada.[26]

As bombas de engrenagem do fabricante **MAAG da série “*cinox therminox*”** são unidades de aço inoxidável resistentes à corrosão e condutores de calor que satisfazem os exigentes requisitos dos processos atuais da indústria química.

Graças ao extenso leque de escolha de componentes e materiais de construção, as bombas de engrenagem MAAG podem ser configuradas para corresponder a requisitos específicos e, portanto, muito superiores às bombas standard em termos de performance e fiabilidade. Qualquer que seja o tipo de aplicação, que envolvam materiais de alta pureza, corrosivos, viscosos ou com temperaturas elevadas, o sistema de bombas da MAAG atende a qualquer desafio de solução do cliente.

Os principais benefícios enunciados pelo fornecedor são:

- Gama alargada de viscosidade, temperatura e pressão.
- Alta eficiência devido à modificação das tolerâncias em linha com a aplicação.
- Precisão no volume deslocado.
- Resistência à corrosão.
- Fiabilidade e longevidade.

A tabela seguinte apresenta os limites de aplicação para determinadas variáveis como viscosidade, temperatura, pressão e fluxo.

Tabela 3.2 - Limites de aplicação para as bombas da série “cinox therminox”.

Viscosidade	0,3 a 4000 Pa.s
Temperatura	-30 a 320°C
Pressão sucção	Até 65 bar
Pressão descarga	Até 200 bar
Fluxo	0,1 a 2400 l/min

O fluxo já calculado anteriormente, insere-se no intervalo apresentado pelo fornecedor. O valor de referência da viscosidade já discutido anteriormente de 1000 [Pa.s] e o valor de referência da temperatura também se insere no intervalo apresentado na tabela.

Na tabela, em anexo, é apresentada a capacidade teórica de doseamento em função do tamanho pretendido da bomba e a sua rotação.

A **cilindrada da bomba selecionada** baseia-se no gráfico apresentado anteriormente pelo fabricante Witte pumps & technology, no qual o autor selecionou a bomba com cilindrada de **10,2 cm³**, que corresponde ao tamanho 28/28 do fornecedor MAAG.

3.2.2 Escolha da bomba de doseamento

Ambos os modelos das bombas de doseamento selecionadas da Witte e da Maag são opções viáveis e que correspondem aos requisitos do sistema. A escolha do autor recai sobre a bomba da **Maag: Cinox therminox 28/28**.

3.2.3 Escolha do servomotor e respectiva caixa redutora

Para dimensionar o servomotor é necessário calcular o binário resistente que a bomba doseadora necessita de vencer, sendo que o servo tem de ter uma capacidade de binário superior. Através da equação 3.4, obtém-se o binário resistente. Considera-se um diferencial de pressão da bomba doseadora de 100 bar (valor obtido internamente pela empresa) e a cilindrada da bomba selecionada de 10,2 cm³.

$$\text{Binário absorvido [N.m]} = \frac{\Delta\text{pressão [bar]} \times \text{Cilindrada bomba [cm}^3\text{]}}{10 \times 2\pi} \quad (3.4)$$

O binário absorvido é cerca de 16,2 N.m, o que implica a seleção de um conjunto de servo com caixa redutora que possua um binário superior.

Tendo em conta os intervalos de velocidades de rotação da bomba selecionada acima descritas, se for selecionado um servo com uma velocidade nominal de 3000 rpm e arbitrando uma **caixa redutora de 10:1**, resulta que o servo funcionará com velocidades de rotação de aproximadamente 441,867 e 1810 rpm para as medidas mínima, de referência e máxima, respetivamente.

O servomotor escolhido tem de ter um binário superior ao calculado através da equação 3.5.

$$\text{Binário servo [N.m]} > \frac{\text{binário absorvido [N.m]}}{\text{razão transmissão}} \quad (3.5)$$

Se considerar um coeficiente de 2 por efeitos de perdas e incerteza da viscosidade do material a manusear, o binário do servomotor tem de ser superior a 3,2 N.m

O servomotor selecionado, tendo em conta o binário necessário, foi um servomotor da **Siemens** da série **1FK7**. O servomotor tem um binário nominal de 4,7 N.m. O modelo tem a designação de **1FK7060-5AF71**.

3.3 Cabeça de aplicação desenvolvida

Como já referido anteriormente, a cabeça de aplicação tem de ser capaz de ser alimentada através de dois sistemas, possuir capacidade de abertura e fecho do bico e manter a temperatura de trabalho.

Há que ter em conta que a cabeça de aplicação tem de aplicar o vedante junto à superfície interior do pneu e não induzir qualquer colisão com o pneu tanto durante o processo de aplicação como na entrada ou saída da zona do pneu.

Para a abertura e fecho do bico foi decidido fazer essa atuação pneumáticamente, por ser a forma mais simples e eficiente para efetuar um movimento linear que só possui dois estados.

A decisão do autor passou pela seleção de um **cilindro pneumático** capaz de efetuar o movimento desejado. É necessário estimar a força de fecho para seleção do cilindro pneumático. Partindo do pressuposto que o passo da ferramenta será de cerca de 10 mm, assume-se uma área circular de referência para fecho com um diâmetro de 10 mm. Assumindo que a pressão de pico na zona de fecho não excederá os 100 bar (valor obtido por informação interna da empresa), a força de fecho é dada pela equação 3.6.

$$\begin{aligned} \text{Força}_{\text{fecho}} &= A_{\text{projetada}} \times \text{Pressão} \\ &= \pi \times 0,5^2 \times 100 \\ &\cong 78,54\text{Kg.f} \cong 770,2\text{N} \end{aligned} \quad (3.6)$$

O autor selecionou a **Festo** como fornecedor do atuador pneumático, por ser um fornecedor a qual a empresa Gislótica normalmente recorre. Tendo como base a força de fecho necessária e que a sua altura tem de ser reduzida devido a evitar colisões com o pneu, a escolha recaiu sobre um atuador normalizado e compacto. A Festo possui uma categoria designada de **ADN**, que são atuadores compactos de dupla ação e no qual possui uma gama de força teórica desde 51 a 7363 N.

A figura 3.17 mostra a força teórica do cilindro ADN para o avanço e para o fecho dependendo do diâmetro do êmbolo. Tendo como base a força de fecho calculada, o cilindro selecionado foi o cilindro com 50 mm de diâmetro pois é o que possui força de fecho superior à calculada.

O fabricante tem várias variantes modulares para este cilindro que se pode escolher para

Forces [N] and impact energy [J]											
Piston Ø	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
Theoretical force at 6 bar, advancing											
-	68	121	188	295	483	754	1178	1870	3016	4712	7363
S1	-	-	-	295	-	754	-	1870	-	4712	-
S2	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	7069
Theoretical force at 6 bar, retracting											
-	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	7069
S1	-	-	-	247	-	633	-	1681	-	4417	-
S2	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	7069

Figura 3.17 - Força teórica do avanço e fecho do cilindro ADN da Festo.

adaptações dependendo da aplicação. Devido à aplicação exigir temperaturas de até 100°C, o cilindro ADN padrão não é capaz de suportar estas temperaturas devido aos seus vedantes que têm uma temperatura de operação com um máximo de 80°C, segundo o fabricante. É necessário selecionar uma variante que o fornecedor disponibiliza para vedantes resistentes a temperaturas até 120°C, que tem como designação “S6”, que está disponível para o cilindro ADN com 50 mm de diâmetro.

O corpo desenvolvido para transporte do material vedante que possui as conexões às mangueiras encontra-se representado na figura 3.18, no qual é acoplado ao robô através da furação superior. Possui duas entradas com rosca de 3/4” para as mangueiras e o seu material é aço Ck45. No caso desta aplicação como o material a dispensar é o mesmo, só irá ter uma tubagem conectada, mas com estas duas entradas permite caso seja necessário, a conexão de duas mangueiras com materiais diferentes que se misturarão no corpo desenvolvido.

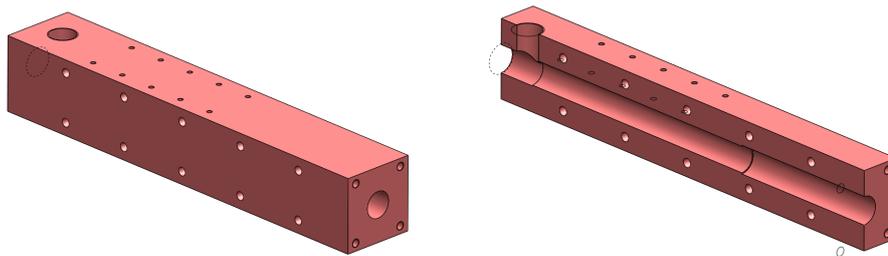


Figura 3.18 - Corpo de entrada do material da cabeça de aplicação.

No seu interior há uma redução de diâmetro para possível alojamento de um misturador estático, caso este corpo seja utilizado para ter entrada de dois materiais distintos no qual exige a sua mistura no interior do corpo.

Os misturadores são capazes de misturar materiais com viscosidades ou fluxos iguais ou diferentes. O *design* e o número de elementos do misturador necessário para cada aplicação

específica depende dos requisitos do sistema ou processo com consideração do grau de mistura necessário, das limitações de queda de pressão e das propriedades do fluido.

O fornecedor Stamixco recomenda o uso de misturadores para aplicações de extrusão. São instalados diretamente antes da zona de aplicação. Realizam a homogeneização dos materiais mesmo antes da formação do produto final. Esta homogeneização é atingida por uma contínua divisão e recombinação dos diferentes materiais enquanto percorrem a geometria dos elementos do misturador. Caso seja necessário o uso do misturador, a escolha recai sobre o modelo **SMB-GXS-8**, representado na figura 3.19.

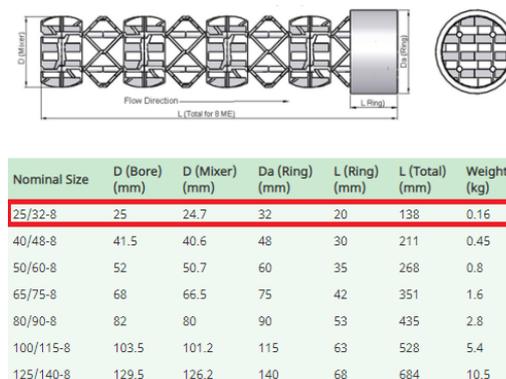


Figura 3.19 - Medida do misturador para aplicações de extrusão.

Na parte frontal do corpo vai ser acoplado um bloco espaçador (figura 3.20), cujo seu material é de aço inoxidável AISI 304 no qual vai estar colocado o cilindro pneumático e o bico de deposição do material, na parte superior e inferior, respetivamente.

Como o cilindro pneumático está em contacto com o corpo que transporta o material e para reduzir o seu aquecimento foi necessário uma flange de espaçamento para isolamento do mesmo. Para escolha do material recorreu-se ao fornecedor Polylenema, que atua no comércio de plásticos de engenharia e alumínio técnicos.

O material tem de ser disponibilizado em placa para maquinar e possuir características de isolamento térmico. Perante a gama de plásticos de engenharia, o material escolhido tem a designação de “**Ketron Peek 1000**”. A característica que foi determinante para a sua escolha foi por ser um plástico semi-cristalino, que tem uma amplitude de temperatura de -50°C a +250°C. Possui alta resistência mecânica, rigidez também a temperaturas elevadas, excelente resistência ao desgaste e é usado normalmente para isoladores de altas temperaturas.

Para evitar que o material vedante entre em contacto com o cilindro foram desenhadas duas cavidades na flange de Peek para o alojamento de vedantes.

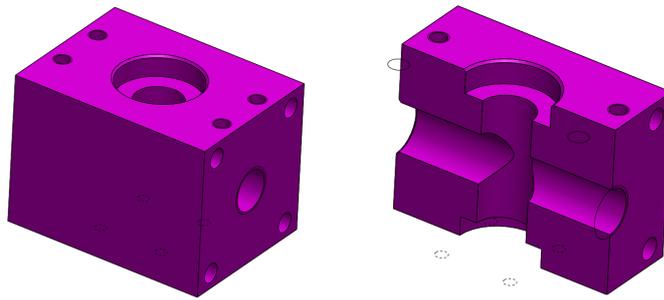


Figura 3.20 - bloco espaçador para acoplamento do bico de aplicação.

A vedação da haste foi projetada para garantir que com o deslocamento da haste, o fluido pressurizado não passe e entre em contacto com o cilindro. Existe uma vasta gama de vedantes de haste para aplicações específicas feitas de elastómeros de alto desempenho e plásticos de engenharia para oferecer a máxima durabilidade e desempenho da vedação.

O modelo escolhido é designado **T20 16 24 5.7** da **Freudenberg Sealing Technologies**, da que se encontra representado na figura 3.21. Este modelo é um vedante com a aba chanfrada e é um vedante de simples ação. Insere-se na categoria dos vedantes de longa durabilidade.



Figura 3.21 - Modelo escolhido para o vedante de haste.

Normalmente o primeiro vedante a evitar a passagem de componentes não desejados são os vedantes designados por raspadores. A principal função dos vedantes raspadores é evitar que entrem contaminantes no sistema. Estes contaminantes podem causar danos no veio, paredes do cilindro, vedantes ou outros componentes, no qual é uma das principais causas da falha prematura dos componentes. Normalmente, a falha da vedação da haste é um resultado rápido da falha do vedante raspador.

O vedante raspador escolhido foi do fabricante **Freudenberg Sealing Technologies** do modelo designado “**Wiper PU 5 16 24 7**”, que é recomendado pelo fabricante para, por exemplo, máquinas de injeção.

Estes vedantes têm de ser de um material que suporte a temperatura de trabalho do vedante e seja um elastómero comum. Através do gráfico da figura 3.22 é possível observar a gama de temperaturas dos elastómeros mais comuns.

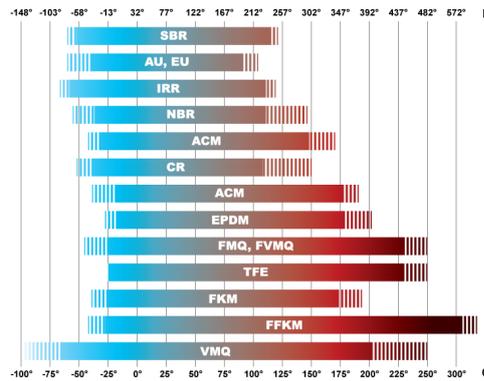


Figura 3.22 - Gama de temperaturas dos elastômeros mais comuns.

O material do vedante escolhido foi o **FKM** (fluoreto de carbono), devido a ser um material dos mais comuns nos fabricantes de vedantes para uso com materiais quimicamente mais agressivos e/ou altas temperaturas. O material FKM encaixa na gama de temperaturas requerida.

Para o uso dos vedantes na flange foi necessário estender a haste do êmbolo, que é um módulo disponibilizado pela Festo designado “**K8**”. A extensão da haste foi cerca de 30 mm.

Na figura 3.23 está representado o cilindro pneumático com a flange de Peek acoplado ao bloco espaçador.

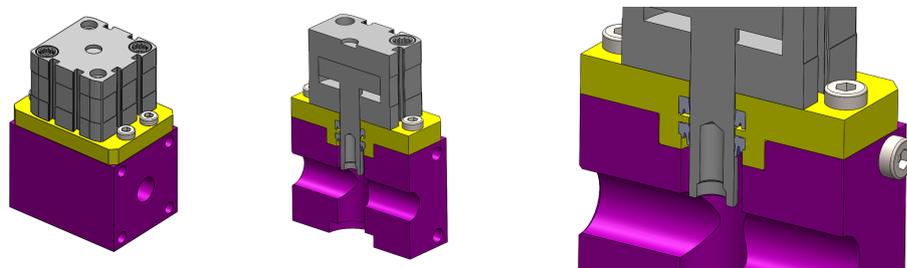


Figura 3.23 - Cilindro pneumático e a flange Peek acoplado ao bloco espaçador.

Acoplado à parte inferior do bloco espaçador, encontra-se o corpo do bico de aplicação que está representado na figura 3.24. Este corpo representado a vermelho é responsável pela condução do material até ao bico de aplicação representado a verde. O corpo é obtido através de um tubo sem costura de aço inox AISI 304. O bico de aplicação, também em aço inox AISI 304 representado a verde é roscado para fácil troca entre diferentes formatos de bico. Na montagem deste conjunto primeiramente é apertado o bico de deposição ao corpo e só depois é acoplado ao bloco espaçador para se conseguir colocar o bico na posição pretendida para uma correta saída do material em relação ao piso do pneu. O o-ring selecionado é da SKF **23,47x2,62-V-7503**.

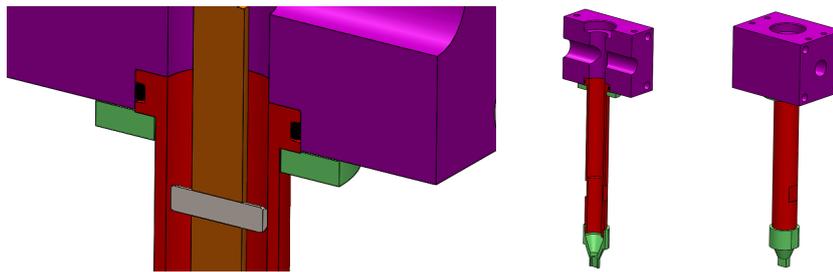


Figura 3.24 - Corpo do bico de aplicação.

A figura 3.25 representa o corpo de aplicação em corte, onde o veio (representado a castanho) que está conectado ao cilindro pneumático, é responsável pela abertura e fecho do bico. O veio tem 11 mm de diâmetro e possui a ponta arredonda para um melhor fecho. O material do veio é aço inox AISI 316, que é um aço recomendado para aplicações que requerem elevada resistência à corrosão.

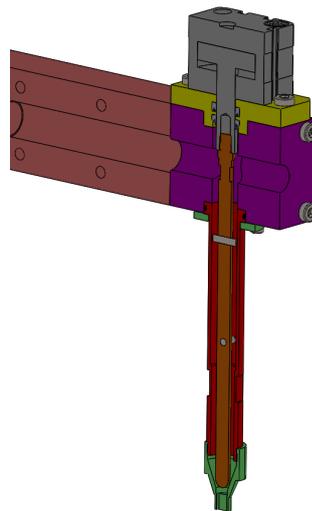


Figura 3.25 - Corpo de aplicação em corte.

A área circular interior que entra em contacto com o mesmo, que efetua o fecho do bico tem um diâmetro de 10mm. O veio tem dois furos para o uso de duas cavilhas para obter um melhor guiamento ao longo do movimento em relação ao bico.

O curso do cilindro é de 5mm, que é um curso suficiente para que em estado de abertura exista um bom fluxo de material e, por outro lado um fecho rápido devido ao seu curto percurso.

Na figura 3.26 é apresentado com detalhe o estado de abertura e fecho do bico de aplicação.

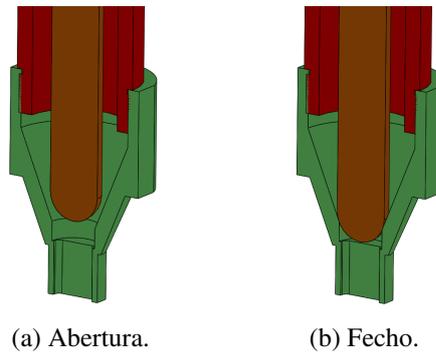


Figura 3.26 - Abertura e fecho do bico de aplicação.

Na figura 3.27 são apresentadas as cotas de atravancamento que foi necessário respeitar para evitar colisões com qualquer pneu. A cota de 370 mm corresponde à maior largura possível do pneu para que seja possível chegar ao ponto mais distante de deposição do material. Tendo em conta a maior cota da altura da secção de um pneu e a ferramenta estar no máximo a um ângulo de 30° em relação à perpendicular do piso foi definida a cota mínima de 185 mm definida na figura 3.27. A cota da altura total da cabeça de aplicação máxima foi obtida tendo em conta o valor mais pequeno da jante do pneu a utilizar, possibilitando a cabeça de aplicação entrar dentro do pneu evitando qualquer colisão.

Na figura 3.28 são apresentadas as cotas de atravancamento finais e conclui-se que as cotas mínimas foram integralmente cumpridas.

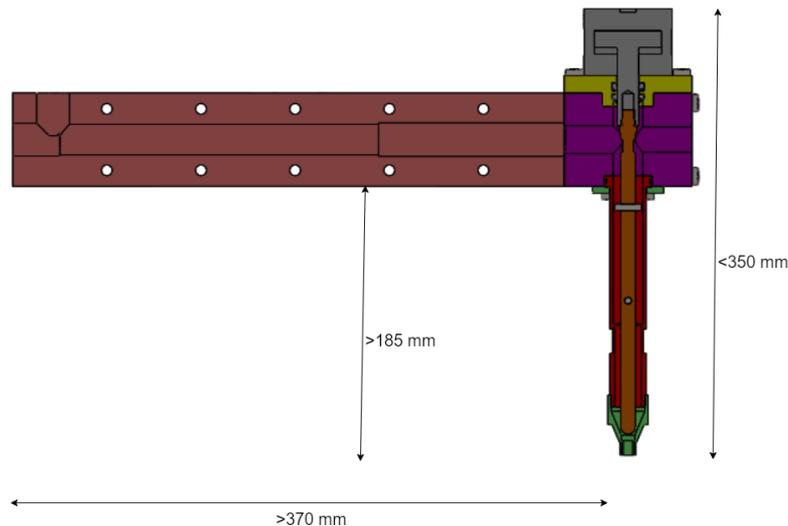


Figura 3.27 - Cotas de atravancamento a cumprir.

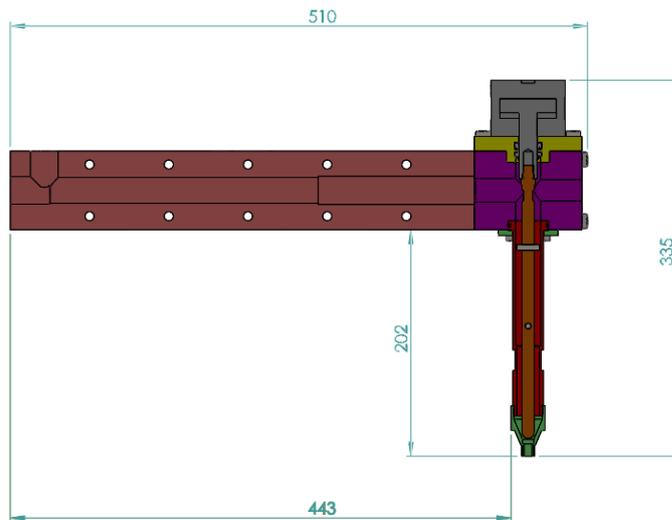


Figura 3.28 - Cotas de atravancamento finais.

3.4 Medição do caudal debitado pela bomba de doseamento

É necessário medir o caudal originado pela bomba de doseamento a fim de controlar a quantidade de material pretendida.

O fabricante **VSE.flow** desenvolve e produz dispositivos de medição de caudal de alta precisão para uma vasta gama de meios bombeáveis.

O fabricante VSE.flow recomenda o uso da **série “RS”**, que são caudalímetros de parafuso helicoidal para aplicações de sistemas hidráulicos, alta viscosidade, adesivos abrasivos e substâncias vedantes.

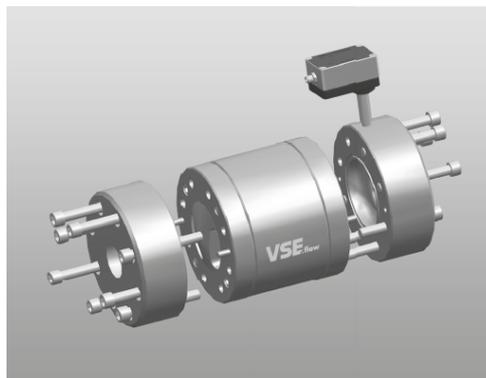


Figura 3.29 - Ilustração caudalímetro VSE.flow. [27]

Tem como principais características:

- Fluxos de 0 a 3000 l/min;
- Gama de pressões até 450 bar;
- Gama de temperaturas de -30 a +120°C (-40 a 200°C com sistema sensor alta temperatura);
- Gama frequência até 100 kHz;
- Gama viscosidades de 1 a 1000000 cSt. [28]

Os caudalímetros de parafuso helicoidal medem o fluxo de material baseado no princípio da bomba de parafuso. Um par de rotores inseridos no alojamento constituem o elemento de medição. Uma engrenagem integrada e um sistema de sinal deteta a rotação do elemento de medida e converte-o em sinais digitais.

O volume de fluido colocado dentro de um rotor principal é o volume de rotação, que é dividido pelo sensor e converte em sinais digitais, processado e gera uma saída no módulo do sensor.

As vantagens do uso de caudalímetro de parafuso helicoidal são:

- Alta precisão praticamente independente da viscosidade;
- Medição sem pulsação e precisão com tensão tangencial mínima;
- Baixas perdas de pressão;
- Funcionalidade máxima graças à tecnologia de sensor inteligente;
- Baixo tempo de resposta devido às baixas massas.

3.4.1 Descrição do sistema do sensor

O sistema de aquisição sem contacto consiste em duas “GMRbridges” (sen/cos), localizadas na unidade do sensor. Deteta o movimento do sensor engrenagem e direciona os sinais sen/cos para o pré-amplificador eletrónico. O pré-amplificador digitaliza e amplifica os sinais do sensor e multiplica-os através de um interpolador de alta resolução usando configurações ajustáveis.

Os sinais de onda quadrada são bidirecionais e podem ser utilizados por qualquer instrumento de avaliação, como por exemplo, controladores programáveis. A resolução é selecionável em etapas do fator de 1 a 128.

Um filtro de pulso ajustável pode compensar e suprimir fluxos negativos (gerados por vibrações, por exemplo). A frequência dos sinais de saída é proporcional ao fluxo, e depende das respetivas medidas do caudalímetro.

O interpolador ajustável pode ser usado para ajustar a resolução à avaliação conectada a jusante da unidade para obter resultados de medição precisos do sistema.

O pré-amplificador é protegido contra inversão de polaridade e conexão incorreta.

O volume de fluido passa através de uma divisão da engrenagem da roda sensorial e é dividida pelo fator de interpolação definida. Isso forma o volume de medição por pulso (V_m) com a unidade definida [cm^3/pulso]. A frequência dos sinais de saída pode ser calculada pela equação 3.7.

$$f = \frac{Q}{V_m} \times \frac{1000}{60} \quad (3.7)$$

A equação 3.8 pode ser usada para determinar a correspondente resolução ou o correspondente IPF máximo para a respectiva aplicação. O IPF escolhido não deve ser maior que o calculado.

Os fatores ajustáveis de interpolação são: 1, 2, 5, 10, 25, 32, 50, 64, 100, 128.

$$IPF \cong \frac{f_{\text{máx}} \times V_{m_{IPF1}} \times 60}{Q_{\text{máx}} \times 1000} \quad (3.8)$$

3.4.2 Escolha do caudalímetro

Perante a informação apresentada sobre os caudalímetros da VSE.flow a escolha recaiu sobre o caudalímetro de tamanho RS40.

O fator de interpolação escolhido é o máximo disponível, que é de 128, pois há capacidade para a frequência resultante que aplicando a equação acima dá 12487 Hz para um caudal máximo. O material do caudalímetro é aço inoxidável. O material dos vedantes é o standard disponibilizado (FPM).

Posto isto, o caudalímetro selecionado é da **VSE.flow** cujo modelo é o **RS40**, de referência **RS 40/128 ERO 62V – ARE 40-F-V-2-1-1**.

3.5 Aquecimento do sistema

Neste subcapítulo é apresentado as várias escolhas para os diferentes constituintes do sistema de modo a manter a temperatura do vedante constante ao longo do sistema.

3.5.1 Aquecimento do bidão de 200 litros

É necessário aquecer o reservatório de 200l onde se encontra o material a depositar.

Os requisitos que o aquecimento do bidão tem de cumprir são:

- Temperatura de trabalho em contínuo até 100°C;
- Capacidade de controlo da temperatura;
- Capacidade de uma distribuição uniforme da temperatura do material;
- Fácil montagem e desmontagem de modo a facilitar uma rápida troca de bidões.

O fabricante SAF WARMETECHNIK fornece sistemas de aquecimento para bidões standard de 200 litros com diferentes variações, com ou sem controlo de temperatura. São disponibilizadas soluções simples, modulares ou integradas com outros sistemas e também disponíveis em várias configurações. Podem também ser combinadas com um aquecimento da base para uma redução do calor perdido ou para um mais rápido aquecimento.

Tendo em conta os requisitos acima mencionados, o modelo selecionado deste fabricante foi o “**KM-HJD-250S**” representado na figura 3.30. Este modelo é caracterizado pela sua flexibilidade e fácil manuseio, com manta de aquecimento para bidões standard de 200 litros. Tem um design que permite uma fácil montagem e desmontagem, não necessitando de isolamento térmico adicional. Proporciona um aquecimento homogéneo ao longo da superfície do bidão devido ao facto de a manta cobrir toda a sua área. Em termos de controlo de temperatura, permite regulação entre 0 e 200°C. Necessita de ser alimentado eletricamente a 230 V AC.

O fabricante Rimatek disponibiliza aquecimento da base do bidão em chapa de aço de forma da base do bidão, que pode ser usado como uma solução independente ou combinado com uma manta de aquecimento ou uma manta de isolamento. A temperatura da base de aquecimento é ajustada de 0 a 150°C dependendo do modelo.

O modelo selecionado tem a designação de “**PEFU.C**” e está representado na figura 3.31.

As principais especificações da base de aquecimento é o controlo de temperatura entre 0 a 150°C. Tem de ser alimentado com 230 V AC. Possui uma construção em chapa de 55 cm

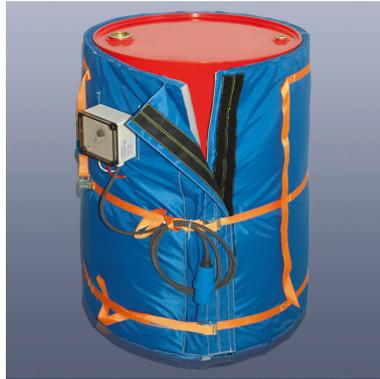


Figura 3.30 - Modelo para aquecimento do bidão 200 litros. KM-HJD-250S.

de diâmetro e 9 cm de altura. Possui um conector para controlador eletrônico. Permite uma capacidade máxima de 300kg.



Figura 3.31 - Modelo para aquecimento da base do bidão 200 litros. PEFU.C.

3.5.2 Mangueiras de aquecimento flexíveis

O transporte do material após a saída da bomba de alimentação até à bomba de doseamento e a jusante do caudalímetro até à cabeça de aplicação requer que a estrutura escolhida possua flexibilidade suficiente para a variação de cotas imposta pelo deslocamento do prato pressor e os movimentos do robô. A escolha recai sobre a utilização de mangueiras flexíveis que suportem a temperatura requerida, no qual seja garantida uma temperatura constante do material transportado até ao local da aplicação.

Na figura 3.32 é apresentado uma representação de um exemplo standard de uma mangueira de aquecimento do fabricante OGAN. Podem existir diferenças, dependendo do tipo de mangueira ou aplicação.

Segundo a OGAN, as suas mangueiras de aquecimento standard são constituídas por uma mangueira interna em PTFE que está em contacto direto com o material a ser transferido. Para

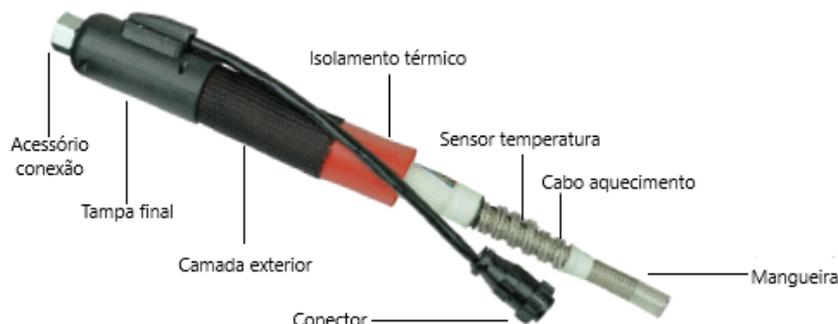


Figura 3.32 - Representação de um exemplo de mangueira de aquecimento flexível.[29]

aplicações com necessidade de resistência a alta pressão são usadas mangueiras de PTFE com malha reforçada. Este tipo de mangueira transfere o produto aquecido até 500 bar.

O elemento de aquecimento é aplicado corretamente à volta da mangueira para fornecer uma densidade de calor precisa e uniforme em cada ponto da mangueira.

As mangueiras de aquecimento possuem um **sensor integrado**, que podem ser do tipo PT100, Ni120, NTC, termopar tipo J ou K, PT1000.

O material de isolamento é aplicado para reduzir ao mínimo a perda de calor e garantir que o sistema atinja a temperatura especificada. A camada de proteção externa atende aos requisitos de flexão estática e dinâmica e garante que o material de isolamento e os elementos de aquecimento permaneçam intactos.

Na tabela 3.3 são apresentadas as principais especificações das mangueiras de aquecimento standard.

Tabela 3.3 - Principais especificações das mangueiras de aquecimento standard.[29]

Máx. temperatura trabalho	250°C
Tensão	24 V - 230 V 50/60 Hz
Mangueira interna	PTFE T1-T2-T3-TW4-T5
Acessórios	Padrão universal UNF, Metric, BSP
Isolamento térmico	Aramida + Espuma silicone
Camada proteção externa	Poliamida, PU, silicone, malha aço inoxidável
Tampa final	Tampa rígida, silicone
Sensor temperatura	Fe-CuNi (J); NiCr-Ni (K), PT100; Ni120, NTC, PT1000
Conector	Padrão universal
Diâmetro mangueira interior	5,6,7,8,10,13,16,20,25,32,40,50 mm

A OGAN recomenda um tipo de mangueiras de aquecimento para a indústria automível para aplicações robotizadas. Tem a designação de “RB400 Series”.

A mangueira de PTFE é uma mangueira flexível adequada para condições de trabalho móveis e alta pressão, adequada para materiais aquecidos e todos os produtos químicos com uma estrutura interna lisa.



Figura 3.33 - Representação do modelo RB400 Series, recomendado para a indústria automível.[29]

É totalmente compatível com sistemas de marcas como SCA Schucker, Nordson e Graco que produzem aplicações de vedantes quentes, equipamentos de sistemas de doseamento robotizados para tecnologias de automação e indústria automível. Na tabela C.6 é apresentado as principais especificações de mangueiras do tipo “RB400 Series”.

A mangueira interna T2 possui uma estrutura interna plana de PTFE, coberto com uma camada dupla de malha de aço inoxidável. A mangueira interna T3 possui uma estrutura interna plana de PTFE, coberto com folha aço dupla e uma camada de malha de aço. Tem a capacidade de operar com uma pressão superior em comparação com T2.

Perante as características apresentadas anteriormente, a mangueira selecionada do fabricante OGAN foi da série “RB400 Series”. A mangueira interna é do tipo T3 com um diâmetro nominal de 25 mm, que foi selecionado devido a ser um valor próximo do diâmetro da saída de material da bomba de alimentação. A camada de proteção externa é de poliamida pois é bastante flexível, resistente ao esmagamento, livre de halógenos e é recomendado para aplicações em robôs. O tipo de sensor selecionado da mangueira é do tipo PT100.

O fabricante Winkler oferece uma vasta gama de mangueiras de aquecimento flexíveis.

Possuem uma série designada “WSKW” que é o mais apropriado para transporte de líquidos ou materiais viscosos. Dependendo do tipo da camada de proteção externa, é ideal para instalações fixas ou dinâmicas para elevadas cargas mecânicas.

Para esta série a camada de proteção externa *standard* é uma camada “enrugada” de poliamida.

Para a escolha da mangueira interna tem de se seleccionar a mangueira em PTFE que para a pressão operacional dinâmica seja superior a 100 bar para uma temperatura perto dos 100°C (valor obtido pelo conhecimento interno da empresa). Para um diâmetro nominal de 25 mm, devido a ser um valor próximo do diâmetro de saída de material da bomba de alimentação, o **tipo T3** é o que cumpre os requisitos de pressão, como se pode observar na figura 3.34, na qual apresenta os valores de pressão máximos de operação dinâmica do tipo T3 de mangueira interna.

Temperatura trabalho	DN 4	DN 6	DN 8	DN 10	DN 13	DN 16	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40
24 °C	—	315	299	284	252	252	189	173	158	—
100 °C	—	299	284	269	239	239	180	165	150	—
150 °C	—	284	269	255	227	227	170	156	142	—
200 °C	—	261	248	235	209	209	157	144	131	—
bis 250 °C	—	236	224	213	189	189	142	130	118	—

Figura 3.34 - Valores de pressão máximos de operação dinâmica do tipo T3.[30]

A tensão de 230 VAC – 50 Hz e o sensor de temperatura PT100 é o disponibilizado na versão *standard*.

A tampa final pode ter vários formatos da posição de saída do cabo como mostra a figura 3.35. O tipo 1 é o *standard*, mas o tipo 5 também é uma opção viável devido à necessidade da saída do cabo não interferir com outros elementos, como por exemplo, na conexão da mangueira flexível à saída da bomba de alimentação.



Figura 3.35 - Formatos da tampa final. [30]

Perante as características apresentadas anteriormente, o modelo seleccionado do fabricante Winkler é designado por **WSKW2103-230XP025-4000STND**.

O fabricante Hillesheim também fornece mangueiras de aquecimento flexíveis. As opções são praticamente as mesmas que o fabricante OGAN e Winkler.

3.5.2.1 Mangueira de aquecimento flexível selecionada

Os fornecedores apresentados para a escolha da mangueira de aquecimento possuem o mesmo tipo de oferta, por isso são ambas as opções viáveis. A escolha do autor recaiu sobre a mangueira de aquecimento da Winkler: **WSKW2103-230XP025-4000STND**.

3.5.3 Aquecimento da cabeça aplicação

Foi projetado realizar o aquecimento do corpo da cabeça de aplicação com **cartuchos de aquecimento**.

Os cartuchos de aquecimento são inseridos nos 10 furos, que estão representados na figura 3.36, distanciados de 70 mm e de 46 mm, em comprimento e altura entre si, respetivamente. Os furos têm uma tolerância H7 que é o recomendado pelo fabricante.

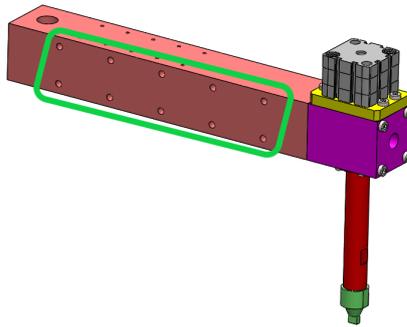


Figura 3.36 - Localização dos cartuchos de aquecimento.

Consultando os vários diâmetros, comprimentos e potências disponíveis a escolha do autor recaiu sobre um cartucho com 8 mm de diâmetro, comprimento de 60 mm e uma potência de 125 W, designado por **H8x60x125**. Para a proteção dos fios dos cartuchos, foi escolhido a conexão designada CCT.3 tipo A, que é uma proteção de malha aço.

3.5.4 Aquecimento da tubagem e restantes componentes

O aquecimento da tubagem e restantes componentes é realizado através de mantas de aquecimento que são fornecidas tendo em conta os formatos e tamanho dos componentes a aplicar.

As mangas de aquecimento fornecem ótima transferência de calor com boa distribuição de calor. São muito flexíveis graças a segmentos feitos sob medida e podem ser produzidos para combinar qualquer formato. As mangas de aquecimento com isolamento térmico integrado são fáceis de aplicar e remover, o que reduz consideravelmente as despesas gerais de instalação e manutenção.

Vantagens do uso de mantas de aquecimento:

- Removível e substituível;

- Fácil e rápida montagem;
- Baixa manutenção;
- Aplicações com altos requisitos técnicos;
- Longa vida útil;
- Fácil adaptação de acordo com o reservatório, tubagem, bomba ou qualquer outro componente;
- Larga gama de temperaturas de operação;
- Ótima distribuição do calor com sensor de temperatura integrado.

As mangas de aquecimento consistem em materiais têxteis que estão em contacto com o objeto que está a ser aquecido. A seleção do material depende das condições de uso, que incluem a temperatura operacional e o local a ser aplicado. Na figura 3.37 estão apresentados os vários componentes que formam uma manga de aquecimento. Este exemplo é apresentado com diferentes combinações do material exterior utilizado.

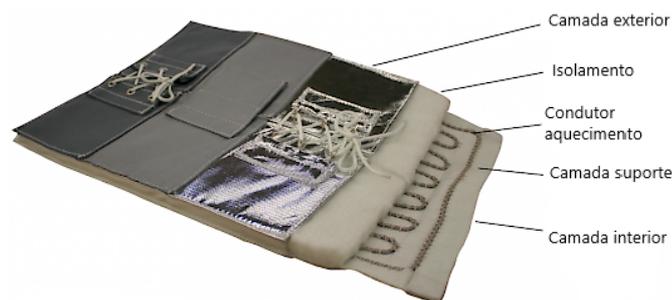


Figura 3.37 - Manga aquecimento com diferentes exemplos de camadas exteriores.

Na figura 3.38 temos os exemplos de mangas de aquecimento do fabricante SAF. Eles fornecem mantas de aquecimento que são normalmente usados em processos térmicos industriais e que são para as mais diversas formas e aplicações. Segundo o fabricante os produtos são projetados e produzidos à mão para um excelente encaixe na peça a ser aquecida.

No caso do fabricante SAF a escolha da manga de aquecimento para a tubagem recai no modelo designado “KM-HJ-CF5” para temperaturas até 250°C. A camada exterior, interior e de isolamento são de fibra de vidro. A camada exterior pode ter um revestimento de alumínio ou de PTFE. O sensor de temperatura é um PT100.

O fabricante Winkler também disponibiliza uma alargada gama de opções para mangas de aquecimento.

Segundo o fabricante a série adequada à aplicação tem a designação “WOT” que permite temperaturas de trabalho até 250°C. Possui o elemento de aquecimento com isolamento em

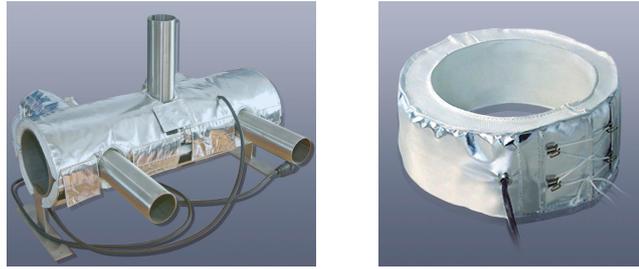


Figura 3.38 - Exemplos de mangas de aquecimento do fabricante SAF.

PTFE. A escolha da camada exterior pode ser um revestimento de alumínio ou em PTFE. O material isolante é uma camada de fibra de vidro e a sua espessura standard é de 40 mm. A forma escolhida para fecho da manga é usando ganchos de aço e cordões ou recorrendo a fitas de velcro.

3.6 Dimensionamento da tubagem do sistema

O sistema é alimentado pela bomba *chop-check* que tem um orifício de roscado 1"NPT e que está conectado à mangueira flexível DN25 já selecionada da Winkler. A mangueira flexível desde a bomba de alimentação até à entrada da bomba de doseamento tem cerca de 4 metros de comprimento. A distância desde jusante do caudalímetro até à cabeça de aplicação tem cerca de 3 metros de comprimento, mas tudo vai depender das posições definidas para tal.

A bomba de doseamento selecionada da Maag é de tamanho 28/28, no qual a sua entrada e saída é superior a 25 mm de diâmetro.

O caudalímetro tem as suas ligações em $G1 \cdot 1/4''$ e o *mixer* tem aproximadamente 25 mm de diâmetro interior.

A tubagem fixa para o sistema é de aço inoxidável e o diâmetro interno selecionado pelo autor foi de 25 mm. A utilização da tubagem fixa está representada na figura 3.39 a vermelho, a montante e a jusante da bomba doseadora e caudalímetro. A figura 3.39 representa o possível *layout* do sistema completo de aplicação do vedante.

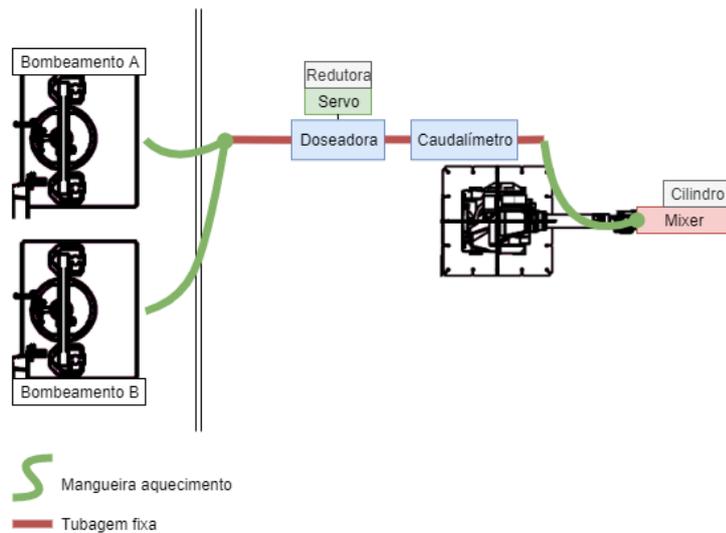


Figura 3.39 - Layout do sistema completo de aplicação vedante.

3.7 Medição da temperatura

3.7.1 RTDs

Este tipo de sensor é muito usado nos processos industriais devido às condições de alta estabilidade mecânica e térmica, baixo índice de desvio pelo envelhecimento, resistência à contaminação e tempo de vida elevado, tornando-se um padrão internacional para a medição de temperatura na gama dos -270°C aos 660°C . [31]

Trata-se da medição com recurso a termómetros de resistência com base na característica especial de condução dos materiais para alterar a sua resistência elétrica em função da temperatura. Para metais, a resistência aumenta com o aumento da temperatura. Caso a correlação entre temperatura e resistência seja conhecida, a temperatura pode ser determinada pela resistência medida.[32]

Os materiais mais utilizados para o fabrico deste tipo de sensor são a platina, cobre ou níquel, visto serem metais que apresentam características como, alto coeficiente de variação de resistência com a temperatura, rigidez e ductilidade.

Existem vários tipos de RTDs de platina (Pt 30, Pt 100, Pt 130, Pt 150, Pt1000), sendo o Pt100 o mais utilizado na indústria, devido à sua grande estabilidade, vasta gama de utilização e alta precisão. A diferença entre as várias sondas está no seu valor óhmico, na variação do valor resistivo com a temperatura.

3.7.2 Termopar

A medição de temperatura utilizando termopares baseia-se num efeito termoelétrico, o Efeito de Seebeck.

É um meio de medição que consiste em dois condutores de metais diferentes conectados entre si, constituindo uma junção.

As normas IEC 60584.1 definem os valores básicos da tensão termoelétrica e tolerâncias máximas dos termopares.

Os termopares dividem-se em dois grupos: os metais base (T, J, K, E, N) e os metais nobres (S, R, B, G, C, D), sendo o primeiro grupo o mais usual, económico e que cobre uma gama de temperatura de -185°C a $+1200^{\circ}\text{C}$. e o segundo grupo uma gama de temperatura de 0°C a 2320°C . [33].

3.7.3 Medição da temperatura do corpo da cabeça de aplicação

É necessário monitorizar a temperatura da cabeça de aplicação para controlar os cartuchos de aquecimento.

A figura 3.40 representa o local de colocação de um **RTD Pt 100** do fabricante **SAB**. Tem um diâmetro de 6 mm e possui uma gama de leitura de -50°C a 400°C . [32]

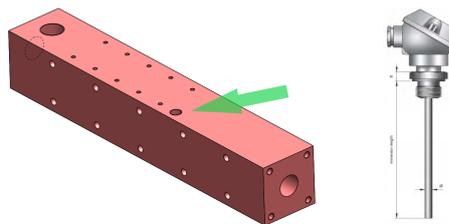


Figura 3.40 - Local de colocação de um RTD Pt100.

A variação da resistência elétrica é determinada através do fornecimento de uma corrente constante e da medição da variação da tensão decorrente. De acordo com a lei de Ohm ($U=RxI$), a resistência e a tensão são proporcionais para uma corrente constante. Existem três possibilidades de ligação para um Pt100, que foi o selecionado: 2, 3 ou 4 fios.

- **2 fios:** A conexão entre a unidade de leitura e o termómetro é feita por 2 fios. Tal como outro condutor elétrico, a resistência dos condutores de ligação é adicionada como um erro na medição. Assim, é interpretada uma temperatura mais alta pela unidade de processamento.

Dependendo do comprimento do cabo pode chegar a influenciar a medição e provocar um desvio demasiado alto para a exigência de uma aplicação.

- **3 fios:** Para minimizar a influência da resistência adicional do fio, é usado frequentemente ligação de 3 fios. Como mostra a figura 3.41, é adicionado um condutor suplementar no contacto com o RTD, criando 2 circuitos de medição, sendo um deles usado como referência. A resistência do cabo é assim compensada, desde que os 3 condutores tenham as mesmas características e sejam expostos à mesma temperatura.

- **4 fios:** A medição não é nem influenciada pela resistência dos condutores de ligação nem pelas suas flutuações dependentes da temperatura. A compensação da resistência do fio já deixa de ser necessário. O termómetro é alimentado com o circuito de medição. A queda de tensão é independente das características da linha.

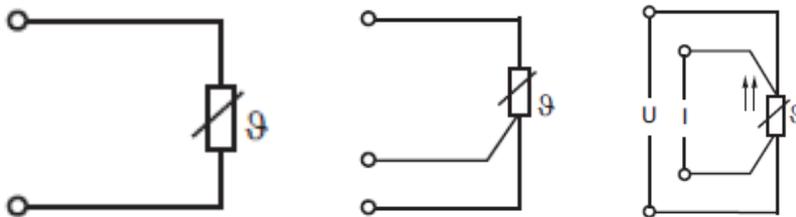


Figura 3.41 - Ligação Pt100.

A escolha recai sobre uma **ligação de 3 fios standard** da marca TekOn, cujo modelo tem por referência **SONDA BR.Pt1.1C.3.6.40.T10.13**, por ser um modelo muito usual.

3.7.4 Medição da temperatura da tubagem de circulação do material

É necessário monitorizar a temperatura do vedante ao longo da tubagem de circulação do material. A escolha do tipo de termómetro a utilizar recai sobre um termómetro de resistência pois, possuem uma melhor precisão e melhor estabilidade a longo prazo. Possuem uma melhor resistência química contra impurezas e oxidação.

O fabricante SAF WARMETECHNIK disponibiliza soluções de sensores de temperatura. A escolha mais apropriada, tendo em conta a gama de temperaturas dos sensores, recai no modelo designado “KM-TC-PT”.

Na tabela 3.4 é apresentado as especificações técnicas do sensor “KM-TC-PT”.

Tabela 3.4 - Especificações técnicas do sensor "KM-TC-PT".

Comprimento invólucro	40 mm
Diâmetro invólucro	3,5 mm
Material invólucro	V2A
Comprimento cabo	2 m
Material cabo	PTFE
Intervalo temperatura	0 - 250°C

Capítulo 4

Controlo do sistema

Neste capítulo é feita uma apresentação da solução de controlo concebido de modo a relacionar os vários subconjuntos existentes de modo a permitir que se aplique o vedante no interior de um pneu.

4.1 Controlo do caudal

Cada pneu tem uma determinada quantidade de material total a depositar. O tempo de ciclo é dado pela velocidade linear a que o bico de aplicação se desloca. O caudal de material necessário é constante e é o valor de referência para o controlo do servomotor.

Relembrando que o servomotor selecionado é da Siemens e é disponibilizado uma possibilidade de controlo de movimento recorrendo a uma **solução mais centralizada**, no qual o controlo do movimento fica a cargo do PLC, tal como o controlo lógico da aplicação. A Siemens denomina este recurso por objetos tecnológicos (“*Technology Objects*”, TO). Um objeto tecnológico possui as seguintes propriedades:

- Representa um objeto de software no controlador;
- Representa o sistema físico;
- Garante uma ligação simples do *drive*, *encoder* e os *inputs/outputs* distribuídos;
- Engloba a configuração mecânica, a monitorização e os limites do drive bem como do mecanismo associados ao movimento controlado;
- É endereçado a partir das instruções de controlo de movimento de um bloco PLCopen.

Assim, o uso de objetos tecnológicos garantem uma maneira simples e standard de usar as funcionalidades de controlo e movimento na família SIMATIC (PLC).[34]

Na figura 4.1 é possível visualizar o diagrama de controlo e o hardware responsável pelas distintas funções para a solução centralizada.

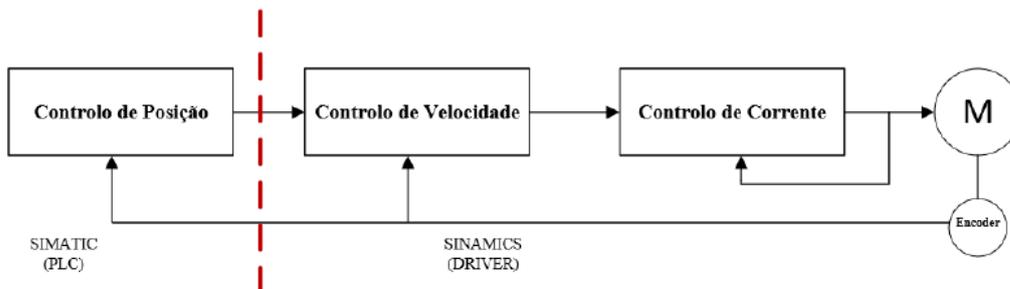


Figura 4.1 - Diagrama controlo. [34]

Para os diferentes blocos de controlo temos distintas funções. A nível do PLC, o bloco denominado “Controlo de posição” calcula o *setpoint* de velocidade, quer estejamos em controlo de posição ou de velocidade. Face ao valor calculado pelo PLC, este é enviado para o drive onde através do bloco denominado “Controlo de velocidade”, é feito o cálculo do *setpoint* de binário necessário para atingir o *setpoint* de velocidade. Assim, face ao *setpoint* de binário, é calculado o *setpoint* de corrente a fornecer ao motor, fazendo-se dessa forma também o *loop* de controlo de corrente.

O controlo do caudal é efetuado em malha fechada através do *feedback* do valor do caudal lido através do caudalímetro. O servomotor é controlado através do erro entre o caudal pretendido e o caudal lido pelo caudalímetro.

Na figura 4.2 é apresentado um diagrama de blocos relativo ao controlo do caudal.

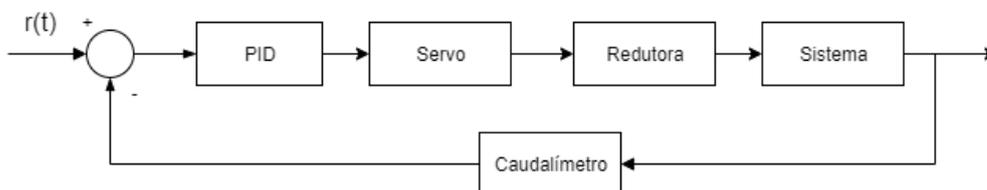


Figura 4.2 - Diagrama de blocos do controlo do caudal.

O sinal de saída proveniente do caudalímetro corresponde a um trem de impulsos digitais, pelo que é necessário utilizar uma carta de contagem rápida para fazer a leitura dos mesmos. Foi selecionado um contador 24V/100kHz da Siemens.

Na figura 4.3 está representado o esquema dos elementos para controlo de caudal.

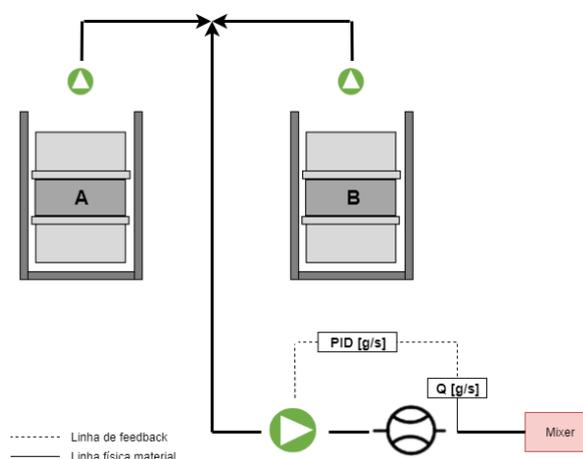


Figura 4.3 - Esquema dos elementos para controlo caudal.

4.2 Pressão do sistema

É necessário monitorizar o valor da pressão a montante da bomba de doseamento, que é apresentado de seguida.

4.2.1 Monitorização da pressão do sistema

É necessário colocar sensores de pressão a montante e a jusante da bomba de doseamento, para uso dos valores de pressão a montante para *feedback* de controlo da bomba de bombagem. Segundo o fabricante Gefran o ideal para aplicações de extrusão e injeção são designados "sensores de pressão de *melt*", transdutores e transmissores de alta pressão para altas temperaturas, que estão disponíveis nas versões com enchimento de mercúrio, com fluido aprovado FDA e sem fluido.

O uso de fluido de enchimento trata-se da designada tecnologia extensométrica, no qual o seu princípio de funcionamento consiste na transmissão hidráulica da pressão através dos líquidos de enchimento de baixo coeficiente de compressibilidade: mercúrio (disponível apenas nos casos permitidos pela Diretiva Europeia 2011/65/EU – RoHS II), óleo diatérmico aprovado FDA e mistura de sódio-potássio. O fabricante Gefran define como série M, série W e série K, respetivamente.

Todo o *design* é com fim de transferir a pressão exercida pelo meio na membrana de contacto para a parte do transdutor, ou seja, a membrana de medição no qual se encontra o extensómetro, tendo o cuidado de a manter distante da fonte de calor. O extensómetro converte o valor físico da pressão em sinal eléctrico.

O não uso de fluido para a medição é graças à designada tecnologia piezorresistiva. Os inovadores sensores IMPACT, tecnologia de propriedade Gefran, são transmissores de pressão, sem fluido de transmissão, na qual a pressão do meio é transferida directamente para o elemento sensível de silício, através de uma membrana de grande espessura.

Os transdutores de pressão da Gefran para altas temperaturas estão disponíveis em quatro configurações diferentes como é apresentado na figura 4.4, que são haste rígida, revestimento flexível, flexível com termopar ou capilar exposto.



Figura 4.4 - Tipos de transdutores de pressão de Gefran.

Os sensores de pressão de melt (séries M/W/K/I) estão equipados com a função de auto-zero que permite eliminar as variações de sinal ligadas a um efeito térmico, antes de colocar sob pressão o sistema.

É possível ainda utilizar uma opção de compensação interna, caso seja da série M/W/K que anula o efeito da variação do sinal de pressão causado pela variação da temperatura do vedante. Assim o erro de leitura causado pelo aquecimento do fluido de enchimento (típico dos sensores com enchimento) é reduzido ao mínimo.

4.2.2 Escolha do transdutor de pressão

O transdutor de pressão seleccionado é do fabricante GEFRAN.

Tendo por base os intervalos de temperatura de processamento em que é possível medir a pressão do meio, a escolha recai no primeiro intervalo de temperatura até 315°C. O tipo de fluido de enchimento seleccionado é óleo diatérmico e tipo de saída em corrente (4 a 20mA). A série do produto seleccionado **GEFRAN** é **W3**.

4.2.3 Controlo da pressão

O sistema Therm-o-flow 200 já tem integrado o controlo de pressão no qual é possível controlar a pressão pneumática e a definição de número de ciclos desejados por minuto.

4.3 Controlo de temperatura

Como já foi referido anteriormente, o sistema Therm-o-flow 200 tem opção de controlo de 6 ou 8 zonas de aquecimento. As zonas 1 e a 2 são sempre usadas para aquecimento do bidão de 200 litros e a bomba de alimentação, respetivamente.

Na figura C.1 está representado fisicamente como é aquecida a bomba de alimentação, com a banda de aquecimento e o sensor RTD representado. Na figura C.3 está representado o esquema de aquecimento da bomba de alimentação e do prato pressor.

As zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 estão disponíveis em zonas pares através de conectores de 16 pinos. A mangueira de aquecimento tem uma conexão de 16 pinos na entrada e um conector de 8 pinos na saída. Todas as válvulas, coletores e aquecedores são equipados com um conector correspondente de 8 pinos.

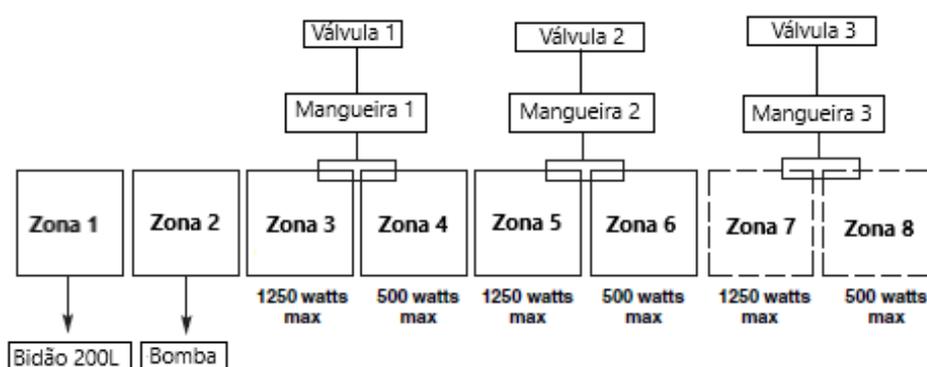


Figura 4.5 - Zonas de aquecimento (Term-o-flow 200).

4.4 Controlo da subida e descida do elevador

Os cilindros pneumáticos do elevador são compostos por dois cilindros pneumáticos. Os comandos de subida e de descida dos mesmos encontram-se representados na figura 4.6. Possui uma válvula direcional 5/3 e é possível regular manualmente a pressão de descida e de subida do

elevador. Pode ser necessário aumentar a pressão de descida caso seja perceptível que a pressão do prato pressor na superfície do bidão seja demasiado baixa o que pode causar problemas de fornecimento de material à bomba de alimentação.

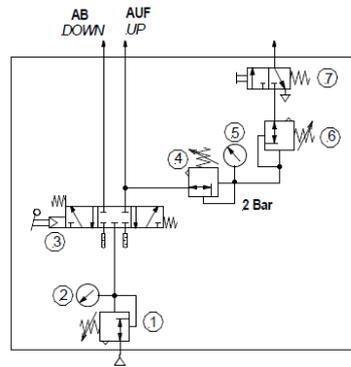


Figura 4.6 - Esquema pneumático elevador.

4.5 Controlo da abertura e fecho do bico de aplicação

Na figura 4.7 está representado o esquema pneumático para comando do cilindro responsável pela abertura e fecho do bico de aplicação. O controlo do cilindro é feito através de uma **válvula direcional monopilotada 5/2** acionada por solenóide e com retorno por mola.

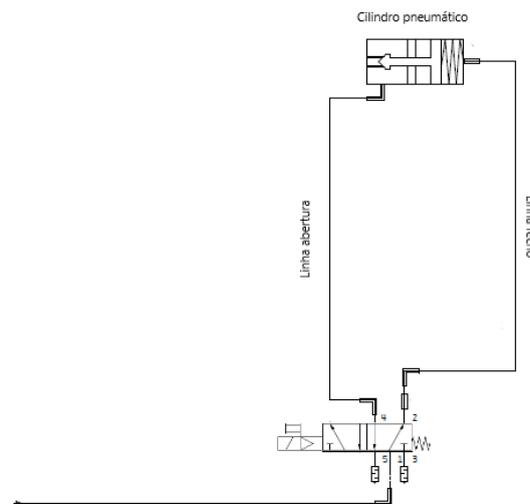


Figura 4.7 - Esquema pneumático bico de aplicação.

4.6 Controlos adicionais

O sistema Therm-o-flow permite extensões de funções. Como por exemplo, a opção de um **semáforo avisador** que permite sinalizar avisos ou alarmes através das seguintes cores:

- Verde - significa que o sistema está ativo e a bomba está pronta para quando for necessário a transferência de material;
- Amarelo - significa que o sensor de nível baixo do bidão foi ativado.
- Vermelho – requer imediata atenção do utilizador, devido a uma condição de alarme ou interrupção do fluxo de material.

Outra extensão disponível é o conjunto de **sensores de bidão com nível baixo e nível vazio**.

É usado para indicar que o bidão está vazio ou com nível baixo, dependendo do ajuste que se dá ao sensor proximidade. As condições de nível baixo e vazio são apresentadas no ecrã e no semáforo luminoso caso se tenha escolhido a extensão anteriormente referida. Na figura [C.13](#) está representado o suporte do sensor (A), ativador (B) e os sensores (C). Aumentando a distância entre os sensores, aumenta o tempo de aquecimento para o segundo sistema de Therm-o-flow.

A Graco também disponibiliza uma extensão de E/S discretas que tem por objetivo conectar a um robô ou PLC. Esta conexão permite a comunicação do sistema *on/off*, aquecimento *on*, tambor vazio, avisos, alarmes, manutenção, entre outras.

Capítulo 5

***Hardware e software* do sistema de testes da rotina do robô**

É necessário conhecer o *hardware* utilizado na implementação do sistema de testes, a apresentação técnica e funcional dos recursos físicos utilizados, o comportamento lógico do robô e as escolhas efetuadas em relação ao TCP e ao *User Frame* (UF).

5.1 Protótipo da ferramenta de testes

Inicialmente foi necessário desenvolver um protótipo da ferramenta para a realização dos testes de aplicação do vedante. A ferramenta de testes tem de cumprir os seguintes requisitos:

- Capacidade de controlar a velocidade e o doseamento do material a depositar no interior do pneu;
- Ter estrutura rígida e com capacidade de suporte dos elementos para aplicação do vedante;
- Ter possibilidade de reposição do material a depositar.

Não foi possível desenvolver o projeto com o vedante específico utilizado pelos fabricantes devido a vários fatores:

- Primeiro - a necessidade do sistema ser aquecido em todo o trajeto do vedante até à sua deposição.

- Segundo - a existência de paragens demasiado prolongadas do vedante, como normal numa fase de desenvolvimento, iria permitir que o vedante solidificasse dentro do circuito, o que obrigaria à paragem do sistema e/ou substituição de elementos do sistema
- Terceiro - o material vedante é bastante dispendioso
- Quarto - o material utilizado seria totalmente desperdício.

Assim sendo estes fatores, contribuíram para a decisão de realizar os ensaios com outro material de características mais adequadas ao desenvolvimento.

A empresa não teve possibilidade de disponibilizar recursos necessários para realizar ensaios numa fase tão primordial de abordagem a este problema e para adquirir material, como por exemplo uma doseadora no circuito para controlar a quantidade de vedante a depositar e um mecanismo para movimentar o vedante que se encontraria num reservatório também aquecido. Foi necessário como alternativa, planejar e desenvolver abordagens alternativas ao sistema que serão enunciadas de seguida para realizar os ensaios.

5.1.1 1ª abordagem

Numa primeira abordagem foi desenvolvido um sistema de testes acoplado ao robô. O material a depositar neste 1º protótipo foi **massa consistente**, assim evitando que a tubagem seja renovada a cada paragem mais prolongada entre testes.

O sistema está representado na figura 5.1, visualizando-se a estrutura do sistema, o cilindro e o tubo de massa consistente, respetivamente assinalados na mesma. A estrutura do sistema é em alumínio.

Foi utilizado um **eixo linear** da Festo que é responsável pelo doseamento do material e no qual foi controlada a sua velocidade linear e a posição final do movimento. A escolha do eixo linear para realizar o doseamento do material foi devido a ser um componente que a empresa tinha em armazém.

Este sistema tem a vantagem de ter um atravancamento reduzido e apresenta um reduzido comprimento de tubagem utilizada uma vez é acoplado ao robô.

A principal desvantagem deste protótipo é o facto de a massa consistente não ser vendida em tubo no qual existe a necessidade de projetar um reservatório para a mesma que depois consiga ser expulsa através do movimento do eixo e não haja a possibilidade de escape de vedante pelas suas paredes.

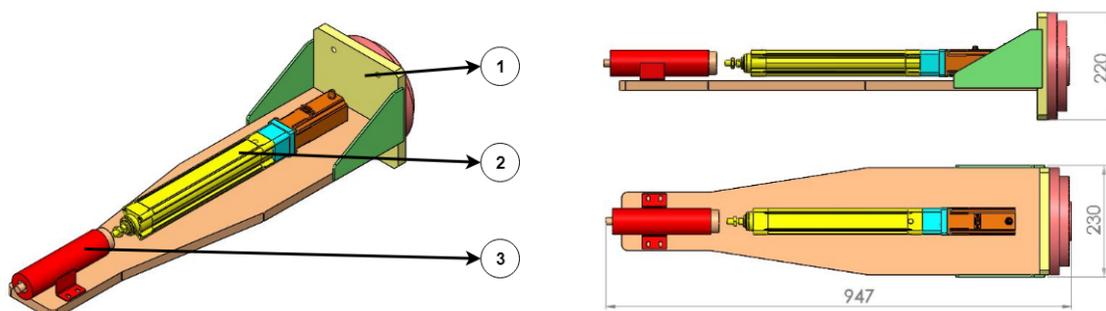


Figura 5.1 - 1º protótipo de ferramenta.

5.1.2 2ª abordagem

Numa segunda abordagem foi desenvolvida uma banca de testes auxiliar ao robô (figura 5.2) com o intuito de servir de auxílio ao suporte dos componentes.

O material de teste foi alterado para **mástique**. A escolha do material deve-se ao facto de ser de fácil aquisição no mercado em tubo e possuir custo reduzido. Cada tubo tem cerca de 300 ml tendo como medidas do reservatório 46 mm de diâmetro e 140 mm de altura.

As características que favorecem a escolha de mástique são por ser um material de alta adesividade, não ocorrer rebatimento das laterais do cordão depositado e não haver retração do material.

A banca de testes é projetada de forma a ser de fácil acesso ao utilizador devido à necessidade de substituição dos tubos de mástique a cada ensaio realizado. Para a estrutura de suporte foram utilizados perfis de alumínio técnico estrutural.

A opção de se recorrer a dois **eixos lineares** da Festo para dosear o material foi devido ao facto de existir mais quantidade de material para depositar por ensaio. No entanto, foi considerado começar os testes apenas com um eixo linear e consequentemente adicionar o segundo eixo caso fosse necessário mais material a depositar por ensaio. O modelo do eixo linear da Festo manteve-se o mesmo que o utilizado na 1ª abordagem.

A figura 5.2 ilustra o 2º protótipo da ferramenta com os perfis técnicos de alumínio, os eixos lineares, tubos de mástique e a estrutura de suporte enumerados respetivamente.

O inconveniente deste protótipo foi a substituição sistemática de toda a extensão de tubagem ao longo do sistema, se a duração dos intervalos entre ensaios for prolongada o suficiente para o mástique solidificar dentro da tubagem.

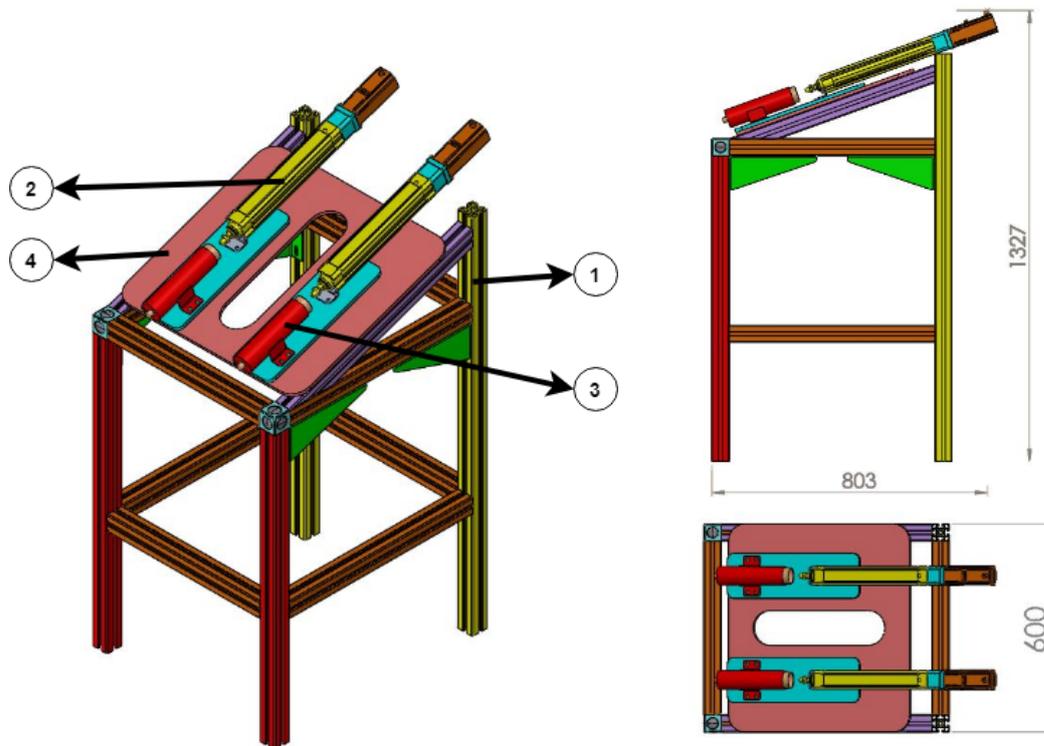


Figura 5.2 - 2º protótipo da ferramenta.

5.1.3 Modelo utilizado para testes

A ferramenta utilizada para testes foi recorrendo a material já existente na empresa e serviu para iniciar os testes de deposição de vedante.

O material escolhido para depositar no pneu foi silicone neutro devido a ser facilmente encontrado no mercado e adquirido em tubo, o que permite uma fácil e rápida reposição de material.

É um silicone mono componente, de base neutra, que cura em contacto com a humidade atmosférica formando um cordão macio e elástico extremamente resistente.



Figura 5.3 - Tubo de silicone neutro.

A expulsão do material do tubo de silicone é realizada recorrendo a um eixo linear da Festo. O eixo disponível tem 300 mm de curso, um veio de 28 mm e um passo de 10 mm.

O acionamento do eixo é efetuado com recurso a um motor de passo da Festo que se encontrava em armazém na empresa. O motor tem como características principais, um binário de paragem de 2.5 N.m, uma tensão nominal de 48 V DC e uma corrente nominal de 9.5 A.

O *drive* usado para controlar o motor passo a passo é um drive da gama CMMO da Festo que tem como principais características - tensão nominal de 24 V DC e corrente nominal de 6 A.

Neste conjunto vai ser utilizado um kit de montagem paralelo da *Festo* que através duma transmissão por correia possibilita a movimentação do atuador. A transmissão é de 1:1 com correia HTD de 5 mm de passo e com polia HTD de 31 dentes.

Na figura 5.4 está representada a montagem do eixo linear, o motor passo a passo e o acoplamento, devidamente referenciados: 1- kit montagem; 2- motor passo a passo; 3- eixo linear.

Na tabela 5.1 são apresentadas as referências correspondentes do principal hardware apresentado.

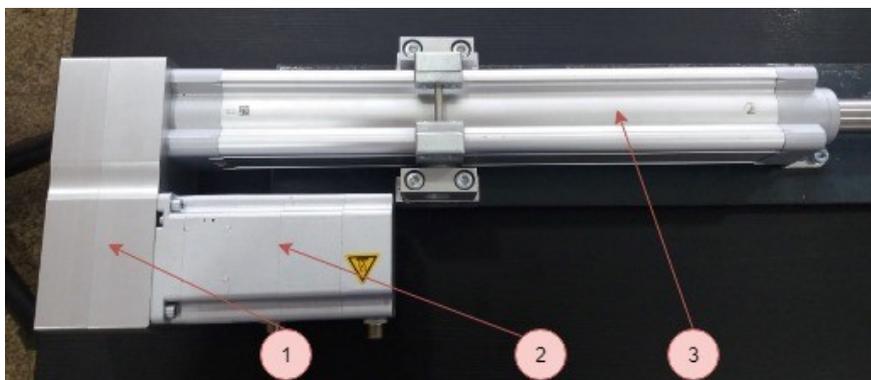


Figura 5.4 - Representação da montagem do eixo linear ao motor passo a passo.

Tabela 5.1 - Referências do principal hardware.

Hardware	Referência
Drive	CMMO-ST-C5-1-DIOP
Motor	EMMS-ST-87-S-SEB-G2
Eixo	ESBF-BS-50-300-10P
Conjunto montagem	EAMM-U-86-D50-87A-102

Para facilitar a troca de tubagens foi projetada uma peça em alumínio que permite a ligação entre o tubo de silicone neutro e a conexão rápida para o uso de tubagem de 16 mm. A escolha do iniciar com tubo de 16 mm foi de forma a obter um passo da ferramenta de, no mínimo, 10 mm. A conexão rápida usada tem conexão para tubos de 16 mm e rosca interna G1/2 (representada pelo nº 1 na figura 5.5).

A peça representada na figura 5.5 com o nº 4 é a peça para conexão ao tubo de silicone. Tem uma conexão com a rosca do tubo de silicone e a outra conexão com rosca interna de G1/4".

As duas peças intermédias servem apenas para conexão entre a conexão rápida e a conexão para os tubos. A peça representada pelo nº 2 tem ambas as conexões com rosca externa de G1/2" e G3/8" e a representada pelo nº 3 tem uma rosca interna de G3/8" e uma rosca externa de G1/4".

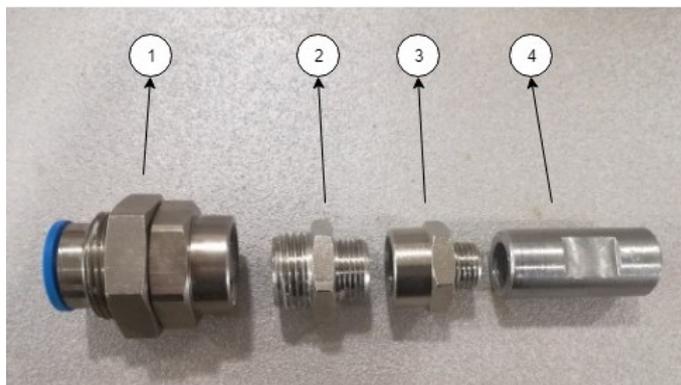


Figura 5.5 - Representação do acoplamento para conexão rápida da tubagem.

Na figura 5.6 está representada a forma como foi realizado o acoplamento da tubagem de 16 mm ao tubo de silicone com recurso ao acoplamento. Respetivamente representados por - 1: tubagem de 16 mm; 2: acoplamento; 3: tubo de silicone.

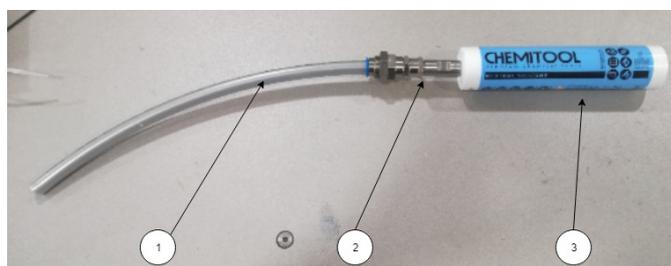


Figura 5.6 - Representação do acoplamento do tubo de silicone à tubagem de 16mm.

Para acoplamento no sexto eixo do robô projetou-se uma peça para suportar a tubagem que conduz o vedante até ao pneu. Na figura 5.7 encontra-se representada a peça projetada e as suas

respetivas cotas de atravancamento nas quais foram tido em conta a maior altura de pneu, tendo como objetivo a entrada no interior do pneu sem existir contacto entre o pneu e a mesma.

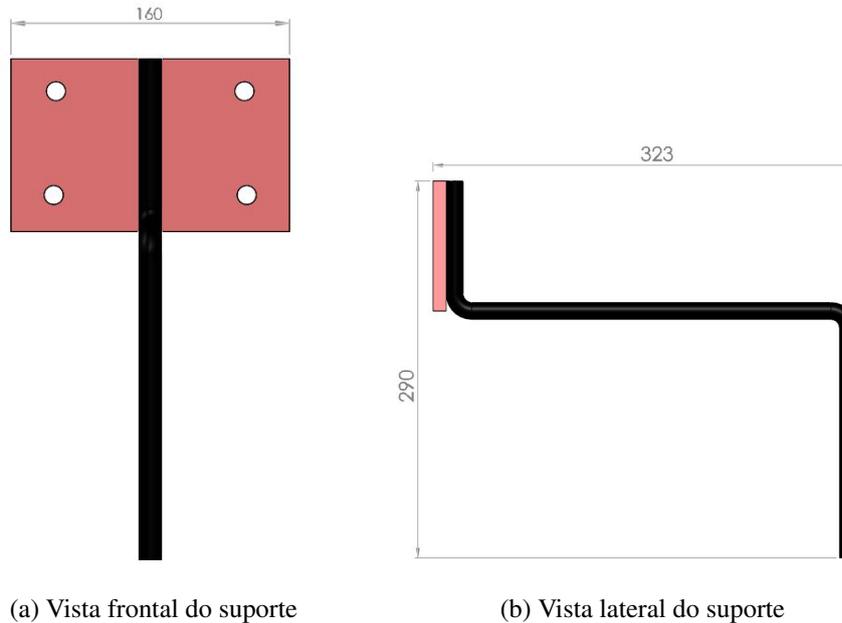


Figura 5.7 - Representação do suporte presente no 6^o eixo do robô.

5.2 Elementos complementares à ferramenta de testes

Todos os equipamentos de proteção elétrica e de segurança já se encontravam em armazém na empresa e foi confirmado se a sua utilização seria adequada tendo em conta as especificações dos equipamentos que visam proteger.

- **Fonte alimentação** - A fonte de alimentação usada para alimentação do sistema é da *Siemens SITOP PSU 200M*. É alimentada com 120/230-500V AC e fornece 24V DC10 A que é o necessário para alimentar os componentes da ferramenta de testes.
- **Disjuntor magneto-térmico** - O disjuntor são equipamentos que visam proteger fios e cabos elétricos contra curto circuitos e sobrecargas de energia proporcionando aplicações seguras e económicas. Alimentado com 230/400 V AC.
- **Distribuidor de corrente** - Para monitorização e controlo da corrente foi utilizado um MICO que é um sistema de distribuição inteligente de corrente e opera a 24V DC em 4 canais de monitorização de corrente. Quando alimentado com a tensão de operação os

diferentes canais são ativados para evitar correntes excessivas. Cada canal tem possibilidade de ajustar a corrente para 4 valores diferentes, sendo eles 4, 6, 8 ou 10 A.

- **Relé segurança** - As paragens de emergência são efetuadas graças ao relé de segurança que vai assegurar a segurança do sistema. É ativado através do botão de emergência do sistema.
- **Painel visualização** - Para introdução dos dados relativos ao pneu e interação com o utilizador recorreu-se a um painel embutido tátil (figura B.5), *Siemens KTP600 Basic Color* PN. Este painel é de fácil integração de tarefas de controlo lógico nas quais se recorra a PLCs *Simatic S7* através de *Profinet*. Na tabela B.2 são apresentadas as principais especificações técnicas e funcionais deste painel.

Na tabela 5.2 são apresentadas as referências dos elementos complementares usados no sistema.

Tabela 5.2 - Referências dos elementos complementares.

Fonte de alimentação DC	Siemens SITOP PSU 200M
Relé segurança	PILZ PNOZ S2 24 V DC
Disjuntor magneto-térmico	Siemens 5SY6 MCB C4
Distribuidor de corrente	Murrelektronik MICO 4.10
Painel visualização	Siemens KTP600 <i>Basic Color</i> PN

5.3 Robô Fanuc R-2000iC/210F

O robô disponibilizado para a realização do projeto foi da marca **Fanuc**, cujo modelo é o **R-2000iC/210F** (representado na figura 5.8). Este robô possui 6 eixos controláveis. Possui uma capacidade de carga nominal de 210 kg e um alcance máximo de 2655 mm. É capaz de repetibilidades de 0.05mm.

Este modelo é normalmente utilizado para qualquer tipo de tarefas de processamento de cargas pesadas em grande parte de aplicações, mas também muito utilizado para soldadura por pontos devido a possuir diversas opções de montagem disponíveis para rentabilizar a utilização do espaço e disponibilizar um campo de ação otimizado. [35].

Em conjunto com o robô está presente o **controlador da FANUC R-30iB Plus** que contribui para facilitar o uso do robô e a automação do ambiente envolvente. É a chave para a performance do robô em termos de tempos de ciclo, cinemática, precisão e segurança.



Figura 5.8 - Robô Fanuc R-2000iC/210F.

Fornecer conectividade através de rede *Ethernet* permitindo uma fácil conexão a robôs, computadores remotos e outros dispositivos de *hardware*. O armário é do estilo A-Cabinet que é a solução compacta e empilhável disponibilizada por defeito. Ideal para ambientes industriais, foi concebido para um número limitado a 2 eixos auxiliares.

Para interface gráfica com o utilizador a FANUC disponibiliza por defeito o **ecrã tátil** designado *iPendant Touch* que proporciona uma programação fácil aos programadores e operadores nas instalações [36].

5.4 PLC e E/S distribuídas

O controlador responsável pelo controlo de movimento e lógico da aplicação é o PLC S7-1200 com a CPU 1215C DC/DC/DC (alimentação/entradas/saídas) representado na figura 5.9. Este PLC, em armazém na empresa, pertence à gama básica de controladores da *Siemens*. Na tabela 5.3 estão resumidas as principais características técnicas e funcionais do PLC.

Através da análise da tabela 5.3, o controlador inclui porta *Ethernet* (conector RJ45) que permite comunicar com os restantes equipamentos (HMI, Robô e E/S distribuídas) através de um *switch* Simatic SCALANCE X005, via *Profinet*.

No presente trabalho irão ser usadas E/S distribuídas cujas vantagens que foram determinantes para a sua utilização são enumeradas de seguida:

- Um barramento de E/S distribuídas apresenta uma modularidade e uma versatilidade que não se encontra nos módulos de expansão para PLCs;



Figura 5.9 - PLC s7-1200 com a CPU1215C DC/DC/DC.

- Se posteriormente se optar por mudar de família de PLC ou até alterar para uma solução com IPC (PC Industrial), é necessário reformular todos os I/Os e evita-se a utilização de módulos de expansão o que levaria a ficar preso a uma dada família de PLCs.
- Com a solução distribuída temos apenas de garantir compatibilidade entre protocolos de comunicação.
- Há a versatilidade de colocação dos I/Os distribuídos distantes do PLC e junto dos atuadores/sensores, reduzindo dessa forma dificuldades com condutores elétricos, e desperdício de metros de cobre ou hipotética degradação do sinal elétrico.

Em seguida são apresentados os vários componentes associados aos I/Os distribuídos que irão ser utilizados no presente trabalho e qual a sua finalidade.

- ET 200S *Interface Module* IM151-3 PN: É a interface entre o PLC e os I/Os. Disponibiliza duas portas *Ethernet* para comunicação com o PLC;
- *Power Module* PM-E: Responsável pela alimentação elétrica do barramento até 10A;
- 4 Entradas digitais x 24 VDC ST;
- 4 Saídas digitais x 24 VDC/0.5 A ST;

5.5 Comportamento lógico do sistema

Antes de apresentar o comportamento através de *Grafcet* é necessário analisar e compreender os requisitos do sistema em causa, permitindo estudar a melhor estratégia de controlo do sistema.

Tabela 5.3 - Principais especificações do controlador S7-1200 CPU1215C DC/DC/DC.

Entradas / Saídas	14 Entradas digitais (24 V DC) 2 Entradas analógicas (0-10 V DC) 10 Saídas digitais (24 V DC)
Alimentação	Até 1500 mA @ 24 V DC (20.4 a 28.8 V)
Memória de armazenamento	4 MBytes (expansível)
Memória RAM	125 kBytes
Porta comunicação	Ethernet com conector RJ45
Tempo p/operação booleana	0.08 μ s/instrução
Protocolos	PROFINET, MODBUS/IP

Os requisitos a cumprir são:

- Os diferentes modos de aplicação do vedante devem estar só disponíveis caso os dados introduzidos na HMI estejam dentro do intervalo dos pneus admissíveis para o sistema;
- O robô deverá receber os dados sobre as características do pneu e executar a rotina de aplicação do vedante;
- O sistema deverá ser capaz de trabalhar em dois modos.
 - o modo automático
 - o semi-automático;
- O eixo linear deve ser capaz de cumprir os movimentos em coordenação com o robô.

O sistema deverá possuir um comportamento específico em caso de atuação do botão de emergência ou de ocorrência de falha:

- Em caso de ativação do modo de emergência, o sistema deverá ser paralisado, provocando a desativação das saídas. Esta situação deve ainda desencadear um alerta de emergência na HMI. O sistema deverá sair deste estado caso haja em primeiro caso a desatuação do botão de emergência e posteriormente premido o botão de rearme;
- Em caso de falha deve provocar um comportamento igual ao descrito na situação de emergência, sendo que neste caso sairá deste estado caso o erro que lhe deu origem e que foi visualizado na lista de erros da HMI seja suprimido.

Com base nos requisitos e comportamentos acima apresentados, idealizou-se um conjunto de graficets comportamentais do sistema e diferentes níveis hierárquicos que podem ser consultados através da figura 5.10. A descrição do comportamento lógico do sistema será realizada

em grafcet, que de forma intuitiva e perceptível facilitará ao leitor observar os requisitos e comportamentos do mesmo.

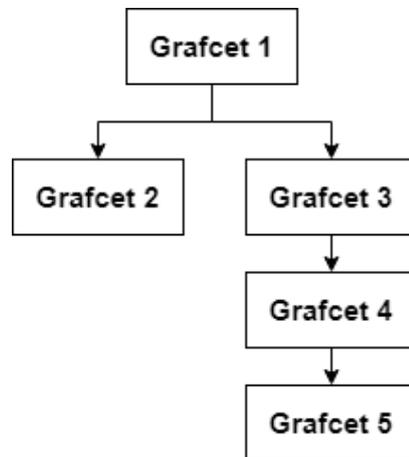


Figura 5.10 - Níveis hierárquicos entre *Grafcets*.

Na tabela 5.4 é possível compreender as tarefas de cada *grafcet* idealizado.

Tabela 5.4 - Tarefas de controlo referente aos Grafcets.

Grafcet	Tarefas de controlo
G1	Realiza o controlo sistema
G2	Tarefas de controlo ligadas à rotina robô
G3	Realiza o controlo do eixo linear
G4	Tarefas de controlo ligadas ao ciclo do eixo linear
G5	Tarefas de controlo ligadas ao posicionamento do eixo

O *Grafcet* G1 é responsável pelo controlo do sistema. Na figura A.1 é apresentado o seu esquema comportamental e na tabela 5.5 encontram-se resumidamente as diferentes etapas que o constituem.

Tabela 5.5 - Descrição das etapas relativas ao Grafcet G1.

Etapas Grafcet G0	Descrição
Etapa 1	Estado inicial
Etapa 2	Estado de corrida do sistema
Etapa 3	Estado de paragem de emergência - desativa as saídas e pausa o Grafcet G1
Etapa 4	Estado de paragem de erro - desativa as saídas e pausa o Grafcet G1

Na figura A.2 é exposto o *Grafcet* 2 que é responsável pelas tarefas de controlo ligadas ao robô.

O grafcet 3, 4 e 5 são correspondentes às tarefas de controlo relativas ao eixo linear da Festo. O grafcet 3 realiza o controlo do eixo linear, estando o grafcet 4 e 5 dependente da ativação do modo "corrida" do eixo que se encontra na etapa 22. O grafcet 4 está relacionado com a ativação do ciclo do eixo e a referenciação do eixo caso não esteja referenciado. O grafcet 5 é o responsável pelo posicionamento do eixo ao longo das posições desejadas quando é ativado o ciclo do eixo.

5.6 Detalhes do desenvolvimento e implementação dos *Graf-cet*

A maioria da programação foi feita em *Structured Control Language* (SCL). A escolha sobre esta linguagem de programação semelhante ao *Structured Text* previsto na norma IEC 61131-3 foi de preferência do autor uma vez que permite uma enorme liberdade e permitiu desenvolver o conhecimento sobre a mesma.

5.6.1 *Grafcet G1*

- **Segurança do sistema**

O botão de emergência quando é atuado o sinal de monitorização do contacto NA dá entrada no PLC.

- **Cenários de falha considerados no sistema**

É de grande importância ter consciência e estudar os cenários possíveis de falhas que por diversas razões vão levar à ativação da etapa 4 do *Grafcet G1* que foi anteriormente referida. As distintas situações consideradas de alarme estão seguidamente enumeradas.

- Erro no robô - Ocorre quando o robô reporta ao PLC um erro através do painel de operador externo.
- Erro no eixo linear - Ocorre quando o driver do eixo reporta que ocorreu no sistema de eixo ou motor.

5.6.2 *Grafcet G2*

- **Diferentes modos de execução da rotina**

Para a execução da rotina foram definidos dois modos de "corrida", sendo que:

- o modo automático permite a execução da rotina do robô após a ordem de início dada pelo utilizador e na qual o utilizador só volta a ser necessário no final da execução da rotina e posterior imobilização do robô.
- o modo semi-automático, após a ordem de início da rotina, o utilizador é interviniente da sua ativação a cada passo definido na rotina do robô. É responsável pelo correr da rotina e pela escolha de quais as posições a executar pelo robô.

5.6.3 Grafcet G5

- **Diferentes posicionamentos**

Para o posicionamento do eixo linear foram definidas três posições:

- A posição 1 que é quando o cilindro se encontra totalmente recolhido e permite a troca de tubo ou enchimento do reservatório.
- A posição 2 que é a posição onde o eixo encosta no êmbolo para iniciar o ciclo de deposição, e
- A posição final que é a posição onde o eixo finaliza o seu percurso.

5.7 Comportamento lógico do robô

Em seguida vai ser apresentada a rotina do robô e as escolhas efetuadas para o TCP e o *User Frame* (UF).

Na figura 5.11 são esquematizadas as várias posições do robô e a ordem pelas quais são executadas ao longo da rotina.



Figura 5.11 - Diagrama de posições referentes à rotina robô.

Foram necessárias sete posições para realizar a rotina do robô. Existindo a necessidade de troca e enchimento do reservatório de vedante, foi necessário criar logo a primeira posição da rotina, que é designada como "posição 1". Esta posição foi criada tendo em conta uma altura que fosse cómoda para o utilizador ter acesso ao reservatório.

A "posição 2" é a posição de afastamento da posição de troca do reservatório e que simboliza o início da rotina do robô. Esta posição já está na coordenada Z correspondente à posição de alinhamento da ferramenta com o pneu que é a "posição 3".

A "posição 4" é a posição de aproximação ao pneu e que já é função das variáveis introduzidas do utilizador. Da "posição 4" para a "posição 5" é dada a inclinação desejada, em função do ângulo dos rolos, para a ponta da ferramenta ficar perpendicular ao piso do pneu.

As últimas posições criadas para esta rotina são a "posição inicial" e a "posição final" da deposição do vedante, no qual o bico de aplicação esteja nos pontos já anteriormente mostrados na figura 2.4.

Na tabela 5.6 é apresentada a especificação para cada posição para uma melhor compreensão da rotina por parte do leitor.

Tabela 5.6 - Descrição das posições da rotina do robô.

Posição	
1	Enchimento do reservatório de vedante
2	Início do ciclo
3	Alinhamento da ferramenta com o pneu
4	Aproximação ao pneu
5	Entrada no interior do pneu com a inclinação desejada
A	Início da deposição do vedante
B	Final da deposição do vedante

5.7.1 Definição do TCP

A escolha do TCP da ferramenta foi obtida com recurso à ferramenta *Solidworks* para obter as coordenadas em relação ao zero do punho. O referencial do TCP tem como origem o centro do final da tubagem utilizada, o que leva a ser necessário alterar o TCP se a medida do tubo mudar. Nesta primeira abordagem a ferramenta possui um tubo de 16 mm. Usando a ferramenta de medida do *Solidworks* obtêm-se os valores da tabela 5.7.

O referencial está representado na figura 5.12. O sentido dos eixos do TCP são de acordo com o sentido dos eixos do *User Frame* (UF), de forma a facilitar o posicionamento e parametrização do robô.

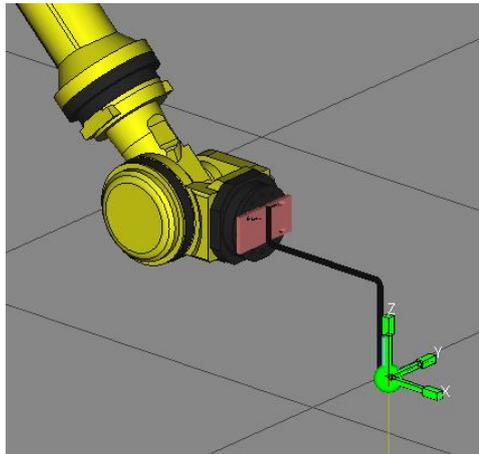
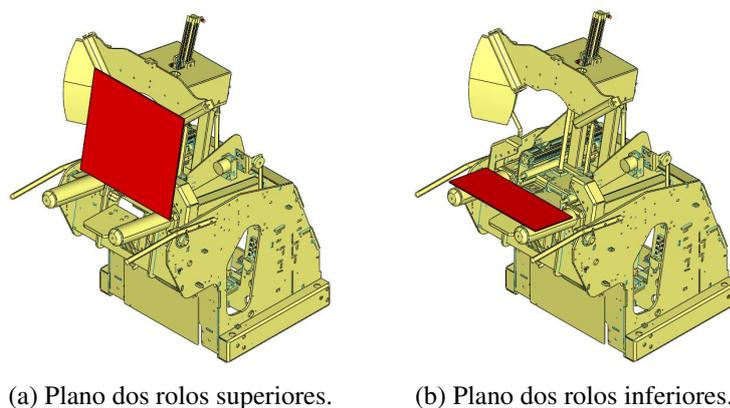


Figura 5.12 - Representação dos eixos do TCP.

5.7.2 Definição do *User Frame*(UF)

O *User Frame*(UF) foi introduzido através do método de **entrada direta de valores**, os quais foram obtidos através do uso de um cartão em forma retangular que teve o objetivo de obter aproximadamente os planos que se encontram representados a vermelho na figura 5.13. A decisão do uso do referencial nestas coordenadas foi para o autor a forma mais intuitiva de através da mesma adaptar este processo para as mais variadas medidas de pneu, uma vez que tanto os rolos superiores como os inferiores servem de suporte ao pneu.

Na tabela 5.8 são apresentadas as coordenadas obtidas através deste método.



(a) Plano dos rolos superiores.

(b) Plano dos rolos inferiores.

Figura 5.13 - Representação das duas posições do cartão que serviram de auxílio à obtenção das coordenadas do *User Frame*.

Tabela 5.7 - Coordenadas do TCP da ferramenta.

x [mm]	y [mm]	z [mm]	w [mm]	p [mm]	r [mm]
-270,000	0,000	339,000	-180,000	-90,000	0,000

Tabela 5.8 - Coordenadas do *User Frame* em relação ao referencial *world* do robô.

x [mm]	y [mm]	z [mm]	w [mm]	p [mm]	r [mm]
1995,000	374,660	-180,000	0,000	8,500	0,000

A orientação do eixo de coordenadas do *User Frame* foram as mesmas que o referencial *world* do robô. Apenas contando com um ângulo de 8,5° que já é conhecido, que corresponde ao ângulo dos rolos em relação à base. Na figura 5.14 é representado o eixo de coordenadas do *User Frame*.

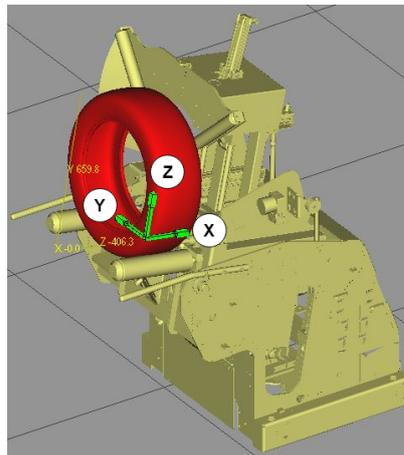


Figura 5.14 - Representação da orientação dos eixos do *User Frame*.

Capítulo 6

Ensaaios realizados e resultados obtidos

Neste capítulo são descritos os ensaios e resultados do sistema. Os tópicos encontram-se a seguir numerados:

- Validação do modelo de ensaios do vedante para efeitos de primeira abordagem à deposição do vedante no interior do pneu;
- Teste da rotina de controlo do robô.

6.1 Conjunto de ensaios realizados antes da montagem no robô

Após o desenvolvimento do conjunto para realização dos ensaios do vedante foram realizados vários ensaios.

Uma das maiores preocupações iniciais foi o facto de o material utilizado, ao ser solicitado pelo eixo linear e em consequência da pressão exercida nas paredes do tubo, sair pela parte de trás do tubo em sentido contrário ao do movimento.

Estes primeiros ensaios foram realizados apenas com o conjunto do eixo linear. O uso do robô, sistema de rotação e pneu não foram usados nestes ensaios.

Durante os ensaios, ao longo do trajeto o *driver* necessita fornecer valores de corrente muito perto do máximo, tendo mesmo nos últimos 50 mm do deslocamento, o eixo parado devido à existência de erro causado pelo fornecimento de corrente acima do permitido. Concluiu-se que

o driver não é capaz de responder à necessidade do eixo para efetuar o movimento pretendido, à velocidade pretendida.

A solução encontrada foi a mudança de drive para um que seja capaz de disponibilizar mais corrente ao eixo e assim ser capaz de efetuar o movimento pretendido sem haver paragem por excesso de corrente.

A solução passará por alterar para o drive da Festo que a empresa tem em armazém cujo modelo é o **CMMS-ST-C8-7-G2**. As principais características estão apresentadas na tabela 6.1.



Figura 6.1 - Drive CMMS da Festo.

Tabela 6.1 - Características principais do drive CMMS-ST.

Drive CMMS-ST	
Alimentação carga	
Tensão nominal [V DC]	24 ... 48
Corrente nominal [A]	8
Corrente pico [A]	12
Alimentação lógica	
Tensão nominal [V DC]	24
Corrente nominal [A]	0,2
Entradas digitais	
Número	14
Tensão nominal [V DC]	24 (relativamente a 0V)
Saídas digitais	
Número	4
Nível sinal [V DC]	24 (da alimentação lógica)

Para o sistema ser capaz de cumprir as velocidades desejadas sem que a corrente exceda

os limites, foi introduzido um redutor 5:1 da Festo com a referência correspondente **EMGA-80-P-G5-SST-87**, representado na figura 6.2, que é compatível com o eixo e o motor atual. Com a introdução do redutor, o intervalo de velocidades de operação tem uma correspondente diminuição mas ainda dentro dos valores pretendidos, havendo uma maior capacidade de binário e um decréscimo do consumo de corrente.



Figura 6.2 - Redutor Festo EMGA-80-P-G5-SST-87.

Após os primeiros ensaios realizados em carga foi possível constatar que ao longo do percurso do eixo, passou a haver uma redução no consumo de corrente e o percurso todo passou a ser realizado sem se atingir excesso de corrente. O problema do silicone escapar juntos às paredes manteve-se, pois o tubo e o seu êmbolo, sendo de plástico, mesmo com um alojamento muito justo ao mesmo, o tubo expande e o silicone escapa junto às paredes que é a zona que oferece menos resistência.

Concluindo, o tubo de silicone mostrou-se para prosseguir os ensaios e surgiu uma nova alternativa ao mesmo que passou por mudar o tipo de material a depositar.

Devido aos problemas encontrados com o tubo de plástico do silicone neutro foi necessário recorrer a outro tipo de tubo que oferecesse maior resistência à expansão do vedante. Com recurso a um **tubo de cola e veda de poliuretano PU40**, representado na figura 6.4, que é um vedante de elevada elasticidade para a indústria automóvel e de construção à base de poliuretano. As paredes destes tubos de cola e veda são de alumínio, o que permite uma maior resistência à expansão.



(a) Visualização do restante silicone que ficou nas paredes do tubo.



(b) Silicone que escapou pelas paredes.

Figura 6.3 - Escape de silicone pelas paredes.

6.2 Montagem no robô

Após os testes acima descritos foi efetuada a montagem do sistema no terceiro eixo do robô como mostra a figura 6.5.

A tubagem foi montada com o objetivo de evitar o contacto com o pneu, não restringindo os movimentos do robô.

Na imagem 6.6 é apresentada a banca de testes, onde foram montados todos os componentes auxiliares à ferramenta de testes montada no robô.

A banca contém:

- A fonte de alimentação,
- O disjuntor magneto-térmico,
- O relé de segurança,
- O distribuidor de corrente (mico),
- A drive do motor passo a passo,
- O botão de emergência e botão de rearme,
- A HMI,
- O PLC e os elementos complementares já acima referidos.



Figura 6.4 - Tubo de poliuretano PU40.

6.3 Validação da rotina do robô

De seguida são apresentadas as diferentes posições da rotina do robô.

A "**posição 1**" da rotina do robô está representada na figura 6.7, na qual se efetua a troca de tubo do vedante. Tem boa acessibilidade para a troca do material.

Na figura 6.8 é representada a "**posição 2**" da rotina. É a posição de afastamento da posição de troca de tubo. A junta 1 encontra-se a 40 graus, as juntas 4 e 6 encontram-se ambas a 0 graus.

A "**posição 3**" tem coordenadas fixas e não depende da medida do pneu. Apenas tem como objetivo alinhar a ferramenta com o pneu. A ferramenta está alinhada com o *User Frame* utilizado, daí o valor das coordenadas cartesianas Y, W e R terem o valor zero. A coordenada cartesiana p tem o valor da inclinação dos rolos em relação ao *User Frame* que é neste caso de 8.5° e assim faz com que a ferramenta fique perpendicular ao chão de fábrica como se pode observar na figura 6.9.

A "**posição 4**" da rotina do robô é uma posição de aproximação ao centro do pneu e, portanto, já é dependente do pneu a utilizar. O TCP da ferramenta encontra-se a um 1/4 da medida da jante a partir do talão.

A "**posição 5**" da rotina do robô, representada na figura 6.11, é a posição de entrada no interior do pneu que corresponde a uma rotação no eixo Y em relação ao *User Frame*. Esta posição tem as coordenadas cartesianas W,P e R a zero em relação ao *User Frame*.

A "**posição 6**" da rotina, representada na figura 6.12, designada anteriormente por **posição A**, é o ponto de início de deposição do vedante. A ferramenta tem rotação no eixo do X de 25° com o objetivo de uma melhor deposição do material.

A "**posição B**" representada na figura 6.13 é a posição final da deposição do vedante. A posição mantém a mesma configuração que na "**posição A**", apenas há alteração na coordenada X. Do ponto A para o ponto B o movimento é linear.



Figura 6.5 - Visualização do suporte do conjunto, no robô.



Figura 6.7 - "Posição nº1" da rotina do robô.

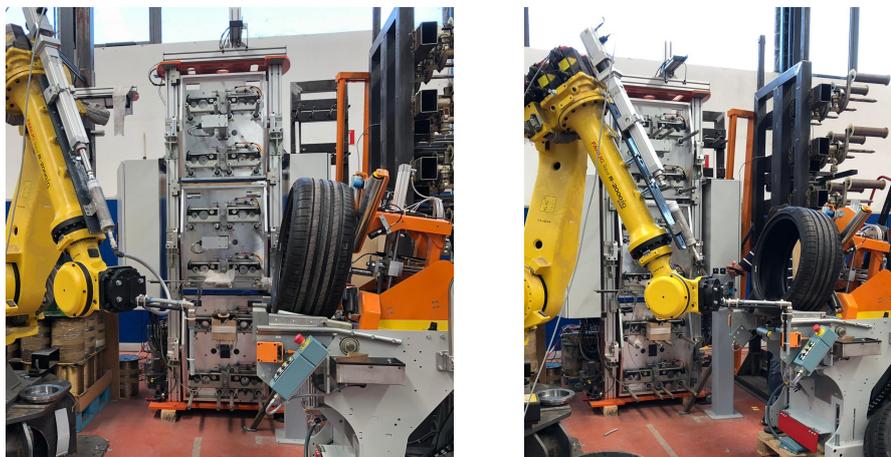


Figura 6.8 - "Posição nº2" da rotina do robô.



Figura 6.6 - Banca de testes com os componentes auxiliares à ferramenta de testes.

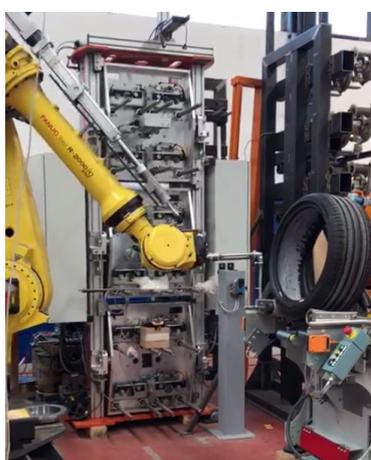


Figura 6.9 - "Posição nº3" da rotina do robô.



Figura 6.10 - "Posição nº4" da rotina do robô.



Figura 6.11 - "Posição nº5" da rotina do robô.



Figura 6.12 - Posição A da rotina do robô.



Figura 6.13 - Posição B da rotina do robô.

6.4 Conjunto de ensaios efetuados após montagem no robô

A velocidade linear do robô para a realização dos ensaios com poliuretano é 2 mm/s, obtido através dos cálculos efetuados tendo em conta o tempo de ciclo já anteriormente referidos.

O mecanismo responsável pela rotação do pneu como já foi referido anteriormente, tem a possibilidade de regular manualmente a velocidade dos rolos.

Nos ensaios foi perceptível que o poliuretano não conseguia aderir ao pneu à velocidade de rotação dos rolos correspondente à velocidade linear do robô de 2 mm/s.

Para diminuir a velocidade de rotação do pneu é necessário diminuir a velocidade linear do robô. A velocidade linear mínima do robô é de 1 mm/s. Esta diminuição para metade da velocidade linear do robô originou que a velocidade de rotação diminuísse na mesma proporção.

Nos ensaios efetuados com o poliuretano, o vedante escapa pela parte de trás do tubo. Um dos fatores que contribuiu foi a existência de demasiadas curvas, o que provocou um aumento da perda de carga.

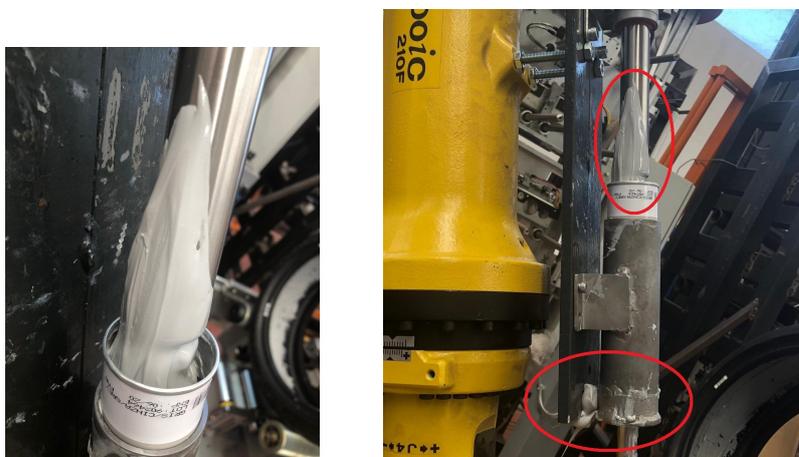


Figura 6.14 - Escape do vedante pela parte de trás do tubo.

Sendo o vedante de poliuretano incapaz de cumprir os requisitos, foi necessário recorrer a outro material. O substituto escolhido para o poliuretano foi a massa consistente.

A massa consistente não é fornecida em tubos, mas normalmente, é adquirido em reservatórios aproximadamente do mesmo tamanho do tubo de cola e veda mas sem êmbolo o que impossibilita a sua expulsão através do mesmo método que os tubos de cola e veda, ou então em reservatórios com capacidade de 5 kg, por exemplo.

Foi pensado utilizar o mesmo tubo que se adquire de cola e veda e substituir o conteúdo do mesmo por massa consistente, voltando a enchê-lo sempre que esgotar.

A tubagem de 16 mm foi substituída pela tubagem de 8 mm de modo a aumentar a velocidade de saída da massa consistente, mantendo a velocidade do eixo e assim melhorar a deposição de material.

Ocorreu o escape do material pelas paredes do tubo, como é mostrado na figura 6.15. O escape da massa consistente deve-se em grande parte à grande variação que há na passagem do material da secção do tubo para a secção do acessório de conexão.



Figura 6.15 - Escape da massa consistente pelas paredes do tubo.

A solução encontrada foi alargar a parte final do tubo, retirando a rosca que se encontra neles e que tem como fim a utilização do bico de plástico. O furo foi alargado e vai ser colocado um acessório de engate rápido com uma fêmea a apertar no interior do tubo. A figura 6.16 mostra o resultado da operação realizada já com o engate rápido para um tubo de 16 mm.



Figura 6.16 - Resultado do alargamento efetuado ao tubo.

Foi utilizada uma tubagem de 16 mm para quase todo o trajeto necessário e para a parte final utilizou-se uma tubagem de 8 mm como mostra a figura 6.17. Esta solução permite que a massa consistente não tenha perdas de carga tão elevadas como anteriormente e assim obter no final o perfil pretendido.



Figura 6.17 - Utilização da tubagem de 16 mm ao longo do trajeto com tubagem de 8 mm no final.

O resultado destes ensaios foi bastante positivo, pois originou um cordão muito uniforme e sem falhas. Devido à capacidade volúmica do tubo ser reduzida, ficou limitado o nº de voltas que foi possível depositar em material para visualizar o seu comportamento.

Para aumentar a capacidade de material a depositar por ensaio, foi utilizado a um cilindro pneumático, que se encontrava em armazém na empresa, e fazer umas pequenas adaptações para o usar como reservatório de massa consistente. O cilindro é de 250 mm de curso com um diâmetro de 63 mm, o que vem assim aumentar significativamente a capacidade de armazenamento.

A grande vantagem da utilização do cilindro pneumático é que o interior do cilindro maquinado e o seu êmbolo possuem cotas muito precisas o que contribui para uma boa expulsão do material e evitar que o material escape pelas paredes. Com a sua introdução o curso disponível para preencher de material ficou reduzido para 180 mm, devido à necessidade de maquinar o cilindro para a realização das adaptações necessárias.

A figura 6.18 mostra a montagem do cilindro pneumático como reservatório e, no lado direito da mesma encontra-se o estado das paredes do cilindro, após um ensaio, que mostra que o material não escapa pelas paredes do cilindro.

Como a espessura da camada de vedante está acima do desejado, o bico da tubagem de 8 mm foi achatado com recurso a calor e uso de duas braçadeiras para não haver uma tendência



(a) Adaptação do cilindro pneumático.



(b) Interior do cilindro após ensaio executado.

Figura 6.18 - Adaptação do cilindro da Festo.

de voltar à posição inicial ou uma expansão com a passagem do vedante.

Na figura 6.19 é apresentado o resultado final correspondente à espessura desejada de 3 mm. De destacar que os cordões se encontram bastante uniformes, com uma espessura e largura bastante homogêneos.



Figura 6.19 - Camada de massa consistente final.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalho Futuro

7.1 Conclusão

Este capítulo contempla as conclusões retiradas com a elaboração deste trabalho e apresenta sugestões de trabalhos futuros.

Com este projeto, obtiveram novos conhecimentos aplicáveis na indústria dos pneus anti-furo, tais como materiais, mecanismos e processos utilizados.

Foi definido como o principal objetivo para o projeto o estudo e desenvolvimento de uma solução para aplicação de vedante no interior de um pneu.

A seleção, o dimensionamento e o controlo do sistema de bombagem, de doseamento e de aplicação do vedante foram os primeiros pontos trabalhados e as opções tomadas pelo autor apresentadas. Na parte do controlo, foram apresentadas as formas de controlo do caudal, da pressão e da temperatura do sistema de aplicação do vedante.

Deu-se a conhecer o *hardware* e *software* utilizado na implementação do sistema de testes da rotina de um robô usado para a aplicação em causa. Neste conjunto de testes foram dados a conhecer os vários componentes envolvidos e suas características.

Por parte do robô, foi apresentada a sua rotina de trabalho e as escolhas efetuadas para os seus referenciais. Após montagem do sistema de testes no robô, a rotina foi validada com êxito. Foi conclusivo que com os dados introduzidos com as três medidas do pneu, foi possível cumprir o ciclo de posicionamento desejado.

Recordando os objetivos inicialmente propostos:

- Dimensionamento e controlo de um sistema que permite aplicar compostos vedantes no interior de um pneu;
- Seleção, dimensionamento e controlo do sistema de bombagem e doseamento;
- Desenho e conceção do dispositivo de aplicação;
- Seleção, dimensionamento e controlo do sistema de aquecimento;
- Desenvolvimento de uma rotina de controlo de aplicação do vedante com recurso a um robô.

Comparando o trabalho desenvolvido com os objetivos inicialmente propostos, conclui-se que estes foram cumpridos na totalidade.

Na opinião do autor, este trabalho revela-se com utilidade de ser o ponto de partida e continuação do desenvolvimento do projeto.

7.2 Trabalhos futuros

Com a presente dissertação finalizada, são agora sugeridas eventuais vias com vista ao prosseguimento deste projeto. As sugestões para potenciais trabalhos futuros são:

- Realização de testes após construção do sistema de aplicação do vedante proposto;
- Ajuste e melhoramento do sistema de aplicação de vedante em face dos testes realizados;
- Integração do sistema de aplicação do vedante com outros sistemas existentes numa linha de produção.

Anexo A

Grafcets comportamentais

A.1 Grafcet (G1)

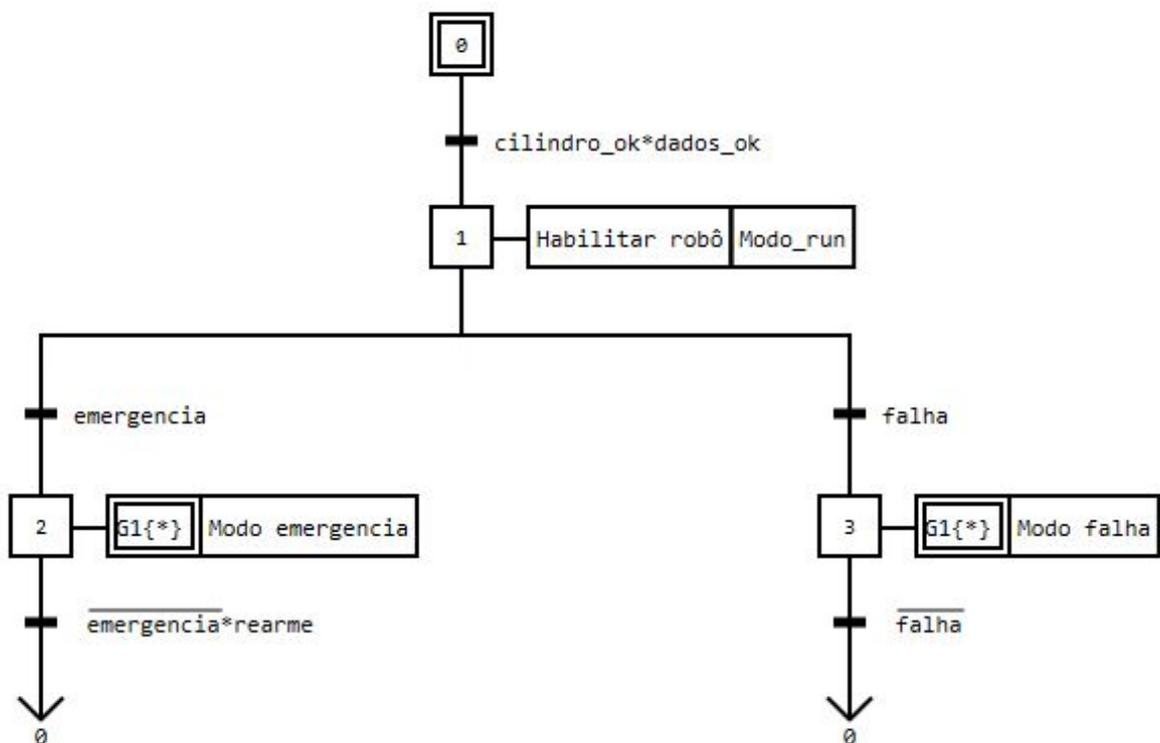


Figura A.1 - Grafcet comportamental G1.

A.2 Graficet (G2)

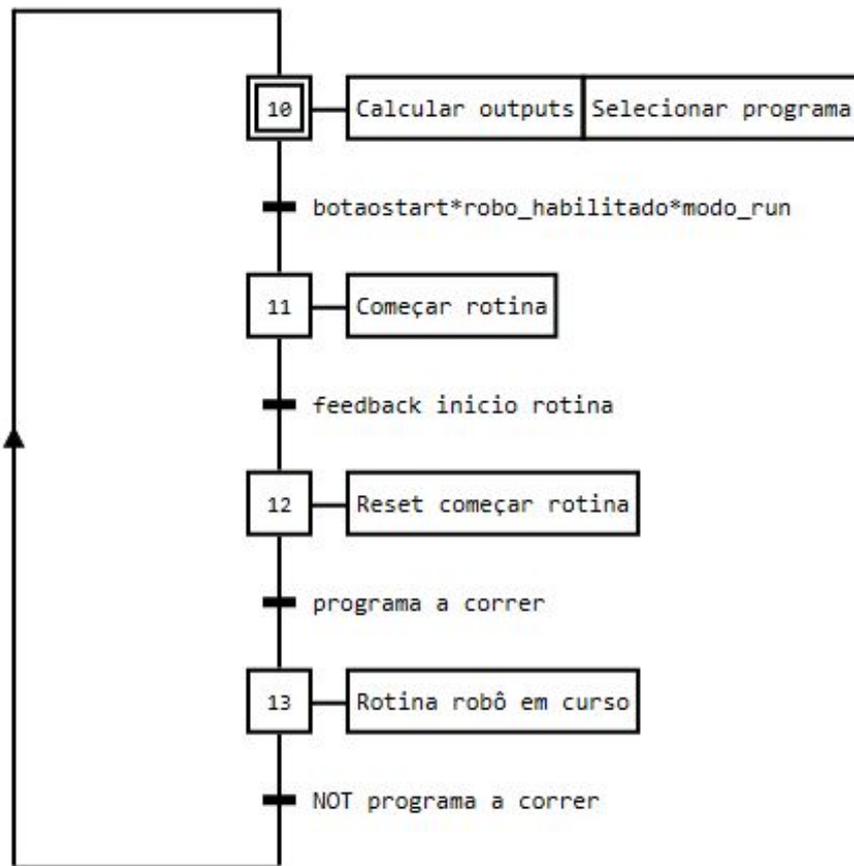


Figura A.2 - Graficet comportamental G2.

A.3 Grafcet (G3)

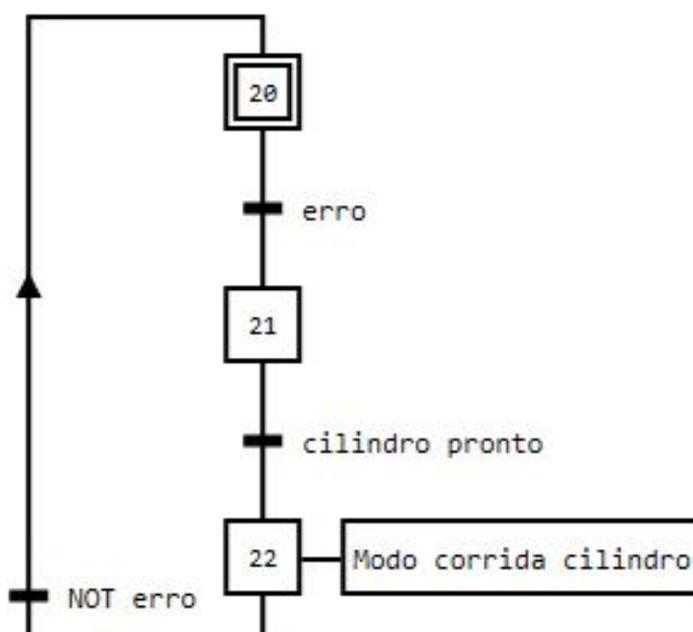


Figura A.3 - Grafcet comportamental G3.

A.4 Graficet (G4)

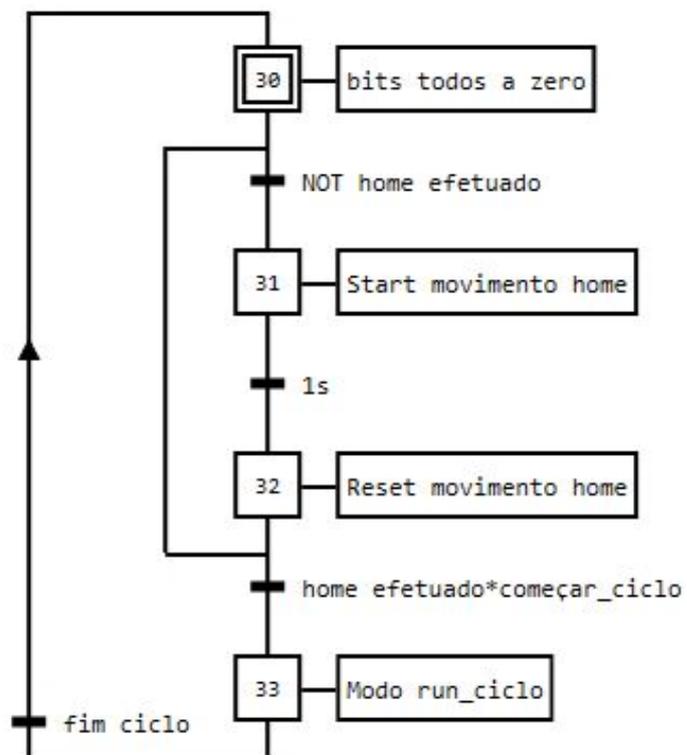


Figura A.4 - Graficet comportamental G4.

A.5 Grafcet (G5)



Figura A.5 - Grafcet comportamental G5.

Anexo B

Elementos complementares à ferramenta de testes

B.1 Fonte de alimentação



Figura B.1 - Fonte de alimentação da *Siemens*.

B.2 Disjuntor magneto-térmico



Figura B.2 - Disjuntor magneto-térmico.

B.3 Distribuidor de corrente



Figura B.3 - Distribuidor de corrente - MICO 4.10.

Tabela B.1 - Características principais do MICO 4.10.

Entrada	
Tensão operacional	24 V DC (18 ... 30 V DC)
Controle de entradas	
Tensão de entrada (ON)	10 ... 30 V DC
Duração impulso (ON)	min. 20 ms
Saídas de controle	
Alarme grupo de saída	livre de potencial 30 V AC/DC, 100 mA
Dados gerais	
Dimensões AxLxP	90x70x80 mm
Faixa de temperatura	0 ... +55°C (temp. de armazenamento -40 ... + 80 °C)
Saída	
Ajuste de corrente	4 A, 6 A, 8 A, 10 A, através de chave rotativa reversa
Capacitância da carga	máx. 20 mF (por canal)

B.4 Relé de segurança



Figura B.4 - Relé segurança PNOZ S2.

B.5 Painel de visualização

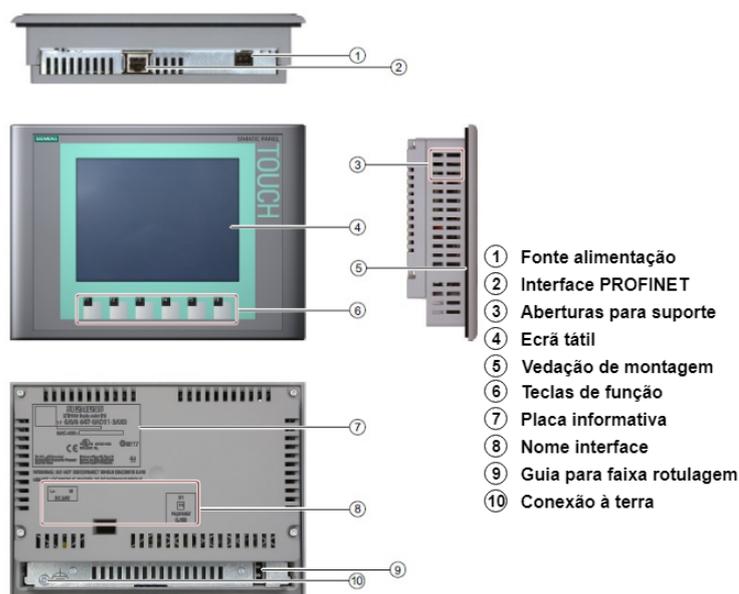


Figura B.5 - HMI KTP600 Basic Color PN.

Tabela B.2 - Principais especificações técnicas e funcionais da HMI.

Ecrã	TFT touch screen 5.7 polegadas 320x240 Pixeis 256 cores
Alimentação	350 mA @ 24 V DC (19.2 a 28.8 V)
Processador	RISC 32-bit
Memória de armazenamento	1 Mbyte
Porta comunicação	<i>Ethernet com conector RJ45</i>
Protocolos	<i>PROFINET, MODBUS/IP, EtherNet/IP</i>
Variáveis	Até 500
Teclado	6 teclas físicas de função programáveis Teclado numérico e alfanumérico virtual no ecrã

B.6 Robô Fanuc R-2000iC/210F

Tabela B.3 - Principais características do robô.

Eixos controláveis		6
Repetibilidade [mm]		± 0,05
Peso [kg]		1370
Máxima capacidade [kg]		210
Máximo alcance [mm]		2655
Limites movimento [°]	J1	370
	J2	136
	J3	312
	J4	720
	J5	250
	J6	720
Velocidade máxima [°/s]	J1	120
	J2	105
	J3	110
	J4	140
	J5	140
	J6	220
J4 Momento/Inércia [N· m/kg·m²]		1360/225.4
J5 Momento/Inércia [N· m/kg·m²]		1360/225.4
J6 Momento/Inércia [N· m/kg·m²]		735/196

Anexo C

Sistema de aplicação vedante

C.1 Therm-o-flow 200

Tabela C.1 - Especificações técnicas do sistema Therm-O-Flow 200. [22]

Área efetiva da bomba de deslocamento	8 cm ²
Volume/ciclo	192 cm ³
Ciclos/3,8 litros	21
Fluxo a 60 ciclos/min	10,6 l/min
Pressão de trabalho máxima do fluido	
NXT 2000	159 bar
NXT 3400	207 bar
NXT 6500	207 bar
Máxima pressão entrada ar (cilindros)	8,5 bar
Máxima pressão entrada ar (Bomba)	
NXT 2000	7 bar
NXT 3400	5,7 bar
NXT 6500	2,9 bar
Máxima temperatura operação bomba	204°C
Área efetiva do motor pneumático	
NXT 2000	182 cm ²
NXT 3400	285 cm ²
NXT 6500	545 cm ²
Curso	120 mm
Tamanho entrada ar	1/2 npsm
Tamanho saída bomba	1 in. npt
Material em contacto	Aço carbono; latão zinco cromado e níquel; 304; 316; 440; 17-4 PH de SST; Aço de liga: ferro dúctil; Teflon com enchimento vidro
Peso	545 kg
Peso deslocado	37 kg
Requisitos potência	
Ar comprimido	0,7 a 1,4 m ³ /min
Tensão (se selecionado)	220/240 trifásico 50/60 Hz 380/400 trifásico 50/60 Hz 470/490 trifásico 50/60 Hz 575 trifásico 50/60 Hz

Tabela C.2 - Constituintes de um sistema de bombagem TOF 200.

A	Válvula de ar principal do sistema
B	Filtro ar
C	Regulador motor pneumático
D	Válvula principal do motor pneumático
E	Cilindros do elevador
F	Bomba de alimentação aquecida
G	Prato pressor
H	Entrada ar
J	Quadro elétrico
K	Interruptor alimentação principal
L	Ecrã EasyKey e teclado
M	Painel controlo pneumático
N	Regulador subida do elevador
P	Regulador descida do elevador
R	Alavanca subida/descida do elevador
S	Válvula escape prato pressor
T	Regulador ar escape
U	Entrada potência elétrica
V	Válvula solenoide/de depressurização para ativação do motor pneumático
W	NXT motor pneumático
X	Regulador pneumático pilotado para motor pneumático
Y	Vara de sangramento da placa
Z	Válvula escape do reservatório
AA	Chamada manutenção
AB	Conexão Ethernet

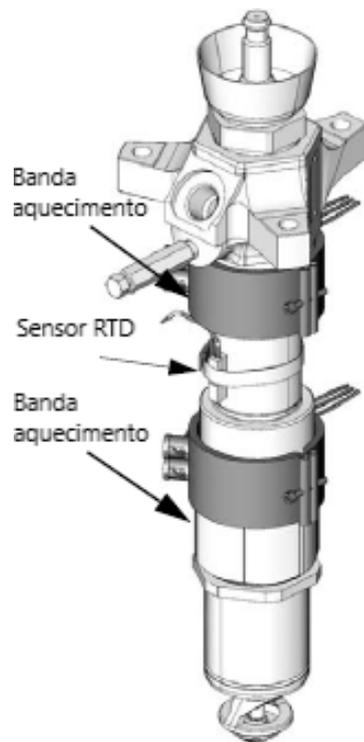


Figura C.1 - Forma de aquecimento da bomba de alimentação do sistema TOF 200.

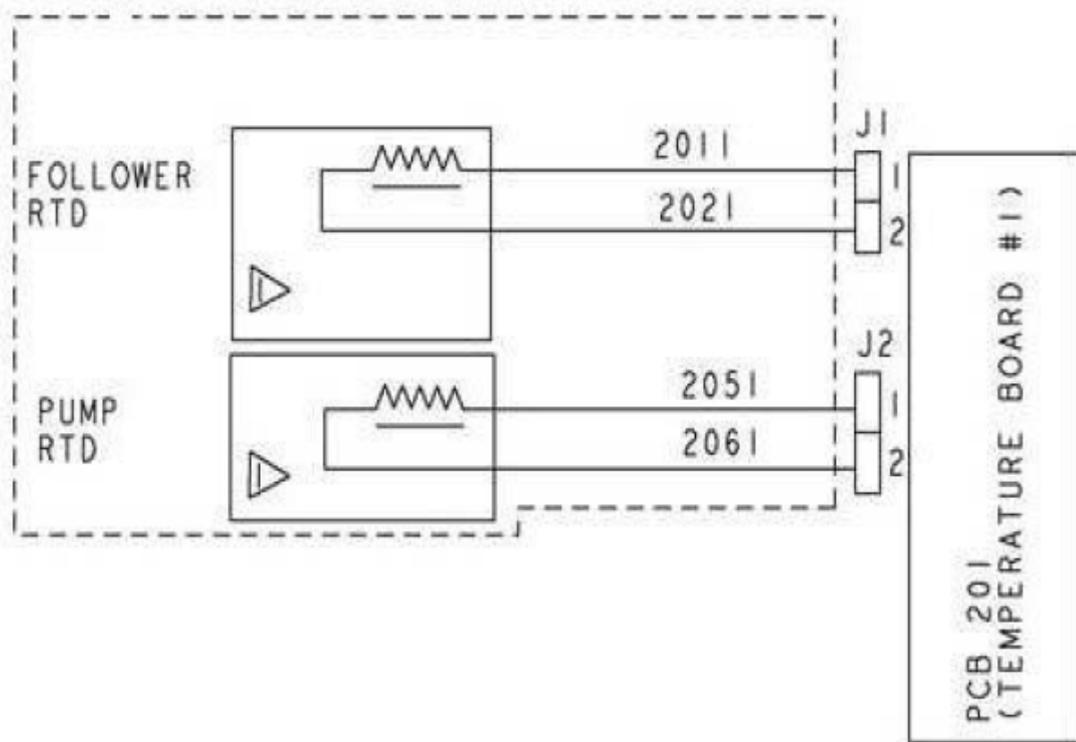


Figura C.2 - RTD do prato pressor e da bomba de alimentação.

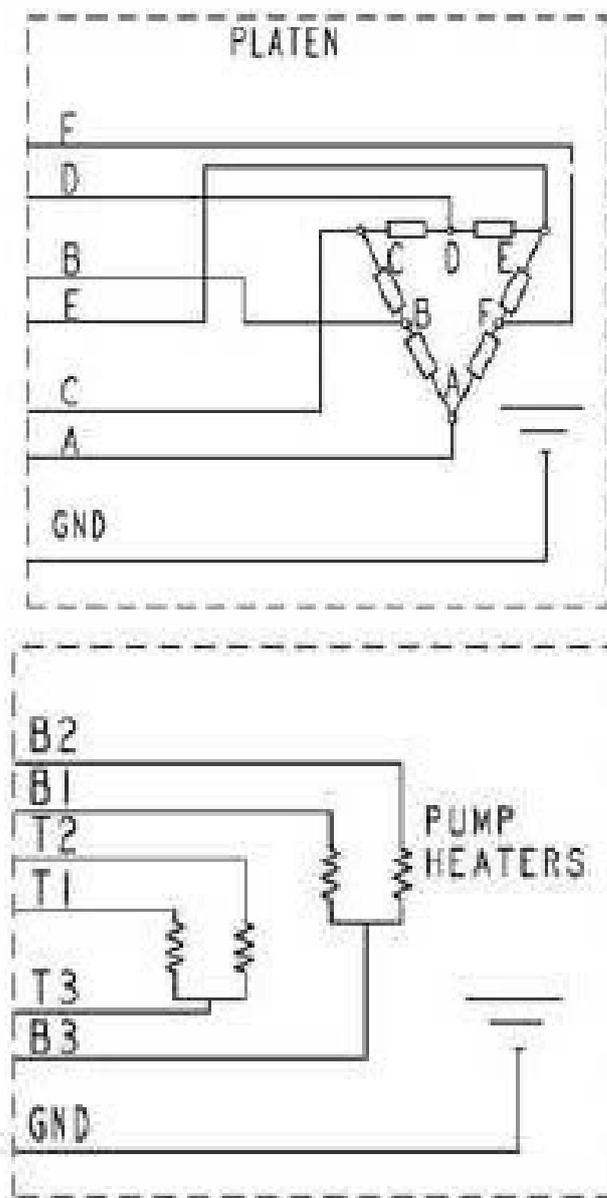


Figura C.3 - Esquema aquecimento prato pressor e bomba de alimentação.

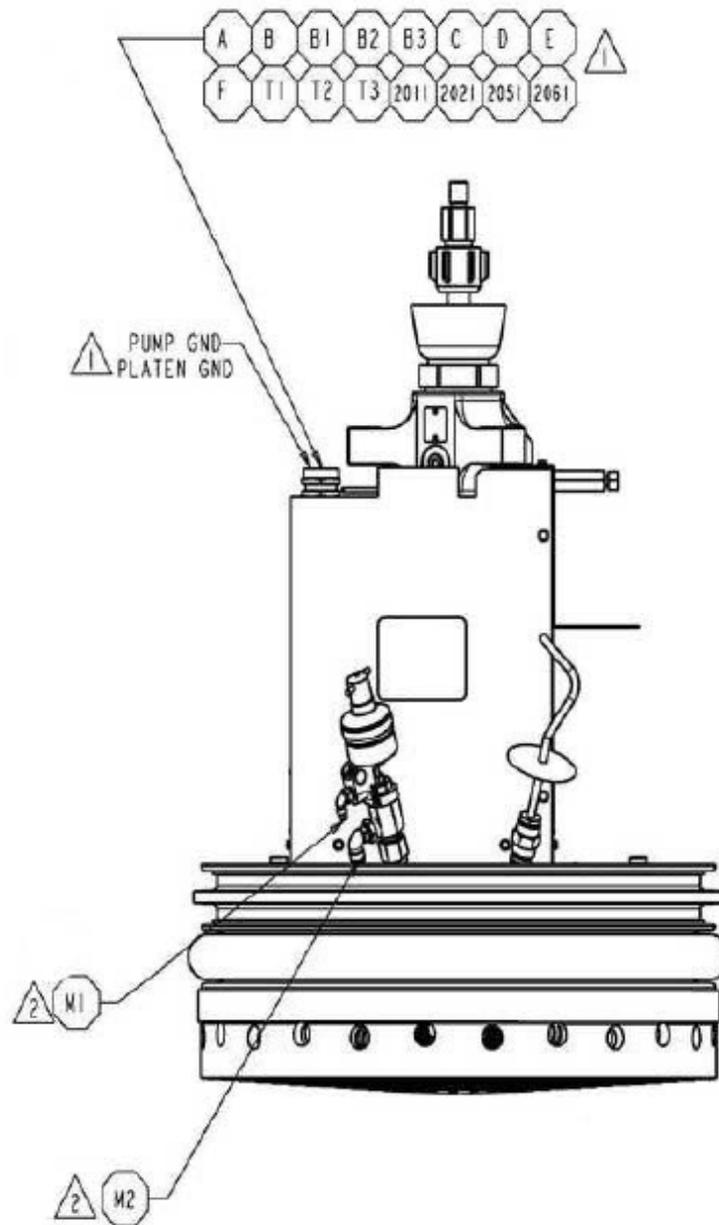


Figura C.4 - Localização ligação RTD e aquecimento.

C.2 Bombas Kremlin

Tabela C.3 - Modelos da gama Rexson.

Especificações	53C216	60C60	63C106	82C216
Rácio pressão	53:1	60:1	63:1	82:1
Tipo motor	7000	3000	5000	9000
Viscosidade (Pa.s) material até	500	400	600	1000
Volume por ciclo (cm³)	216	60	106	216
Fluxo livre em 60 ciclos (l/min)	12,9	3,6	6,3	12,9
Saída material em 15 ciclos (l/min)	3,3	0,9	1,6	3,3
Consumo de ar (m³/h) em 30 ciclos/min a 4 bar	102	30	66	102
Pressão máxima de entrada ar (bar)	6	6	6	6
Pressão máxima material (bar)	318	360	378	492
Peso (kg)	51	19	30	62

C.3 Bombas Grunfeld

Tabela C.4 - Especificações modelo BSA0200.

Capacidade do reservatório	200 litros
Relação bomba	65:1
Motor pneumático	305 mm
Saída bomba	23 l/min
Porta de saída	1.1/4"
Dimensões base	910 mm largura 1260 mm
Altura	1535 mm (Fechado) 2035 mm (Aberto) 2535 mm (Com mangueira)
Peso	200 kgs

C.4 Bombas de doseamento

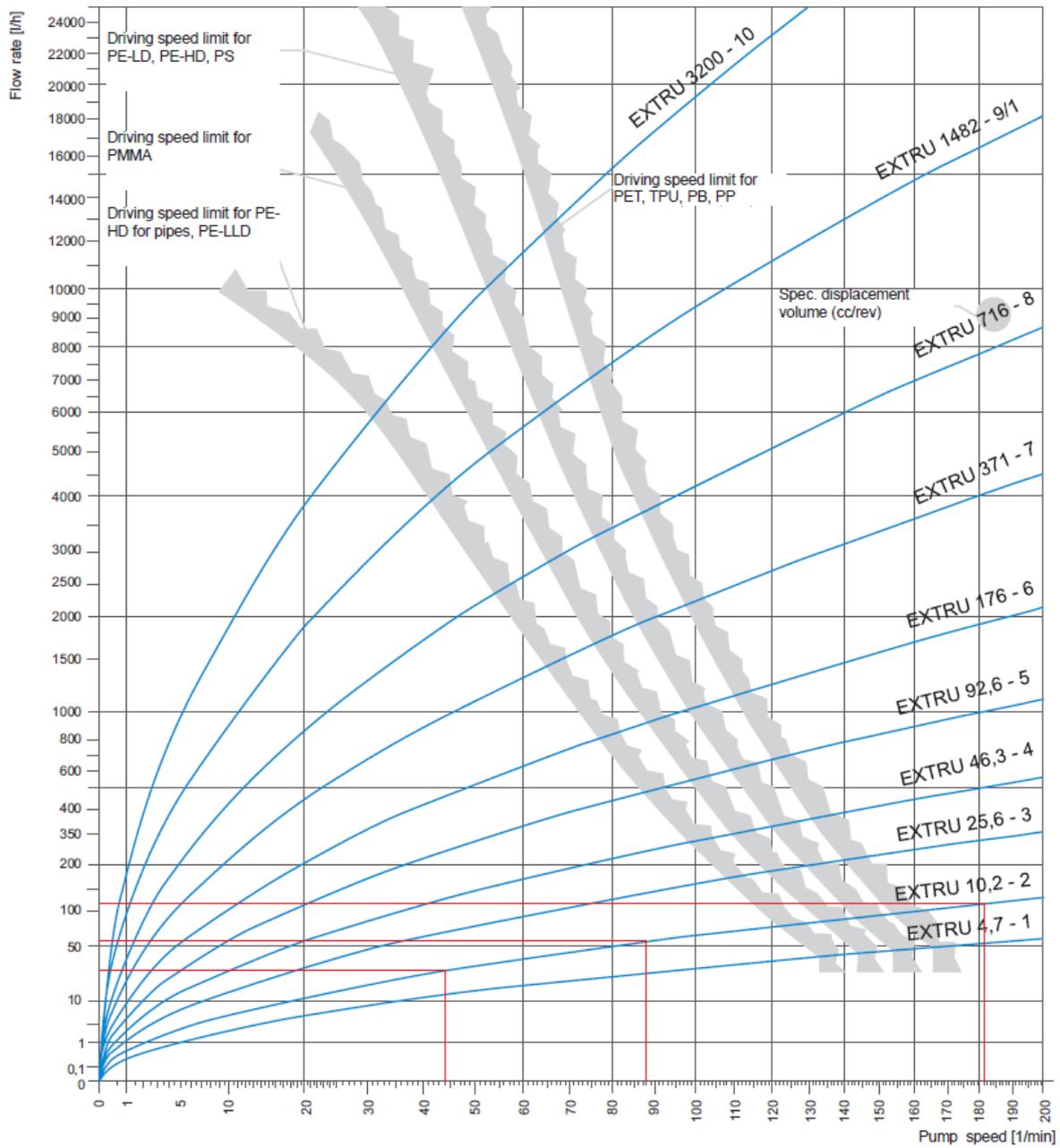


Figura C.5 - Gráfico do fluxo de material tendo em conta a velocidade de rotação da bomba EXTRU 10,2.

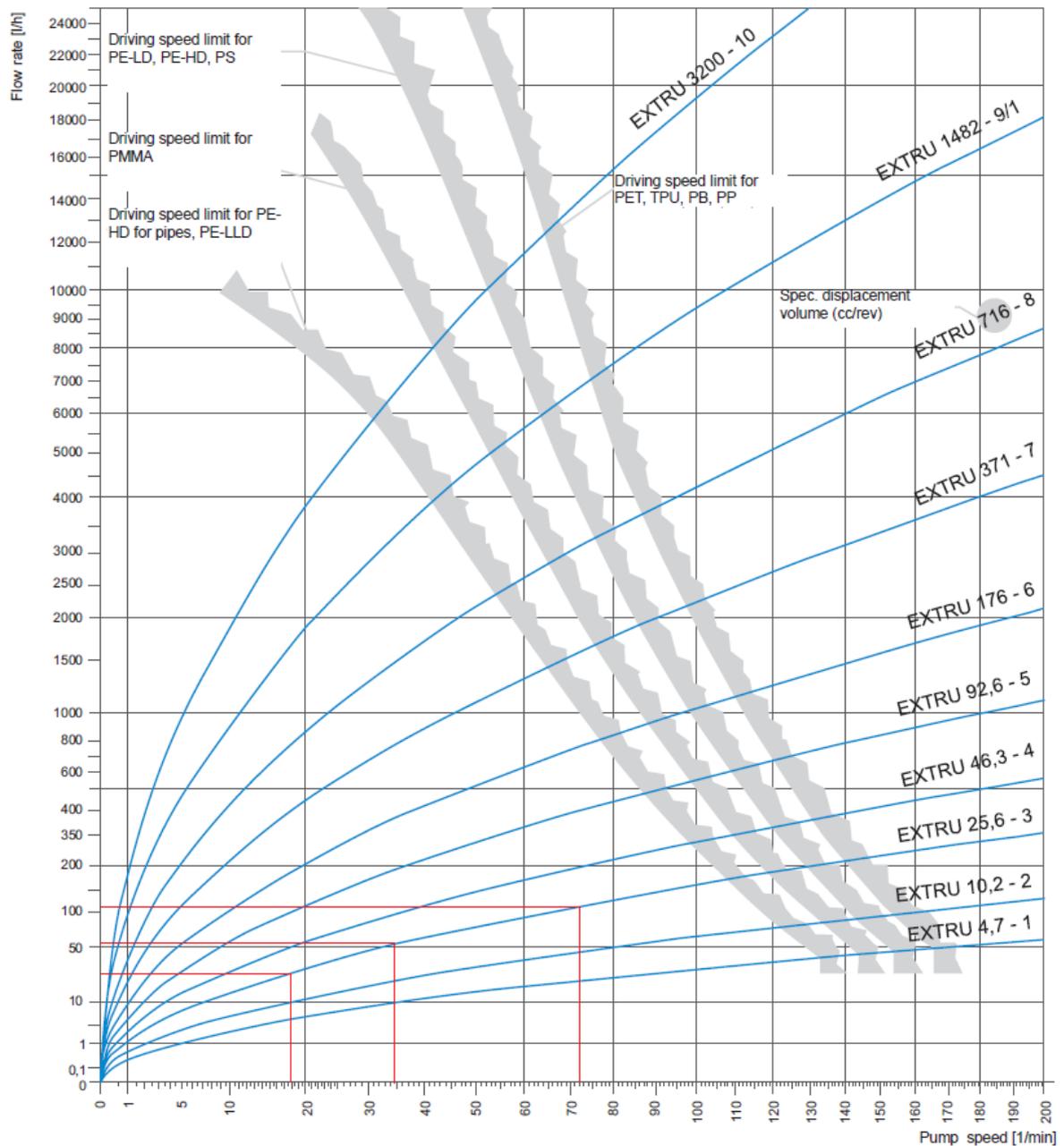


Figura C.6 - Gráfico do fluxo de material tendo em conta a velocidade de rotação da bomba EXTRU 25,6.

Tabela C.5 - Capacidade teórica de doseamento em litros/min.

Tamanho	500 rpm	750 rpm	1000 rpm	1500 rpm	3000 rpm
22/6	0,64	0,96	1,28	1,92	3,84
22/13	1,36	2,09	2,78	4,17	8,34
22/22	2,35	3,54	4,7	7,05	14,1
28/28	5,10	7,65	10,20	15,30	30,60
36/36	12,80	19,20	25,60	38,40	76,80
45/45	23,15	34,73	46,30	69,45	139,00
56/56	46,30	69,45	92,60	138,90	-
70/70	80,00	132,00	176,00	264,00	-
90/90	186,00	278,99	371,99	557,00	-
110/110	358,00	537,00	716,00	-	-
140/140	671,00	1007,00	1342,00	-	-
180/180	1606,00	2408,00	-	-	-

C.5 Transdutor de pressão

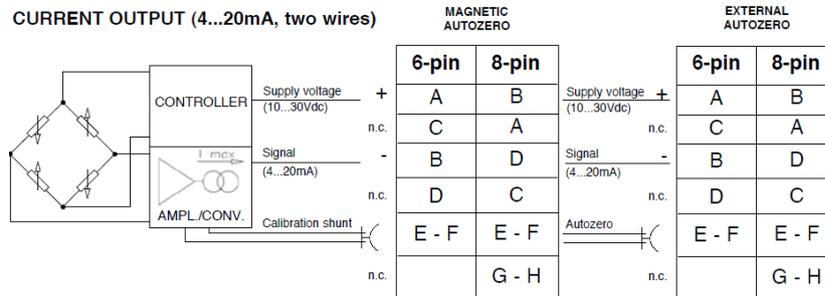


Figura C.7 - Ligação do transdutor de pressão.

6 pin connector
VPT07RA10-6PT2
(PT02A-10-6P)

8 pin connector
PC02E-12-8P Bendix

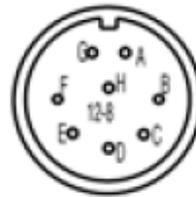
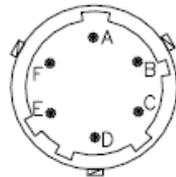


Figura C.8 - Ligação de 6 pinos ou 8 pinos.

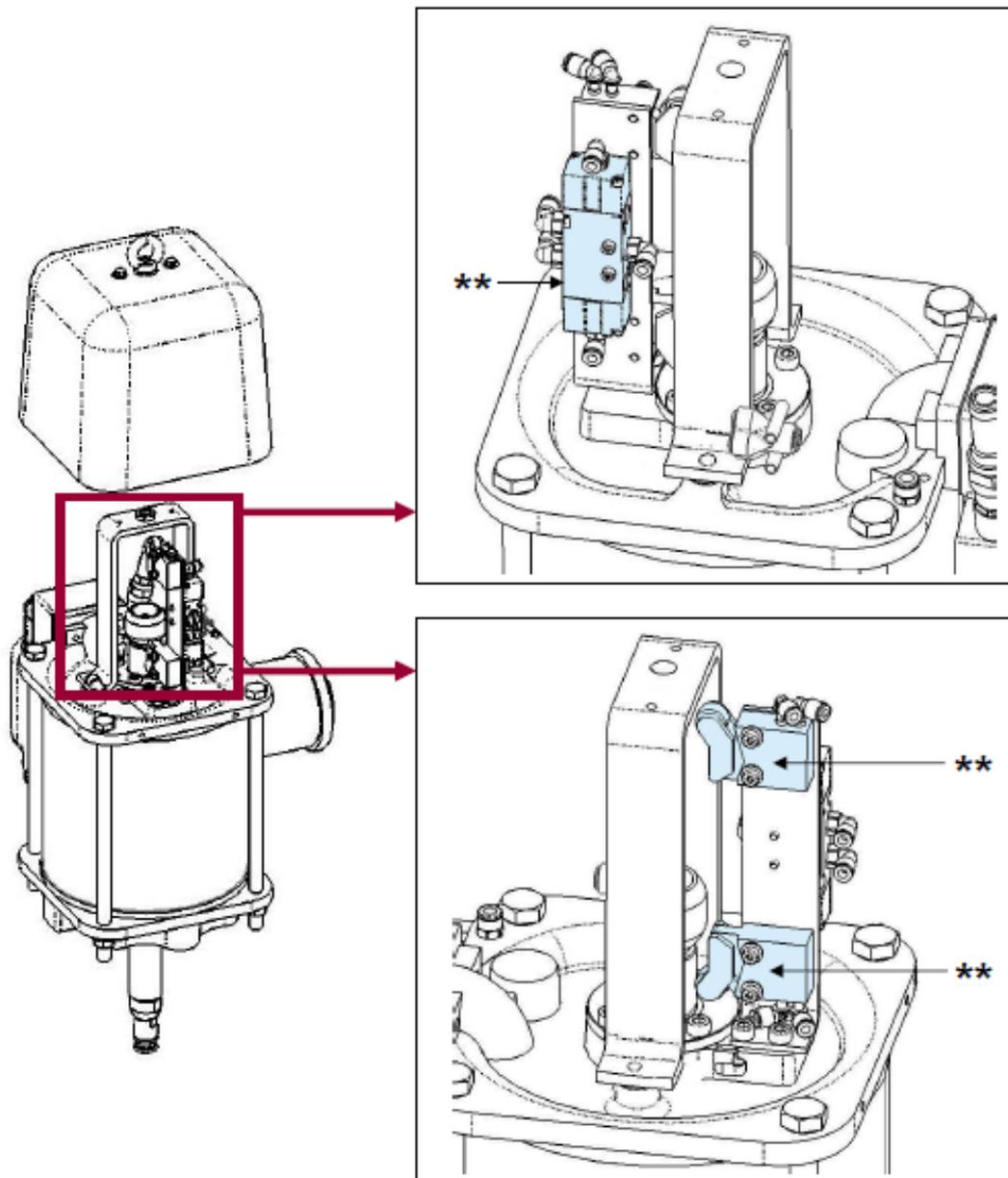


Figura C.10 - Válvula direcional 5/2 e válvulas de limite superior e inferior.[37]

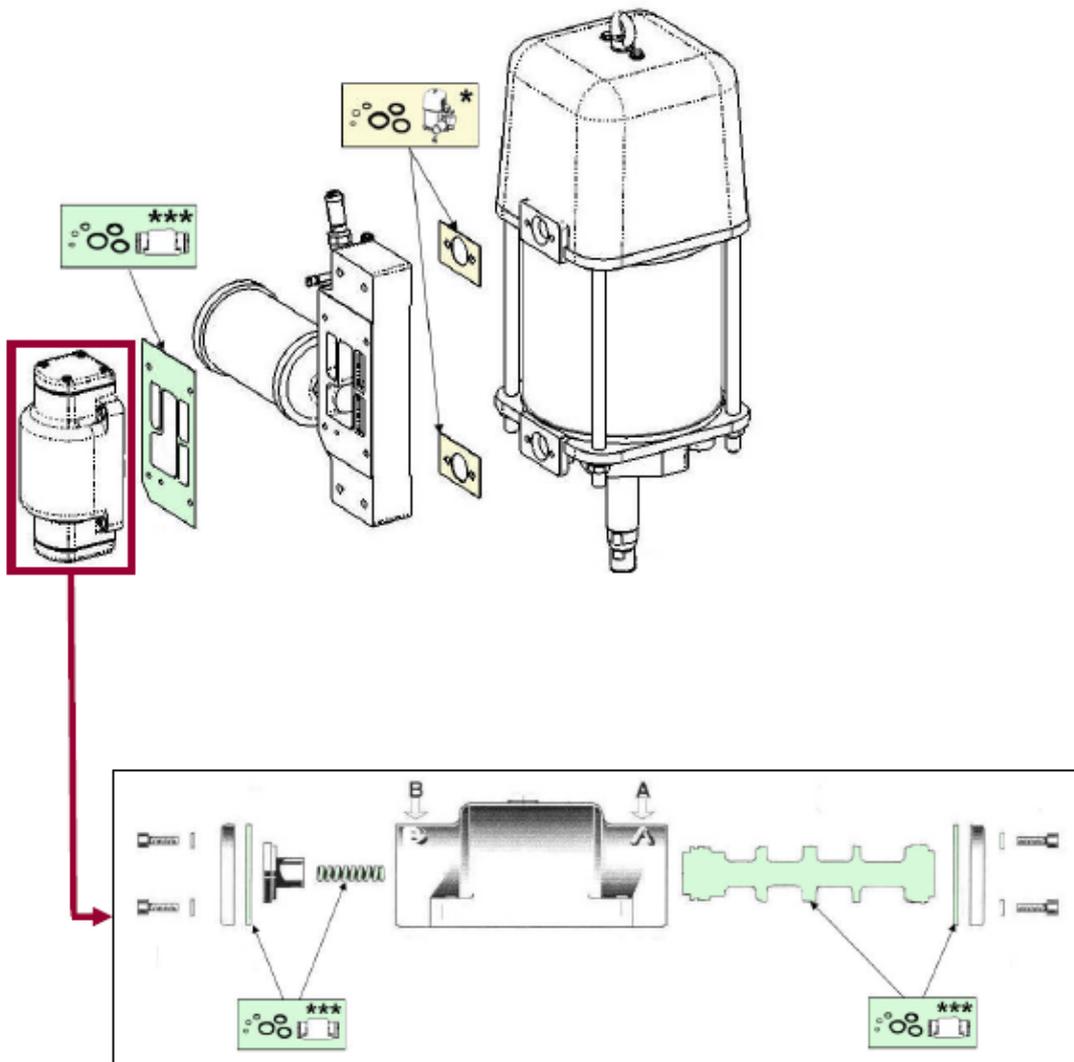


Figura C.11 - Válvula direcional para alimentação das câmaras da bomba.[37]

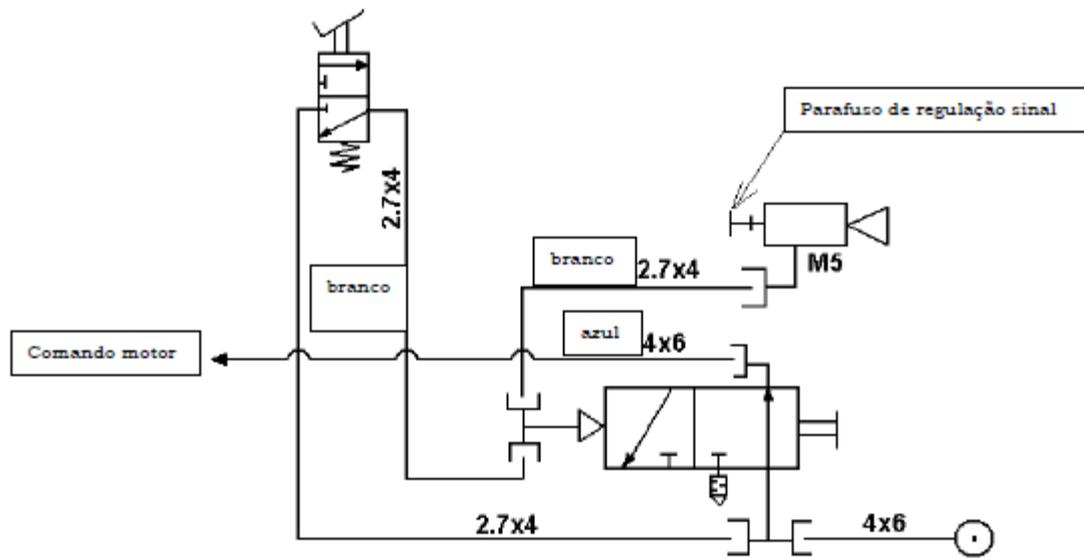


Figura C.12 - Esquema pneumático dos conjuntos de paragem da bomba no fim do bidão. [37]

C.7 Mangueiras de aquecimento

Tabela C.6 - Principais especificações das mangueiras do tipo RB400 Series.

Máx. temperatura trabalho	50°C/100°C/200°C
Tensão	230 V
Mangueira interna	PTFE T2-T3
Acessórios	Aço carbono / aço inoxidável
Isolamento térmico	Aramida
Camada proteção externa	Poliamida, PU
Tampa final	Tampa rígida
Sensor temperatura	PT100; Ni120
Conector	Tipo industrial

C.8 Graco - Extensão bidão vazio ou nível baixo

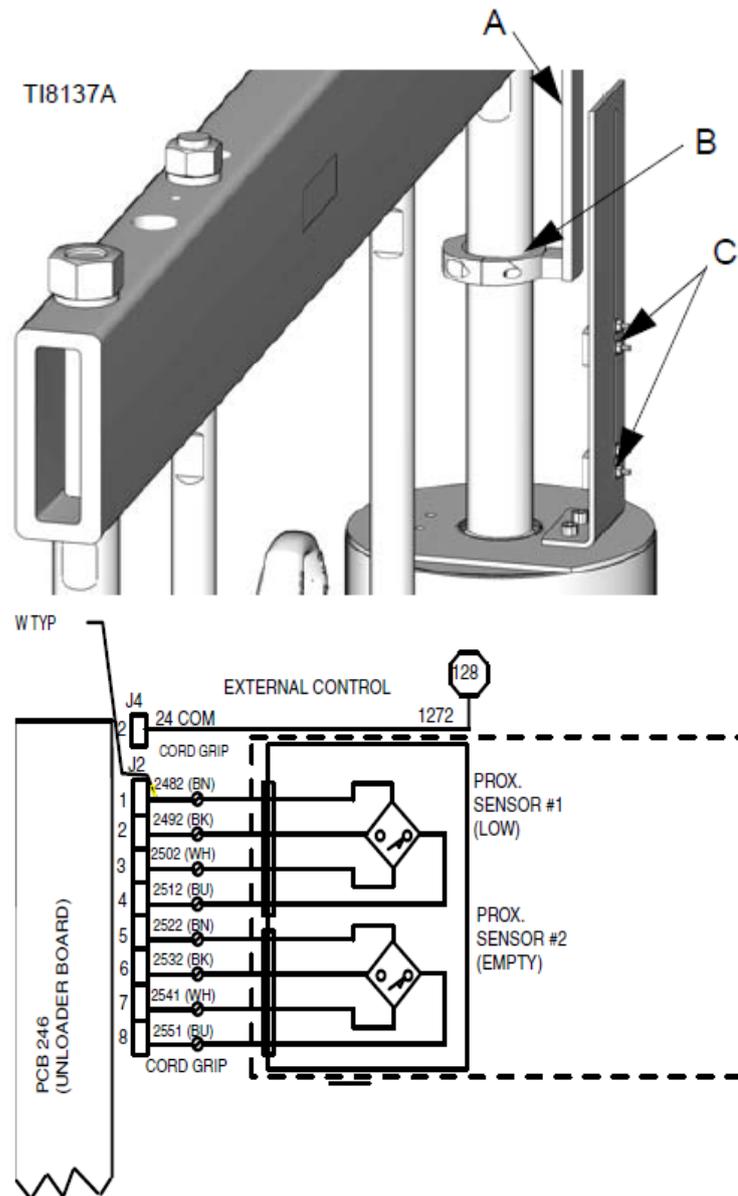


Figura C.13 - Extensão Graco sensores bidão.

C.9 Graco - Extensão E/S discretas

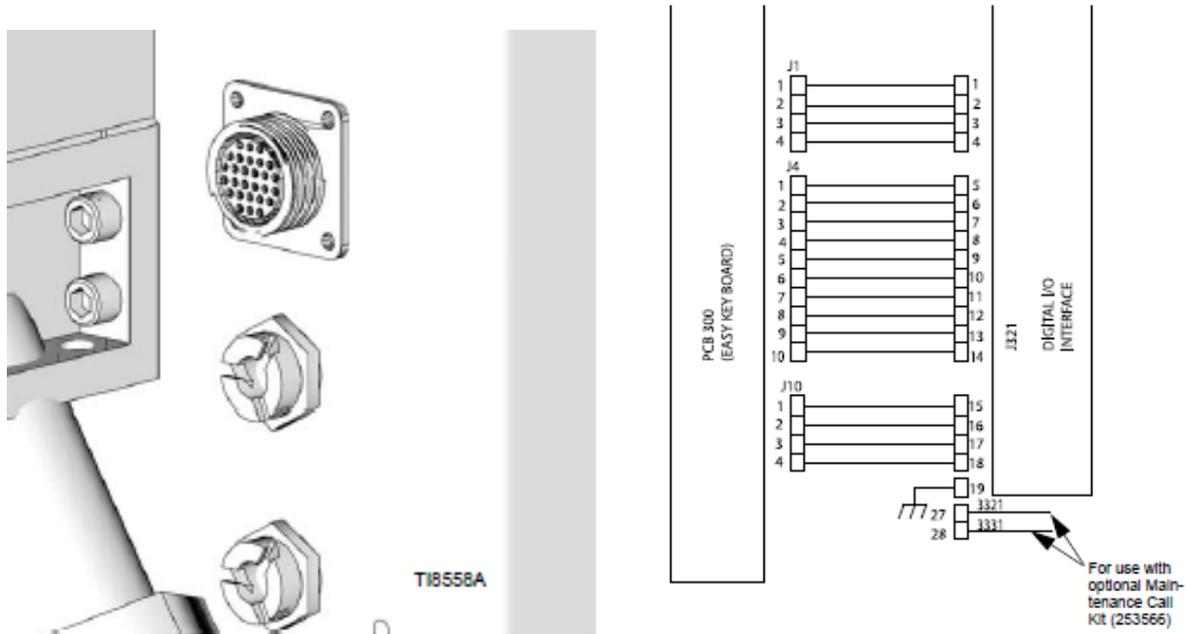
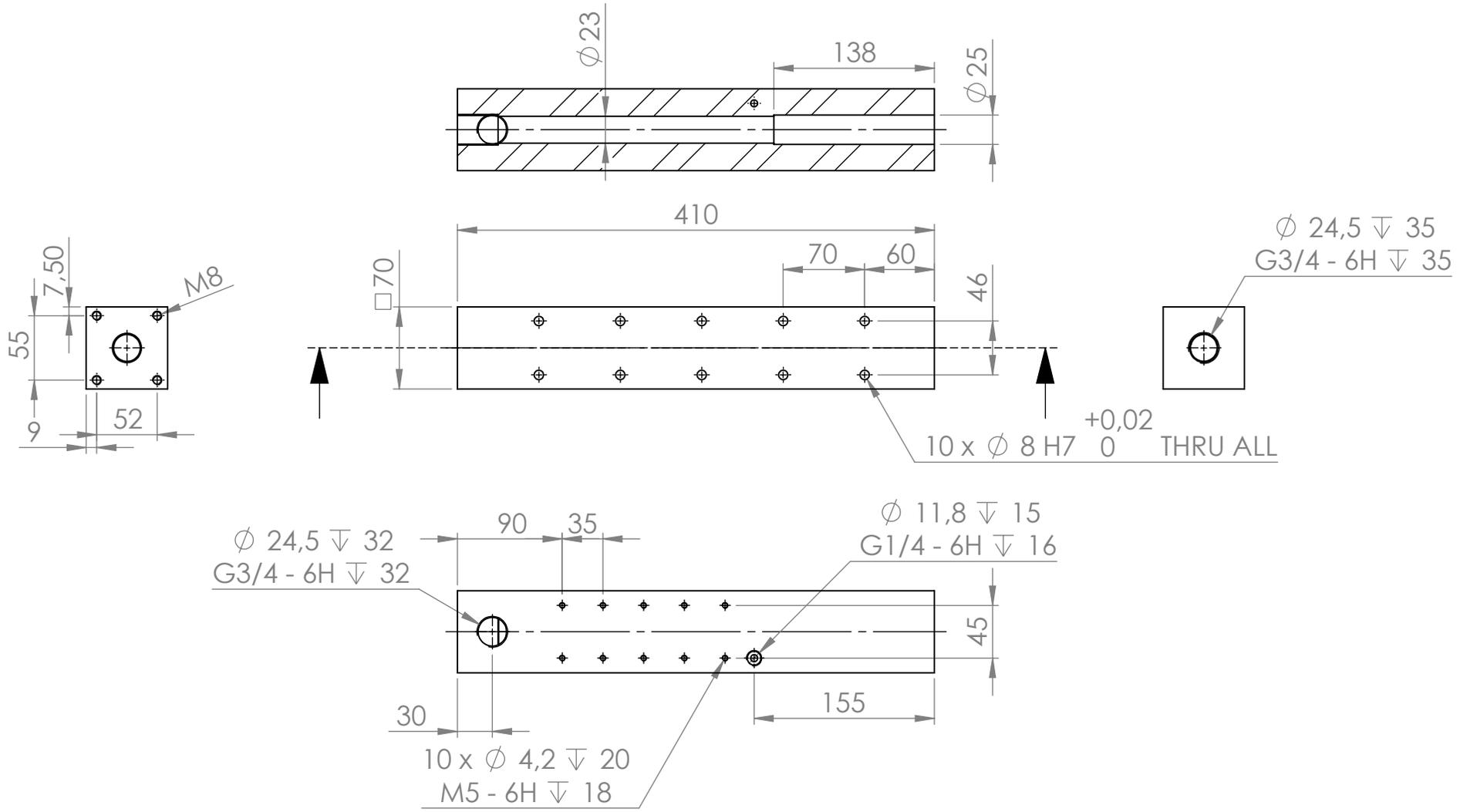


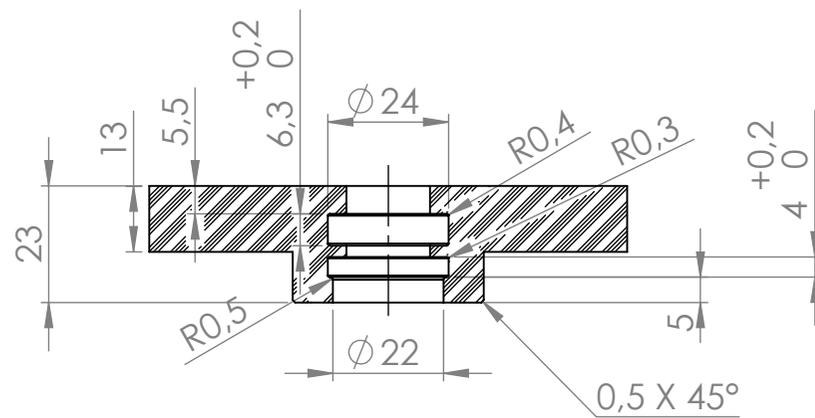
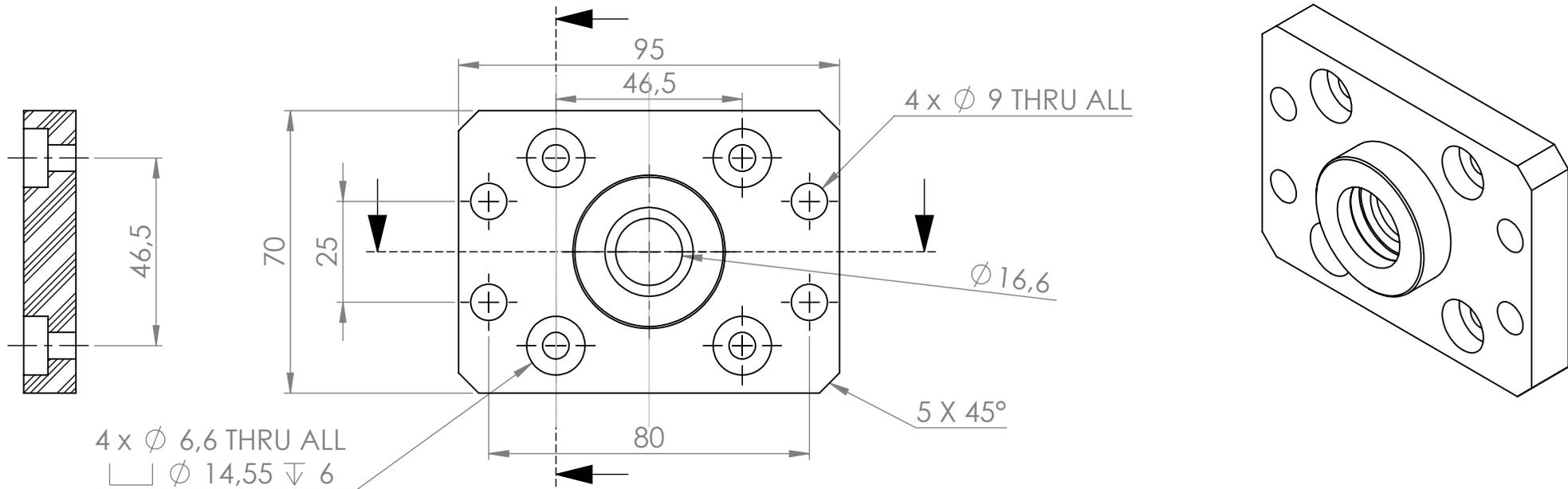
Figura C.14 - Extensão Graco E/S discretas.

Anexo D

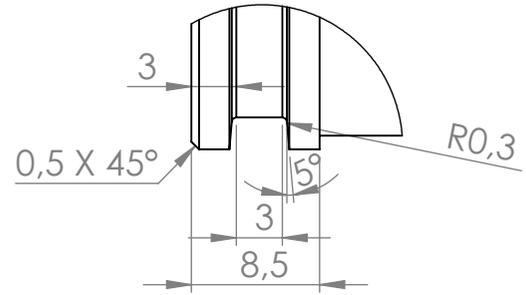
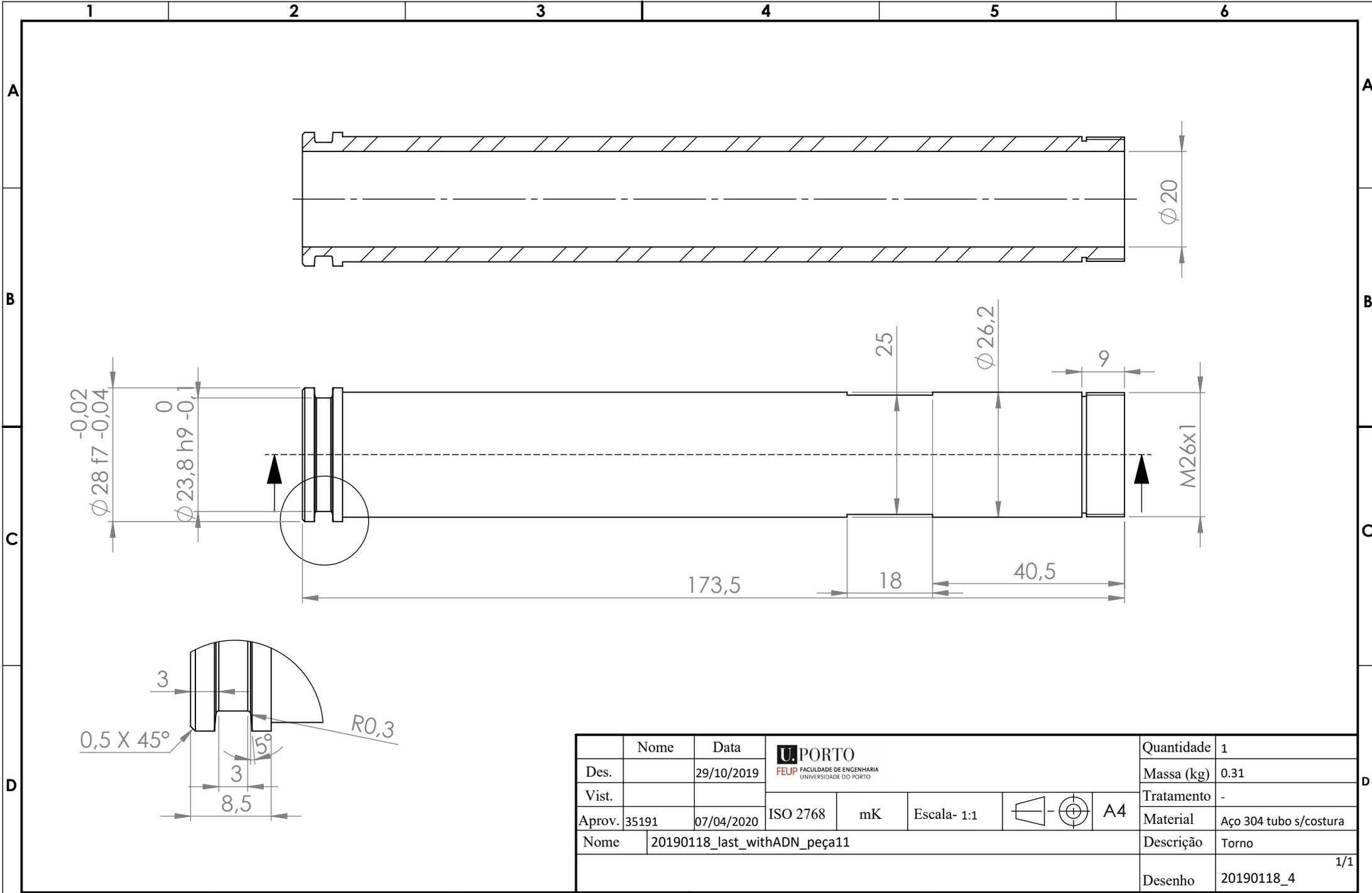
Desenhos da cabeça de aplicação de vedante



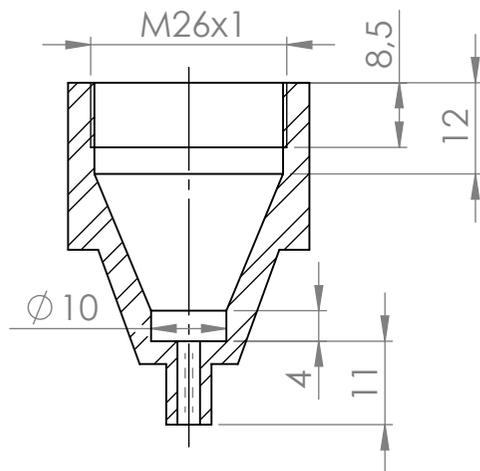
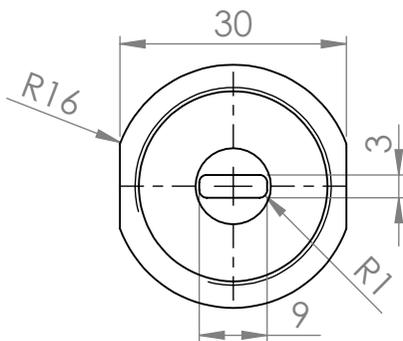
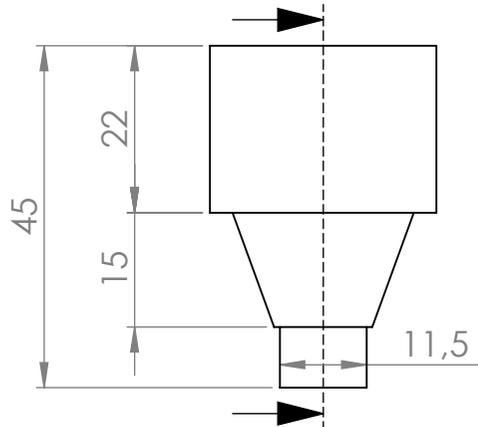
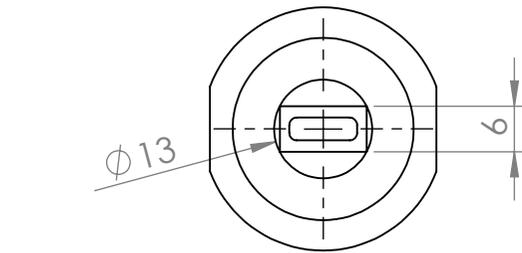
	Nome	Data	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	1
Des.		28/10/2019					Massa (kg)	13.89
Vist.							Tratamento	-
Aprov.	35191	07/04/2020	ISO 2768	mK	Escala- 1:5	A4	Material	Aço Ck45
Nome	20190118_last_withADN_peça10						Descrição	Fresa
							Desenho	20190118_1
								1/1



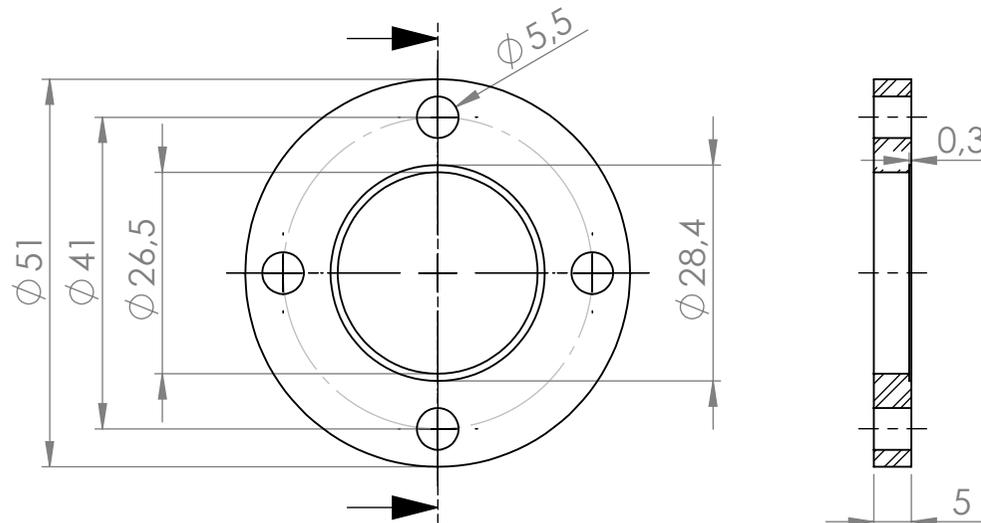
	Nome	Data	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	1
Des.		27/11/2019					Massa (kg)	0.11
Vist.							Tratamento	-
Aprov.	Ricardo Lei	15/01/2020	ISO 2768	mK	Escala- 2:3	A4	Material	Ketron Peek 1000
Nome	20190118_last_withADN_falange						Descrição	Fresa
							Desenho	20190118_3
								1/1



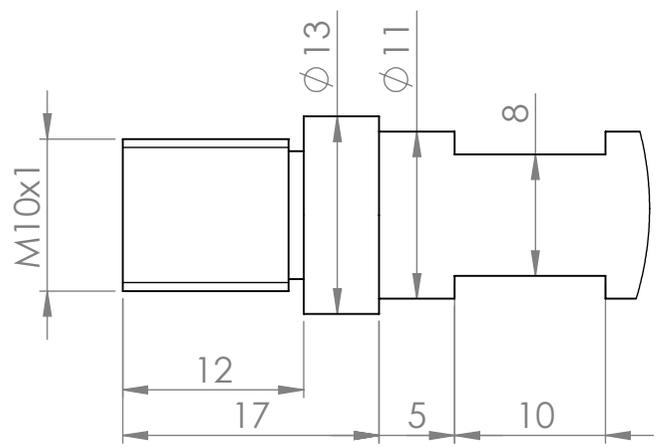
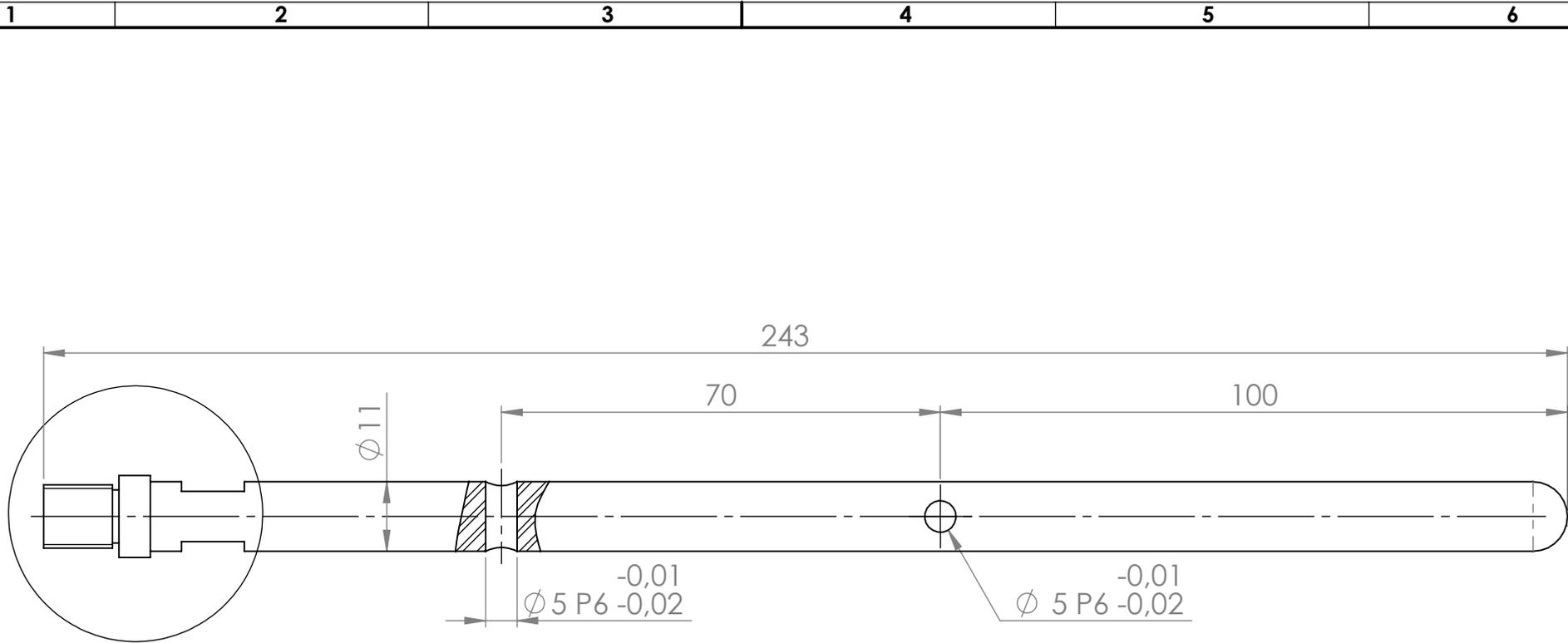
	Nome	Data	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	1
Des.		29/10/2019					Massa (kg)	0.31
Vist.							Tratamento	-
Aprov.	35191	07/04/2020	ISO 2768	mK	Escala- 1:1	A4	Material	Aço 304 tubo s/costura
Nome	20190118_last_withADN_peça11						Descrição	Torno
							Desenho	20190118_4
								1/1



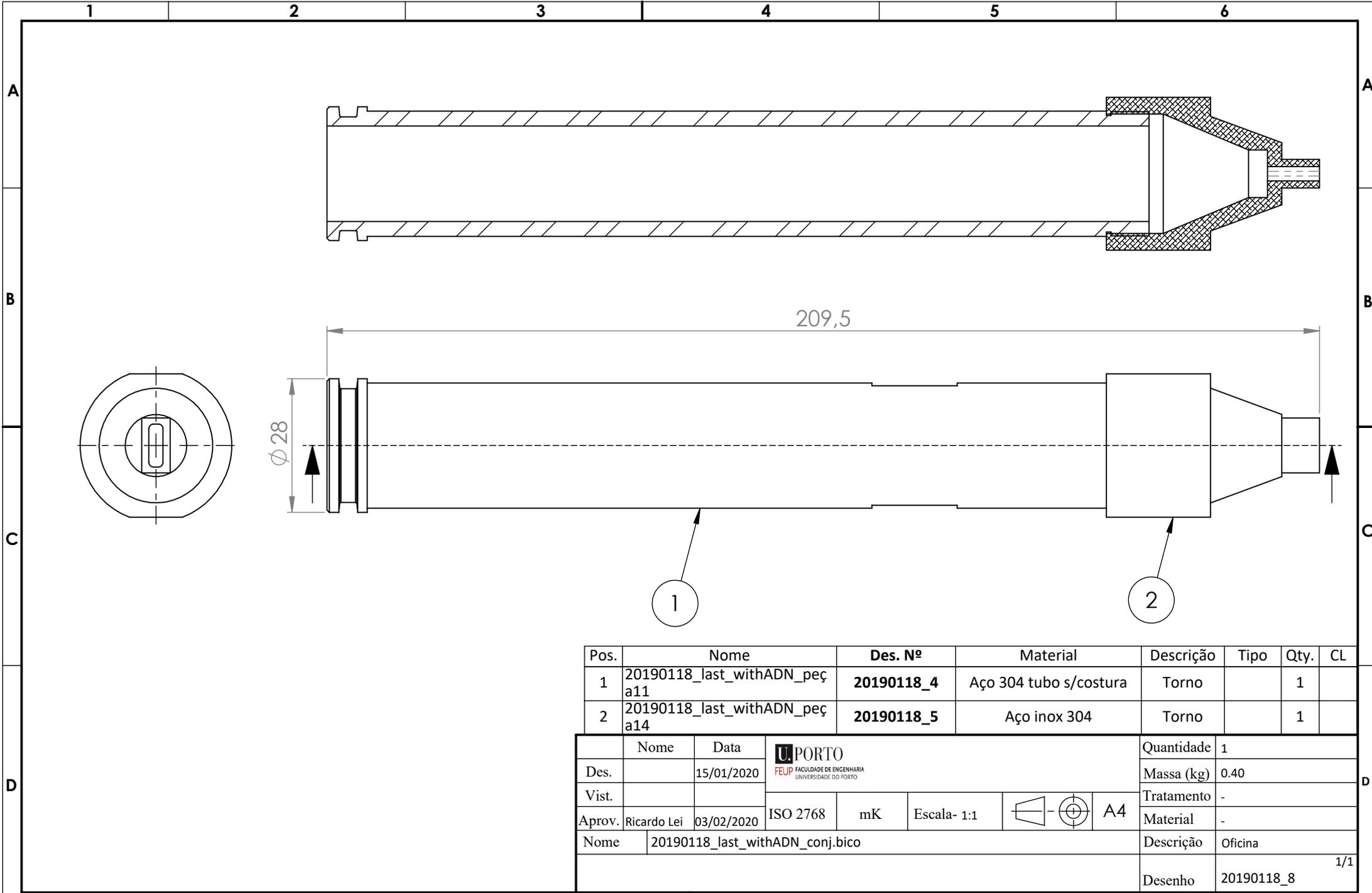
	Nome	Data	 PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	1
Des.		12/11/2019					Massa (kg)	0.09
Vist.							Tratamento	-
Aprov.	35191	07/04/2020	ISO 2768	mK	Escala- 1:1	 A4	Material	Aço inox 304
Nome	20190118_last_withADN_peça14						Descrição	Torno
							Desenho	20190118_5
								1/1



	Nome	Data					Quantidade	1
Des.		30/10/2019	<small>FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO</small>				Massa (kg)	0.06
Vist.							Tratamento	-
Aprov.	35191	07/04/2020	ISO 2768	mK	Escala- 1:1		Material	Aço inox 304
Nome	20190118_last_withADN_peça12						Descrição	Torno
							Desenho	20190118_6
								1/1

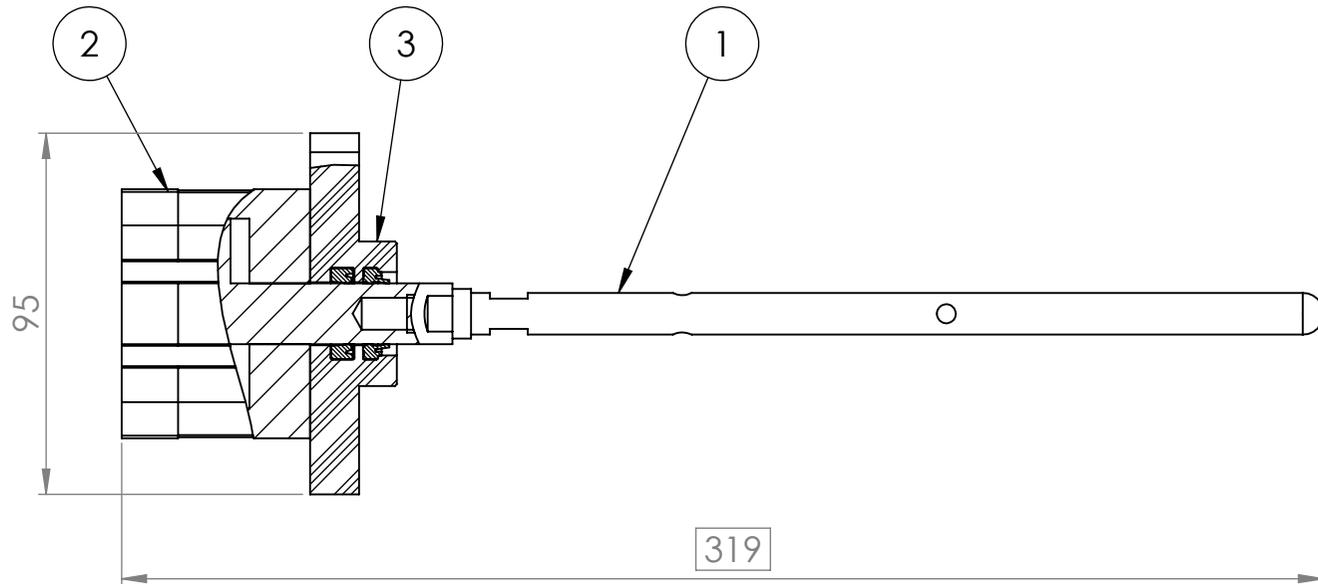
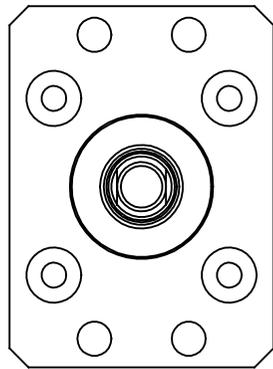


	Nome	Data	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	1
Des.		30/10/2019					Massa (kg)	0.18
Vist.							Tratamento	-
Aprov.	35191	07/04/2020	ISO 2768	mK	Escala- 1:1	A4	Material	Aço AISI 316
Nome	20190118_last_withADN_peça13						Descrição	Torno
							Desenho	20190118_7
								1/1



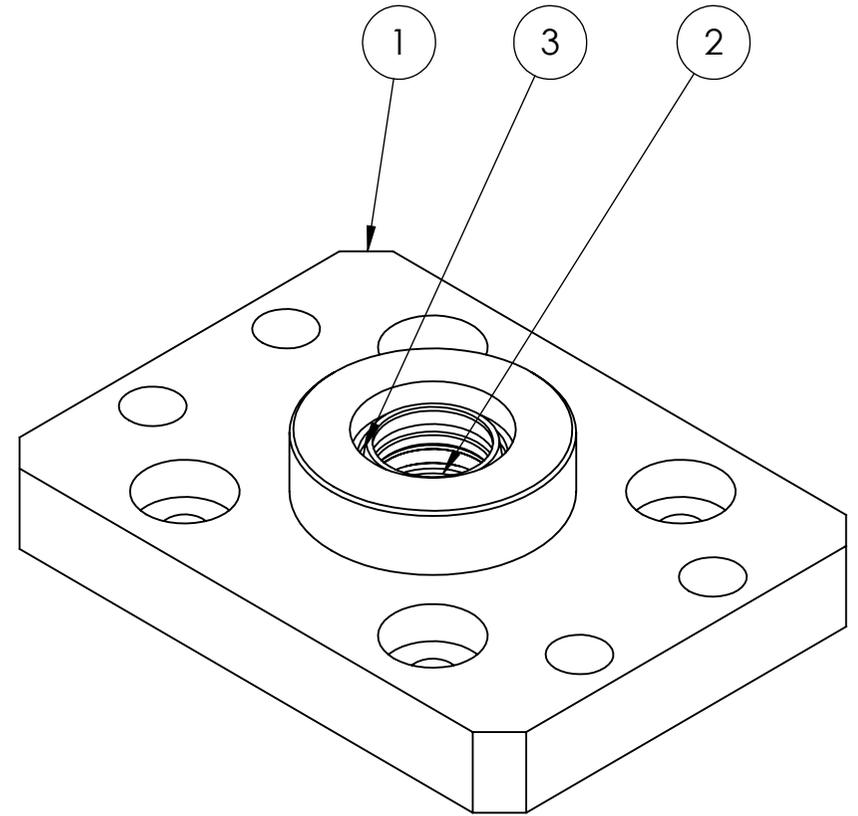
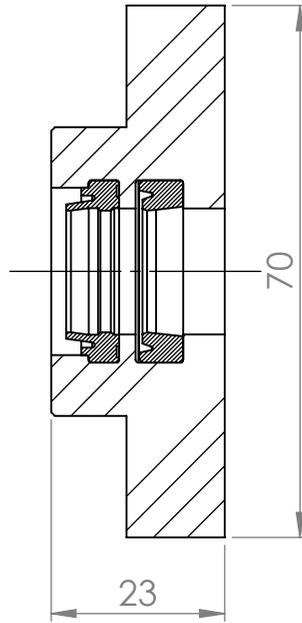
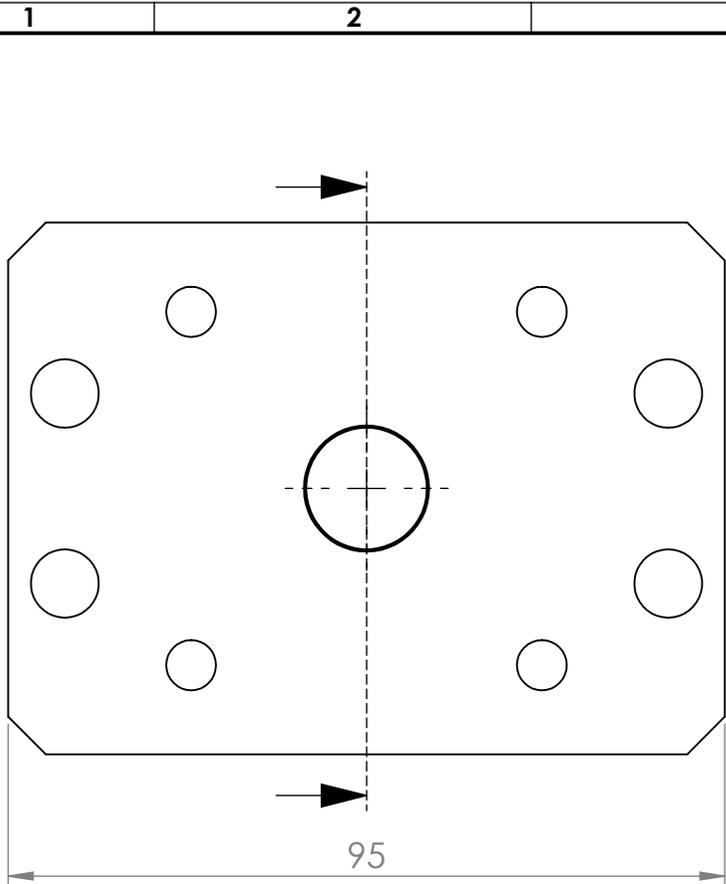
Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	20190118_last_withADN_peç a11	20190118_4	Aço 304 tubo s/costura	Torno		1	
2	20190118_last_withADN_peç a14	20190118_5	Aço inox 304	Torno		1	

Nome	Data	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	1
Des.	15/01/2020					Massa (kg)	0.40
Vist.						Tratamento	-
Aprov.	Ricardo Lei 03/02/2020	ISO 2768	mK	Escala- 1:1	A4	Material	-
Nome	20190118_last_withADN_conj.bico					Descrição	Oficina
						Desenho	20190118_8
							1/1



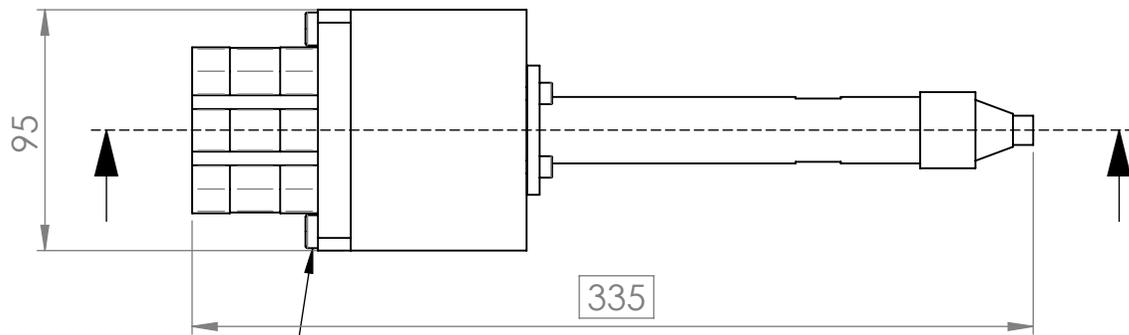
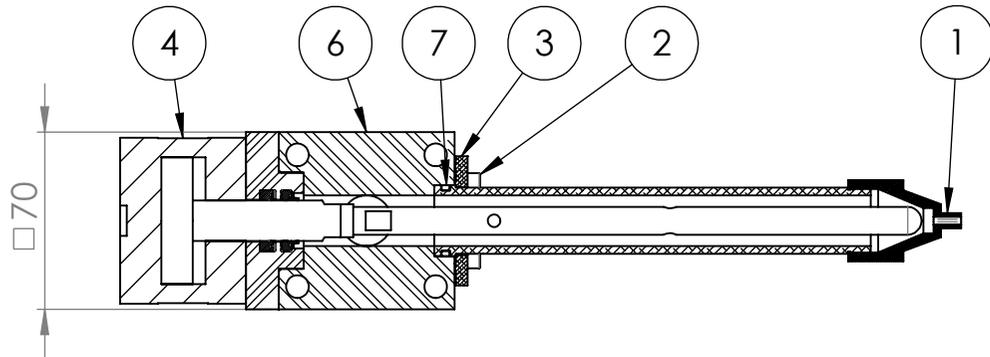
Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	20190118_last_withADN_peç a13	20190118_7	Aço AISI 316	Torno		1	
2	201908118_ADN-50-5-I-P-A- 30K8-S6	Festo	ADN-50-5-I-P-A-30K8-S6	Compra		1	
3	20190118_last_withADN_conj falange	20190118_10	-	Oficina		1	

Nome	Data	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	1
Des.	15/01/2020					Massa (kg)	-
Vist.						Tratamento	-
Aprov.	Ricardo Lei 03/02/2020	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Material	-
Nome	20190118_last_withADN_conj.veio_cilindro					Descrição	Oficina
						Desenho	20190118_9
							1/1



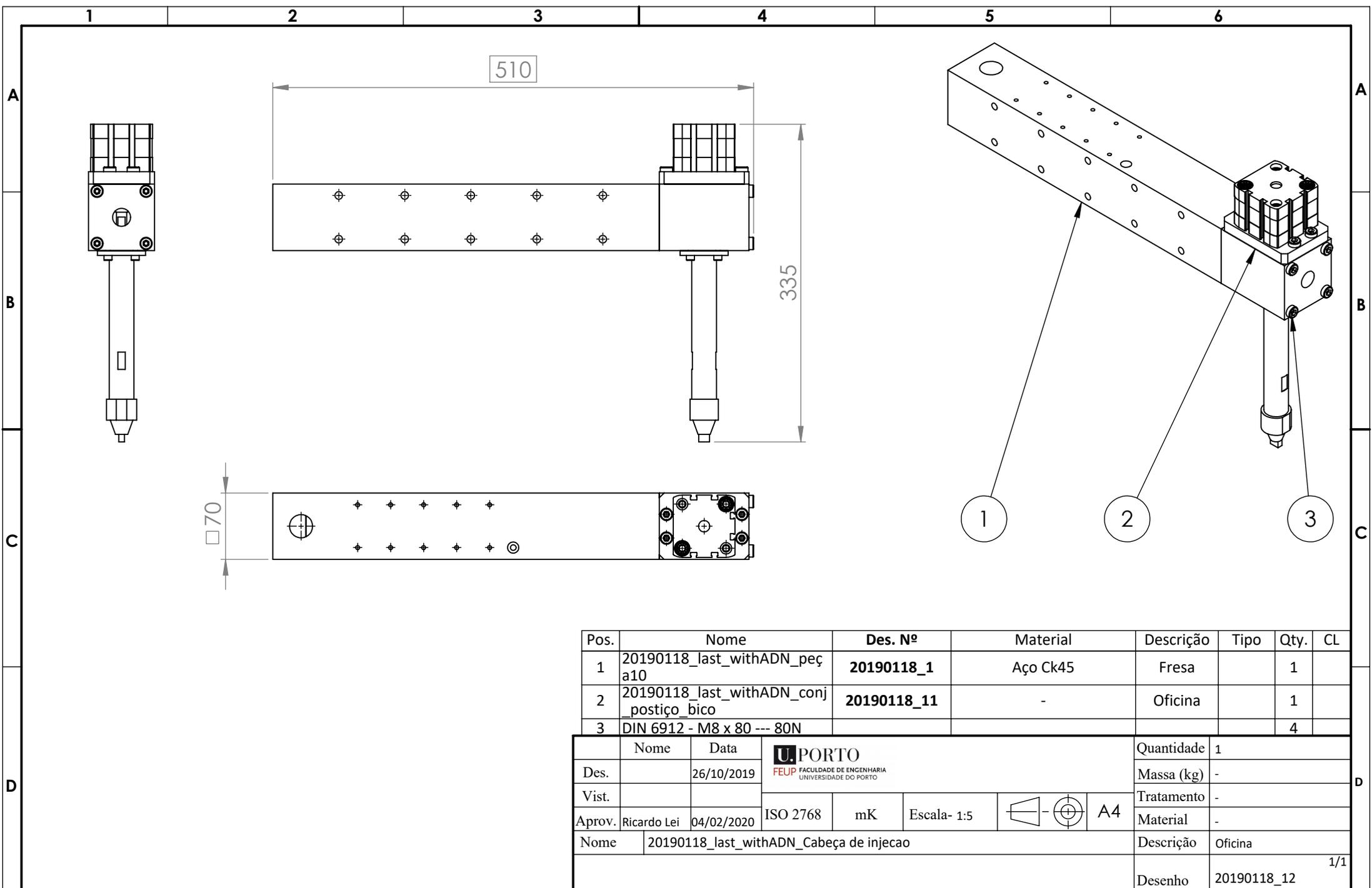
Pos.	Nome	Des. N°	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	20190118_last_withADN_falange	20190118_3	Ketron Peek 1000	Fresa		1	
2	24223260 T20 16 24 5.7 (01)	ahpseals	S1	Compra		1	
3	24314499 PU5 16 24 7 (0)	SIMRIT	Wiper PU 5	Compra		1	

	Nome	Data					Quantidade	1
Des.		15/01/2020					Massa (kg)	-
Vist.			Tratamento	-				
Aprov.	Ricardo Lei	15/01/2020	ISO 2768	mK	Escala- 1:1		Material	-
Nome	20190118_last_withADN_conj_falange						Descrição	Oficina
							Desenho	20190118_10
								1/1



Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	20190118_last_withADN_conj.bico	20190118_8	-	Oficina		1	
2	DIN 912 M5 x 20 --- 20N					4	
3	20190118_last_withADN_peça12	20190118_6	Aço inox 304	Torno		1	
4	20190118_last_withADN_conj.veio_cilindro	20190118_9	-	Oficina		1	
5	DIN 6912 - M8 x 30 --- 30N					4	
6	20190118_last_withADN_postiço	20190118_2	Aço inox 304	Fresa		1	
7	20190118_o-ring_OD36	SKF	OR23.47x2,62-V-7503	Compra		1	

Nome	Data					Quantidade	1
Des.	15/01/2020					Massa (kg)	-
Vist.		ISO 2768	mK	Escala- 1:3		Tratamento	-
Aprov.	Ricardo Lei 03/02/2020					Material	-
Nome	20190118_last_withADN_conj_postiço_bico					Descrição	Oficina
						Desenho	20190118_11
							1/1



Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	20190118_last_withADN_peç a10	20190118_1	Aço Ck45	Fresa		1	
2	20190118_last_withADN_conj postição_bico	20190118_11	-	Oficina		1	
3	DIN 6912 - M8 x 80 --- 80N					4	

Nome		Data	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	1
Des.		26/10/2019					Massa (kg)	-
Vist.							Tratamento	-
Aprov.	Ricardo Lei	04/02/2020	ISO 2768	mK	Escala- 1:5	A4	Material	-
Nome		20190118_last_withADN_Cabeça de injecao				Descrição	Oficina	
						Desenho	20190118_12	1/1

Referências

- [1] Continental. Contiseal pneu. Disponível em <https://www.continental-pneus.pt/>, acessado a última vez em 28 de Outubro de 2019.
- [2] Jornal de Noticias. Gislótica mechanical solutions - um impulso de inovação. *31º Guia Empresarial*, 2016.
- [3] Globaz. Gislótica - mechanical solutions lda, 2019. Disponível em http://www.gislotica.pt/pt/quem_e_a_gislotica.4.html, acessado a última vez em 28 de Fevereiro de 2019.
- [4] Rui Miguel Santos Pereira. Projecto de expansão do contiseal. Technical report, FEUP, 2012.
- [5] Hugo Manuel Lima Gonçalves Cerejeira. Optimization of scrap reduction in contiseal's process. Technical report, FEUP, 2015.
- [6] Smithers Rapra. Smithers rapra forecasts global industry tire volume to reach 2.7 billion units by 2022. <https://www.smithersrapra.com/news/2017/december/global-tire-industry-volume-forecast>, 2019. (acedido em 06/03/2019).
- [7] Heinz Heisler. *Vehicle and Engine Technology*. Society of Automotive Engineers, Segunda edition, 1999.
- [8] Paulo Miguel da Costa Bessa e Silva. Desenvolvimento de talões de pneus de elevada performance. Technical report, Universidade Minho, 2014.
- [9] A. Pizzi K.L. Mittal. *Handbook of Sealant Technology*. CRC Press, 1 edition, 2009. ISBN 0849391628,9780849391620.
- [10] LBRIOSO. Borracha butílica: Poliisobutileno isopreno (iir) | ciência e tecnologia da borrachaciência e tecnologia da borracha. <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/borrachas/borrachas-sinteticas/borracha-butilica-poliisobutileno-isopreno-iir/>, 2010-2014. (acedido em 03/11/2019).
- [11] Pirelli Tyre S.p.A. Runflat anti-puncture tyres | pirelli. <https://www.pirelli.com/tyres/en-ww/car/total-mobility>, 2019. (acedido em 03/10/2019).

- [12] TRADER Corporation. Pros and cons of run-flats and self-sealing tires. <https://www.autotrader.ca/newsfeatures/20171024/run-flats-vs-self-sealing-tires/>, 2019. (acedido em 03/07/2019).
- [13] ISO 8373:2012(en). Robots and robotic devices — vocabulary. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, March 2012.
- [14] Sames Kremlin. Unidade de extrusão manual a quente. Disponível em <https://www.sames-kremlin.com/portugal/pt/solutions-manual-dispensing-heated-sealant-or-adhesive-.html>, acedido a última vez em 28 de Janeiro de 2020.
- [15] Nordson. Sistema dispensamento nordson. Disponível em <https://www.nordson.com/en/divisions/industrial-coating-systems/application-solutions/automotive-assembly/complete-dispensing-system>, acedido a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [16] Nordson. Metering, mixing & dispensing systems, 2019. Disponível em <https://www.nordson.com/en/divisions/sealant-equipment/products/meters-and-metering-systems?con=t&ps=all>, acedido a última vez em 29 de Janeiro de 2020.
- [17] Grunfeld. Guide to pumping fundamentals, . Disponível em <https://grunfeld-fluid.com/wp-content/uploads/2018/01/Guide-to-Pumping-Fundamentals.pdf>, acedido a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [18] Sames Kremlin. High viscosity - rexson start range, 2017. Disponível em <https://www.sames-kremlin.com/sao/en/solutions-high-viscosity-supply-systems.html>, acedido a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [19] Graco. Graco - pump ratio and performance charts, . Disponível em http://wwd.graco.com/Distributors/DLibrary.nsf/Files/CT_Pump_Rat_&_Perf_Chrt_321042/\protect\T1\textdollarfile/CT_Pump_Rat_&_Perf_Chrt_321042.pdf, acedido a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [20] Grunfeld. Bsa0200 drum pump, . Disponível em <https://grunfeld-fluid.com/product/bsa0200-drum-pump/>, acedido a última vez em 28 de Janeiro de 2020.
- [21] Graco. Therm-o-flow 200, . Disponível em <https://www.graco.com/pt/pt/products/sealants-and-adhesives/therm-o-flow-200.html>, acedido a última vez em 28 de Janeiro de 2020.
- [22] Graco. Therm-o-flow 200 - bulk hot melt systems - 300532eneu-i, 2015.
- [23] Graco. Therm-o-flow 200 easykey - hot melt drum unloaders - 311208en-s, Julho 2017.

-
- [24] MicroPump. Repetibilidade bombas engrenagens. Disponível em http://www.micropump.com/support_gear_pump_repeatability.aspx, acessado a última vez em 29 de Janeiro de 2020.
- [25] Witte. Tipos dentado., . Disponível em <https://www.witte-pumps.com/en/technology/gearing-types/>, acessado a última vez em 29 de Janeiro de 2020.
- [26] Witte. Tipos vedantes bomba engrenagens., . Disponível em <https://www.witte-pumps.com/en/technology/axial-shaft-seals/>, acessado a última vez em 29 de Janeiro de 2020.
- [27] VSE.flow. Vse.flow - solutions for fluid technology - operating instructions, . Disponível em <https://www.vse-flow.com/en/>, acessado a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [28] VSE.flow. Vse.flow - solutions for fluid technology - rs helical screw sensors, . Disponível em <https://www.vse-flow.com/en/>, acessado a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [29] Ogan. Flexible electrically heating hoses. Disponível em <https://www.ogan.com.tr/en/Catalogue.pdf>, acessado a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [30] Winkler. Winkler - heated hoses for glueing technology and for filling and dosing systems. Disponível em https://www.winkler.eu/fileadmin/files/Kataloge/Catalogue_EN/winkler-e-catalogue_heated-hoses_2011-06.pdf, acessado a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [31] Tekon. Catálogo sondas, . Disponível em <https://www.tekonelectronics.com/download.php?fd=72&l=pt&key=f44c8c041b7e8931b1b024abe458b2b4>, acessado a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [32] Sab-brockskes. Thermocouples and resistance thermometers. Disponível em http://www.sab-cables.eu/fileadmin/user_upload/pdf/catalog_gb/Thermotechnik_gb/MTE_und_MWT_gb/Thermocouples_and_Resistance_Thermometers.pdf, acessado a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [33] Tekon. Sondas de temperatura e de nível, . Disponível em <https://www.tekonelectronics.com/download.php?fd=72&l=pt&key=f44c8c041b7e8931b1b024abe458b2b4>, acessado a última vez em 29 de Julho de 2020.
- [34] Siemens AG. The technology objects (to) of simatic s7-1500(t). https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109743134/109743134_S7-1500T_TechnologyObjects_DOC_v10_en.pdf, 2017. (acessado a última vez em 29/07/2020).
- [35] FANUC. R-2000ic/210f, 2019. Disponível em <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/página-filtro-robôs/série-r-2000/r-2000ic-210f>, acessado a última vez em 04 de Março de 2019.

REFERÊNCIAS

- [36] FANUC. Controlador de robô fanuc r-30ib plus-fanuc. <https://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%C3%B4s/acess%C3%B3rios/robot-controller-and-connectivity>. (acedido em 03/13/2019).
- [37] Sames Kremlin. Documentação thor 82.216 airless, 2016.