



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Sérgio Filipe Martins Gonçalves

**Projecto e construção de um forno de  
baixa pressão laboratorial para ligas  
de alumínio e de magnésio**

Tese de Mestrado

Ciclo de Estudos Conducente ao Grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Trabalho efectuado sob a orientação do

**Professor Doutor José Joaquim C. Barbosa**

**Professor Doutor Luís Ferreira da Silva**

## **Resumo e Palavras-chave**

Este relatório técnico tendo como tema a construção de um forno de fundição de baixa pressão para ligas de magnésio e alumínio foi desenvolvido com a principal tarefa de responder a todas as necessidades que poderão ocorrer aquando do fabrico do equipamento, apresentando assim um conjunto de soluções mecânicas simples que respondem aos requisitos do projecto.

Quanto à estrutura do relatório, tendo em atenção as etapas de construção do forno e processamento de ligas de magnésio, estabeleceu-se uma base de dados para consulta, onde se poderá obter informações sobre o vários tipo de ligas, características, elementos de liga e processamento tendo em vista uma rápida integração com as características gerais da matéria-prima do forno.

Indo de encontro aos requisitos especiais de que deve ser munido o forno de baixa pressão, é desenvolvida uma pesquisa sobre os principais gases de protecção existentes no mercado, enquadrando as suas características de protecção com as ligas de magnésio.

Com vista a realizar um projecto mecânico bem estruturado, estabelece-se um conjunto de atributos que definem os requisitos específicos do equipamento, segundo os quais são desenvolvidos vários tipos de soluções que respondem às necessidades especiais do magnésio. Estabelecido o corpo do forno, é por fim realizada uma análise que se foca na viabilidade técnica do equipamento a nível energético e térmico.

**Palavras-chave:** Ligas de Mg; Ligas de Al; Gases de protecção; Equipamento de fundição; Equipamento de vácuo.

## **Abstract**

Having this technical report as theme the construction of a low pressure furnace for magnesium and aluminum alloys was developed with the main task of answering to all the needs that may occur in the equipment manufacture stage, developing a set of simple mechanical solutions that respond to all the requirements of the project.

As for the structure of the report, taking into account the stages of construction of the furnace and magnesium alloys processing, is established a database to query, where is possible to learn about the various type of alloys, features, processing and alloying elements.

Having in mind the special requirements that must be provided with the oven of low pressure is developed a survey on the main shielding gases on the market, adjusting its characteristics to the protection of magnesium alloys.

To achieve a mechanical design project well structured, it establishes a set of attributes that define the specific requirements of the equipment, which are developed according to various types of solutions that address the special needs of magnesium. Set the furnace body, is finally performed an analysis that focuses energy and thermal behavior of the equipment.

Keywords: Mg alloys, Al alloys; Shielding gases, Foundry equipment, vacuum equipment.

---

**ÍNDICE**

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO AO TEMA.....</b>	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. Introdução histórica .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Características gerais do magnésio .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3. Obtenção do magnésio.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4. Ligas de magnésio .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.1. Nomenclatura .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.2. Classificação das ligas.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.3. Elementos de liga e seus efeitos.....</b>	<b>26</b>
<b>2.4.4. Características, composições químicas, propriedades mecânicas e domínio de aplicação .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5. Processamento de ligas de magnésio .....</b>	<b>30</b>
<b>2.6. Forno de baixa pressão.....</b>	<b>30</b>

---

<b>2.7. Gases de protecção.....</b>	<b>32</b>
<b>2.7.1. HFC 134a .....</b>	<b>34</b>
<b>2.7.2. HFE 7100 .....</b>	<b>36</b>
<b>2.7.3. Novec™612 .....</b>	<b>36</b>
<b>2.7.4. Comparação dos gases HFC 134a, HF 7100 e Novec™ 612 com o SF6 .....</b>	<b>36</b>
<b>2.7.5. Árgon.....</b>	<b>42</b>
<b>2.7.6. Mecanismo de protecção .....</b>	<b>43</b>
<b>2.7.7, Dinâmica de fluídos.....</b>	<b>44</b>
<b>2.7.8, Selecção de gases .....</b>	<b>44</b>
<b>2.8. Sistema de vácuo .....</b>	<b>45</b>
<b>2.8.1. Mecanismos de vedação.....</b>	<b>45</b>
<b>3. PROJECTO DE FORNO DE BAIXA PRESSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1. Projecto informacional.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1.1. Requisitos do plano de dissertação e especificações de projecto .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2. Ante projecto .....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.1. Estrutura funcional.....</b>	<b>56</b>

---

<b>3.3. Projecto preliminar .....</b>	<b>66</b>
<b>3.3.1. Definição/selecção de soluções.....</b>	<b>66</b>
<b>3.3.2. Definição/selecção de soluções de carácter de segurança .....</b>	<b>77</b>
<b>3.3.3. <i>Layout</i> final .....</b>	<b>87</b>
<b>3.3.4. Selecção de materiais .....</b>	<b>90</b>
<b>3.3.5. Manufatura .....</b>	<b>105</b>
<b>3.3.6. Toleranciamento.....</b>	<b>105</b>
<b>3.3.7. Projecto para montagem .....</b>	<b>106</b>
<b>3.4. Projecto detalhado .....</b>	<b>115</b>
<b>3.4.1. Análise energética .....</b>	<b>115</b>
<b>3.4.2. Análise térmica .....</b>	<b>125</b>
<b>4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>129</b>
<b>5 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>131</b>
<b>6. ANEXOS .....</b>	<b>137</b>
<b>Anexo A – Letras de designação dos elementos de liga com maior quantidade percentual e sufixos de tratamento térmico para as ligas de magnésio (Avedesian, 1999).....</b>	<b>138</b>
<b>Anexo B – Características das ligas de Magnésio (Avedesian, 1999).....</b>	<b>140</b>

---

<b>Anexo C – Composição nominal química, propriedades mecânicas e físicas das ligas de Mg à temperatura ambiente (Avedesian, 1999) .....</b>	<b>145</b>
<b>Anexo D – Aplicações gerais e características de fabricação de ligas de magnésio de fundição (Avedesian, 1999) .....</b>	<b>153</b>
<b>Anexo E – Guia de codificação de componentes .....</b>	<b>160</b>
<b>Anexo F – Lista de componentes .....</b>	<b>162</b>
<b>Anexo G - Curvas de pressão de vapor de elementos sólidos e líquidos (Weissle, 1979) .....</b>	<b>169</b>
<b>Anexo H – Aptidão das ligas de aço inoxidável para vários processos de conformação (Douthett, 1993) .....</b>	<b>171</b>
<b>Anexo I – Características químicas, físicas e mecânicas da alumina de alta densidade (ZIRCAR Ceramics, Inc.) .....</b>	<b>173</b>
<b>Anexo J – Características químicas, físicas e mecânicas da alumina de elevada densidade .....</b>	<b>174</b>
<b>Anexo K – Comparação das propriedades dos elastômeros comumente utilizados (Parker Hannifin Corporation) .....</b>	<b>175</b>
<b>Anexo L – Perdas térmicas superficiais para materiais não isolados (Watlow, 2003) .....</b>	<b>177</b>
<b>Anexo M – Relatório de análise computacional.....</b>	<b>178</b>
<b>Anexo N – Desenhos técnicos .....</b>	<b>183</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físicas do magnésio, 99,9% de grau de pureza (Lockwood, 1984) .....	19
Tabela 2 – Comparação de métodos para produção de Magnésio (Simandl, 2007).....	23
Tabela 3 – Efeito de protecção do gás HFC 134a com a variação da temperatura (Xiong, 2009) .....	35
Tabela 4 – Comparação dos gases de protecção alternativos ao SF6 (EPA, 2006).....	37
Tabela 5 – Fluxos mínimos necessários para promover uma protecção efectiva.....	37
Tabela 6 – Vantagens / Desvantagens da utilização de gases de protecção .....	40
Tabela 7 – Selecção de gases .....	44
Tabela 8 – Rugosidade superficial segundo aplicação (Eriks, 2004) .....	51
Tabela 9 - Plano de projecto .....	54
Tabela 10 – Factores e especificações do projecto .....	55
Tabela 11 – Espessura de chapa mínima recomendada (Nor-Cal Products, 2011) .....	69
Tabela 12 – Margem dimensional recomendada de prevenção da contracção metálica (Tecnologia Mecânica, 1977) .....	74
Tabela 13 – Espessuras mínimas de parede segundo o processo de fabrico (Tecnologia Mecânica, 1977).....	75
Tabela 14 – Margem dimensional recomendada para prevenção da maquinagem (Tecnologia Mecânica, 1977) .....	75
Tabela 15 – Elementos de liga e propriedades que os materiais devem reter para suportar os requisitos de serviço .....	98
Tabela 16 – Composição química do aço inoxidável .....	100
Tabela 17 – Requisitos de serviço por especificação de serviço de local de cada <i>o-ring</i> .....	103
Tabela 18 – Tabela de selecção de material de <i>o-ring's</i> segundo especificação .....	105
Tabela 19 – Toleranciamento recomendado para equipamento de vácuo (Schoonover, Inc.) .....	105
Tabela 20 – Módulos de montagem do forno de baixa pressão.....	107
Tabela 21 – Mapa de temperaturas .....	116
Tabela 22 – Calor específico da liga de Mg AZ91A entre $T_0$ e $T_1$ .....	117



Tabela 23 – Estimativa do calor específico da liga de Mg AZ91A entre $T_1$ e $T_2$ .....	118
Tabela 24 - Estimativa do calor específico para ligas de aço inox entre $T_0$ e $T_3$ .....	119
Tabela 25 - Estimativa do calor específico para ligas de aço inox entre $T_0$ e $T_6$ .....	120
Tabela 26 – Balanço da energia absorvida pelo sistema .....	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama esquemático do processo de electrólise da empresa Norsk <i>Hydro</i> 22	
Figura 2 – Principais direcções de desenvolvimento para principais requisitos de mercado (Mordike B. e., 2001).....	29
Figura 3 – Representação esquemática de funcionamento de um forno de baixa pressão convencional (Fu, 2006) .....	31
Figura 4 – AM50 – SF <sub>6</sub> /CO <sub>2</sub> +ar – 5l/min – 680 °C (Tranell, 2007) .....	38
Figura 5 - AM50 – HFC 134a/CO <sub>2</sub> +ar – 2,5 l/min - 680°C (Tranell, 2007) .....	38
Figura 6 - AM50 – HFE 7100/CO <sub>2</sub> +ar – 2,5l/min - 680°C (Tranell, 2007) .....	38
Figura 7 - AM50 – Novec <sup>TM</sup> 612/CO <sub>2</sub> +ar – 2,5l/min - 680°C (Tranell, 2007) .....	38
Figura 8 - AM50 – HFC 134a/ar – 20l/min - 710°C (Tranell, 2007) .....	39
Figura 9 - AM50 – HFC 134a/CO <sub>2</sub> +ar – 5l/min - 710°C (Tranell, 2007) .....	39
Figura 10 – R25 – HFE 7100/CO <sub>2</sub> +ar – 10l/min - 710°C (Tranell, 2007) .....	39
Figura 11 - R25 – HFC 134a/CO <sub>2</sub> +ar – 5l/min - 710°C (Tranell, 2007).....	39
Figura 12 – Esquema de mecanismo de protecção de oxidação de Mg (Japan Magnesium Association, 2006) .....	43
Figura 13 – Sistema de geração de gás de protecção Novec <sup>TM</sup> 612 (Milbrath, 2004)....	44
Figura 14 – Posições relativas aconselhadas para equipamentos de vácuo (Roth, Vacuum technology, 1990).....	46
Figura 15 – Secção esquemática de flanges sem junta (Roth, Vacuum Sealing Techniques, 1966).....	47
Figura 16 - Secção esquemática de flanges com <i>o-ring</i> (Roth, Vacuum Sealing Techniques, 1966).....	47
Figura 17 - Classificação do posicionamento dos vedantes .....	48
Figura 18 – Representação de perspectiva de corte de mecanismo .....	49
Figura 19 – Parâmetros para dimensionamento dos <i>o-rings</i> (Roth, Vacuum technology, 1990).....	50
Figura 20 – Fluxograma da estrutura funcional (Etapa 1) .....	57
Figura 21 – Localização de porta de acesso ao cadinho .....	57
Figura 22 – Localização de tampa de acesso à câmara de vazamento.....	57
Figura 23 – Visualização de sentido abertura de tampa de câmara de vazamento.....	58

Figura 24 – Demonstração do sentido de abertura da porta de acesso ao cadinho e abastecimento do mesmo .....	58
Figura 25 – Uniões desmontáveis para fixação das tubagens e transporte de gases .....	59
Figura 26 – Representação em vista de sorte das tubagens de extracção de gases.....	59
Figura 27 – Tubagem de insuflação de gases no banho de cadinho no local de serviço	60
Figura 28 – Perfectiva de corte do sistema de insuflação de gás de pressurização .....	60
Figura 29 – Parafuso de compressão/descompressão de coquilha .....	61
Figura 30 – Mecanismo de fixação coquilha / placa de compressão .....	62
Figura 31 – Demonstração de funcionamento de mecanismo cinemático de funcionamento do sistema de insuflação de gases.....	62
Figura 32 – Posicionamento de serviço do mecanismo de insuflação de gases de protecção sobre gito .....	63
Figura 33 - Fluxograma da estrutura funcional (Etapa 2).....	64
Figura 34 - Fluxograma da estrutura funcional (Etapa 3).....	65
Figura 35 - Fluxograma da estrutura funcional (Etapa 4).....	66
Figura 36 - a) Fundo de cadinho com geometria plana; b) Fundo de cadinho com geometria arredondada (Tavakoli, 2007).....	68
Figura 37 – Representação do conjunto de cilindros refractários exterior e interior com resistências embebidas .....	69
Figura 38 – representação da estrutura exterior do forno (chapa de aço inox 304 de 8mm de espessura).....	70
Figura 39 – Representação em corte/simetria da tampa do forno de baixa pressão .....	71
Figura 40 – Sistema de vazamento em perspectiva de corte .....	72
Figura 41 - Sistema de vazamento .....	72
Figura 42 – Gito para fundição por baixa pressão .....	73
Figura 43 – Representação de provete de Mg.....	73
Figura 44 – Meia moldação direita .....	76
Figura 45 – Câmara de vazamento com tampa (chapa de aço inox 304 de 4mm de espessura).....	77
Figura 46 – Componente de insuflação de gases de protecção (6024411512).....	78
Figura 47 – Representação da montagem do componente 6024411512 .....	79
Figura 48 – Representação dos orifícios de insuflação do gás de protecção .....	79

Figura 49 – Juntas de soldadura TIG .....	80
Figura 50 – Posicionamento de <i>o-ring</i> na pista de flange da tampa da câmara de vazamento .....	81
Figura 51 – Sistema de vedação de parafuso de compressão de coquilha.....	81
Figura 52 - Sistema de vedação de parafuso de compressão de coquilha com componentes desposicionados .....	81
Figura 53 – Esquema de funcionamento do mecanismo de movimentação da coquilha	82
Figura 54 – Representação e pormenor da zona de pressão coquilha/gito .....	82
Figura 55 – Tubagem de insuflação de gases inertes.....	83
Figura 56 – Representação em vista de corte do sistema de escoamento e retenção de Mg.....	84
Figura 57 – Calha e tubo de escoamento e tanque de retenção .....	85
Figura 58 – Vista em corte de pormenor do disco de Zn soldado da boda do tubo de escoamento de Mg .....	85
Figura 59 – Mecanismo cinemático de insuflação de gases .....	86
Figura 60 – Mecanismo de rotação de haste em pormenor .....	87
Figura 61 - Perspectiva de explodida de equipamento de baixa pressão.....	89
Figura 62 - Diagrama esquemático de orientação para a selecção de materiais.....	90
Figura 63 – Representação da esquemática de aplicação de cargas num componente...	92
Figura 64 – Constante de penetração do hidrogénio em função da temperatura através de vários materiais (Norton, 1961).....	94
Figura 65 - Comparação da maquinabilidade entre vários materiais (ASM Handbook, 1995).....	96
Figura 66 – Comparação de diagramas tensões-deformação de vários materiais .....	97
Figura 67 – Comparação dos aços inoxidáveis de tipo 304 e 316 face ao seu custo e tensão limite de elasticidade (Software Ces Edupack 2010) .....	102
Figura 68 – Zonas de vedação através de <i>o-ring's</i> .....	103
Figura 69 – Faixas de temperatura para materiais elastoméricos (Parker Hannifin Corporation).....	104
Figura 70 – Representação de desenho de conjunto de módulo 1 .....	109
Figura 71 - Representação de desenho de conjunto de módulo 2.....	110
Figura 72 - Representação de desenho de conjunto de módulo 3.....	111

---

Figura 73 - Representação de desenho de conjunto de módulo 4.....	112
Figura 74 - Representação de desenho de conjunto de módulo 5.....	113
Figura 75 - Representação de desenho de conjunto de módulo 6.....	114
Figura 76 – Representação da localização do mapa de temperaturas.....	116
Figura 77 – Variação do $C_p$ com a temperatura.....	118
Figura 78 – Representação em corte da massa de refractário simplificado.....	125
Figura 79 – Representação da propagação térmica ao longo da massa térmica ( <i>Flow Simulation 2011</i> ).....	126
Figura 80 – Evolução térmica na superfície superior .....	126
Figura 81 - Evolução térmica na superfície lateral .....	127

## **1. INTRODUÇÃO AO TEMA**



Empresas de alta tecnologia dependem cada vez mais de materiais inovadores, materiais que devem apresentar características chave, como elevado potencial técnico, económico e boa aptidão à maquinagem. Estes factores surgem como integrantes para a estratégia de competição num mercado cada vez mais complexo.

Para além disso e devido a uma cada vez maior pressão exercida pelo público e pela legislação em vigor, têm-se aplicado limites à quantidade de emissões enviadas para o meio ambiente, fixando-se metas para as próximas décadas, tentando-se desta forma reduzir a quantidade de emissões lançadas para o ambiente e conseqüente impacto ambiental. A necessidade e conseqüente interesse pela utilização de materiais que impliquem uma diminuição da emissão de gases poluentes, surge também das empresas, principalmente as ligadas à indústria automóvel de forma liberal, devido essencialmente ao fim da era dos combustíveis convencionais baratos, havendo desta forma a necessidade de utilizar uma maior percentagem de materiais que permitam uma diminuição dos consumos, preservando a integridade estrutural e segurança dos veículos.

Tendo em conta estas considerações, a utilização de materiais mais leves para a construção torna-se fundamental numa perspectiva de futuro.

Como possível resposta a este desafio, surgem as ligas de alumínio e principalmente de magnésio. O magnésio é o metal estrutural mais leve, sendo que devido a este facto é muito atractivo para aplicações estruturais de transporte. Para além da sua baixa massa específica, as ligas de magnésio cumprem com outras importantes exigências, podendo-se referir a excelente maquinabilidade e bom potencial de reciclagem. Apesar destas propriedades, as ligas de magnésio são muito pouco utilizadas quando comparadas com outros materiais concorrentes como as ligas de alumínio e plásticos. Como razões para este facto deve-se apontar o preço elevado do magnésio puro em comparação com os concorrentes e a pouca variedade de ligas disponíveis para o consumidor. No entanto, este panorama tende para se alterar, visto que o magnésio e as suas ligas são cada vez mais reconhecidas e desempenham um papel cada vez mais importante na indústria automóvel e de consumíveis electrónicos (Kainer, 2003).

Pela utilização de ligas de magnésio o peso total de um veículo pode ser reduzido, podendo-se implementar este metal em vários componentes como o painel



instrumental, estruturas dos bancos, coluna de direcção e caixa de transmissão. Estas alterações levam essencialmente a uma diminuição do peso total sendo que consequentemente se pode estimar que pela redução de 10% de peso morto de um veículo se aumenta a sua economia em combustível em 5,5% (Avedesian, 1999).

Reconhecendo o magnésio como um material com potencial de desenvolvimento, a indústria automóvel, bem como outras actividades, têm sentido a necessidade de desenvolvimento de novas ligas. Isto deve-se principalmente às poucas ligas optimizadas para a fundição, sendo que a maioria das presentes técnicas de produção foram adaptadas de outras ligas com baixo ponto de fusão como as ligas à base de alumínio (Mordike B. e., 2001).

Sentindo esta necessidade/oportunidade o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho quer iniciar um conjunto de trabalhos destinados a desenvolver novas ligas de magnésio e técnicas de processamento, adaptadas às actuais e futuras necessidades do mercado. Para isso, é necessário um equipamento de fusão dedicado, que cumpra os requisitos associados à fusão de ligas reactivas, que a Universidade de momento não possui. Esta necessidade surge pelo facto de o magnésio ser um material de elevada reactividade comparativamente ao alumínio, o que obriga à utilização de gases de protecção para isolar a superfície dos banhos e aumentar a segurança. Os gases utilizados têm um grande impacte ambiental, sendo por isso interessante efectuar o processo de fundição em ambiente fechado.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## 2.1. Introdução histórica

Situado no grupo 2 com um número atômico 12 da tabela periódica entre o berílio e o cálcio, o magnésio é um metal alcalino-terroso. Este é o sexto elemento mais comum na crosta terrestre, representando cerca de 2,7% desta, sendo que no entanto não ocorre na natureza na forma metálica (Avedesian, 1999). A primeira referência do magnésio foi através do composto sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) em 1695 pelo médico e botânico Nehemia Grew em Inglaterra, através da publicação das boas propriedades medicinais e denominando este composto por *Sal de Epsom*. Já em 1808 Sir Humphrey Davy conseguiu isolar pela primeira vez em laboratório o magnésio numa forma de liga através da redução electrolítica de óxido de magnésio pela utilização de cátodos de mercúrio, denominando este material por *magnium*. A obtenção deste material na forma metálica aconteceu em 1828 na França pelo cientista *Antoine Bussy* que fundiu cloreto de magnésio com potássio na forma metálica para obter magnésio também na forma metálica. Em 1833 por *Michael Faraday* produziu pela primeira vez magnésio através da redução electrolítica de cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2$ ).

A comercialização de magnésio iniciou-se em Paris a meio do século 19 através de redução do cloreto de magnésio com potássio num recipiente aquecido, sendo que em 1896 duas empresas sediadas na Alemanha, *Chemische-Fabrik Griessheim-Elektron* e *Alluminium und Magnesium Fabrik* levaram a produção do magnésio ao nível industrial através da electrólise de cloreto fundido. Estas empresas foram as responsáveis por uma parte muito significativa da produção mundial até 1915. Em 1941 a empresa *The Down Chemical Company* nos EUA iniciou a produção de magnésio por um processo de electrólise utilizando desta feita a água do mar como fonte de magnésio. Ao mesmo tempo, mas através de um processo térmico a empresa também norte-americana *Permanente Metals Corporation* iniciou a produção de magnésio (Lockwood, 1984).

Ao contrário do que aconteceu nas últimas décadas, o magnésio foi um material utilizado extensivamente na primeira e segunda guerra mundiais para aplicações na indústria aérea, náutica e nuclear. Neste período, mais nomeadamente em 1944, o interesse no magnésio levou a um pico de consumo de 222 mil toneladas, sendo que

para além dos fins militares, o magnésio foi muito utilizado na indústria automóvel, mais nomeadamente na fabricação do *Volkswagen Beetle*. Posteriormente o interesse neste material desvaneceu-se a nível de fins estruturais, decrescendo para as 10 mil toneladas depois da segunda grande guerra (Mordike B. e., 2001).

A partir da década de 90 verificou-se uma renovação do interesse nas ligas à base de magnésio, sendo que para isso contribuiu a crescente necessidade de reduzir o peso total dos carros pela introdução de legislação mais apertada no que diz respeito à quantidade de emissões poluentes. Em 1998 o interesse nas ligas de magnésio levou a que se atingisse um record de consumo de 360 mil toneladas, sendo que o crescimento de utilização vinha crescendo anualmente. A mesma tendência ocorreu nos 10 anos seguintes, com um aumento de consumo na ordem dos 7%/ano (Avedesian, 1999), sendo que no entanto no ano de 2009 se verificou um crescimento menor que o esperado (cerca de 4%/ano (International Magnesium Association)).

## 2.2. Características gerais do magnésio

Na Tabela 1 apresenta-se uma lista de dados relativos às várias propriedades físicas do magnésio puro.

Tabela 1 – Propriedades físicas do magnésio, 99,9% de grau de pureza (Lockwood, 1984)

Propriedade	Valor
Volume atómico [cm <sup>3</sup> /mol]	14
Estrutura cristalina	Hexagonal compacta
Parâmetros de rede [nm]	a <sub>0</sub> =0,3203, c <sub>0</sub> =0,5199
Raio axial (c/a)	1,624
Módulos [GPa]	
De elasticidade	44,8
De rigidez	16,6
Coefficiente de Poisson	0,35
Massa específica [g/cm <sup>3</sup> ] a:	
20 °C	1,74

Tabela 1 - Propriedades físicas do magnésio, 99,9% de grau de pureza (Lockwood, 1984) (Continuação)

650 °C (sólido)	1,64
650 °C (líquido)	1,57
700 °C	1,54
Contração volumica, 650°C (líquido) para 650°C (sólido), [%]	4,2
Contração linear, 650°C (sólido) para 20°C (sólido), [%]	1,8
Resistividade eléctrica [ $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ] a:	
20 °C	4,46
300 °C	9,5
600 °C	17
650 °C (líquido)	28
900 °C	28
Coefficiente térmico a 20 °C [ $\mu\Omega \cdot \text{cm} / ^\circ\text{C}$ ]	0,017
Condutividade eléctrica a 20 °C	
Massa [%]	198
Volume [%]	38,6
Temperatura de fusão [ $^\circ\text{C}$ ]	650
Temperatura de ebulição [ $^\circ\text{C}$ ]	1110 $\pm$ 10
Temperatura crítica [ $^\circ\text{C}$ ]	1867
Temperatura de chama, ar, [ $^\circ\text{C}$ ]	2820
Coefficiente de expansão térmica [ $/^\circ\text{C}$ ] a:	
20-100 [ $^\circ\text{C}$ ]	0,0000261
20-200 [ $^\circ\text{C}$ ]	0,0000271
20-300 [ $^\circ\text{C}$ ]	0,0000280
20-400 [ $^\circ\text{C}$ ]	0,0000290
20-500 [ $^\circ\text{C}$ ]	0,0000299

Tabela 1 - Propriedades físicas do magnésio, 99,9% de grau de pureza (Lockwood, 1984) (continuação)

Calor específico [J/g · °C] a:	
20°C	1,02
300°C	1,15
650°C (sólido)	1,35
650°C (líquido)	1,32
Condutividade térmica [W/(cm·°K) a 20°C	1,55
Difusidade térmica [cm <sup>2</sup> ·s] a 20°C	0,87
Calor de combustão [KJ/mol]	606
Calor latente de fusão [J/g]	368
Calor latente de evaporação [J/g]	5,27
Calor de reacção com oxigénio a 2900 °K, 101,3 kPa magnésio	
Kj/kg metal	19,027
Kj/kg O <sub>2</sub>	28,912

Comparando o Mg com os materiais concorrentes, pode-se indicar a seguinte lista de vantagens:

- Menor massa específica quando comparada aos materiais estruturais metálicos;
- Tensões específicas elevadas;
- Boa aptidão para vazamento;
- Boa aptidão à maquinagem de alta velocidade;
- Boa aptidão à soldadura sob atmosfera controlada de algumas ligas específicas;
- Boa resistência à corrosão por parte do magnésio de elevada pureza.

- Quando comparado aos materiais poliméricos:
  - Propriedades mecânicas superiores;
  - Resistência à deterioração ambiental;
  - Condutividade eléctrica e térmica superior;

### 2.3. Obtenção do magnésio

Correntemente a nível industrial são aplicadas várias técnicas distintas para a produção de magnésio com um grau mínimo de pureza de 99,8% (ASTM International, 2007). Existindo vários processos, estes podem ser agrupados em duas categorias que têm dois princípios diferenciadores. Uma recorre à electrólise e outra à redução térmica.

A nível industrial os processos electrolíticos são os mais utilizados para a produção de magnésio, (Morgo Magnesium Limited) onde as células são alimentadas através de salmouras ricas em cloreto de magnésio, dolomite ou minério de magnésio. Estes processos electrolíticos variam consoante a matéria-prima, sendo que um dos mais básicos foi inventado em 1970 pela empresa Norueguesa Norsk *Hydro*. Na Figura 1 é representado o esquema do processo electrolítico.

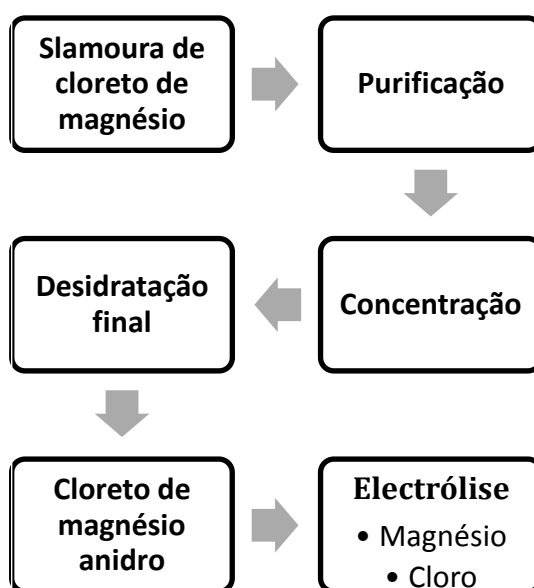


Figura 1 – Diagrama esquemático do processo de electrólise da empresa Norsk *Hydro*

Este processo consiste em criar uma salmoura de magnésio através da água do mar. A salmoura é então purificada, concentrada e desidratada em torres de aglomeração de cloreto de magnésio anidro. O cloro é gerado como subproduto da electrólise, sendo que depois de purificado pode ser comercializado.

Como resumo dos processos electrolíticos, estes podem ser divididos em duas etapas. A primeira passa produção de cloreto de magnésio anidro e a segunda diz respeito à aplicação de correntes eléctricas de elevada intensidade para realizar a dissociação entre o magnésio e o cloro segundo (1).



Na Tabela 2 são apresentadas as principais diferenças entre os processos electrolíticos e de redução térmica.

Tabela 2 – Comparação de métodos para produção de Magnésio (Simandl, 2007)

<b>Método</b>	<b>Electrólise</b>	<b>Redução térmica</b>
<b>Matérias-primas</b>	Água do mar, Magnesite, dolomite, bischofite, carnalite, serpentina, olivina e salmoura	Dolomite e magnesite
<b>Tipo de energia</b>	Hidroeléctrica, gás e óleo	Carvão e gás
<b>Requisitos energéticos (MWh / ton de Mg)</b>	18-28	45-80
<b>Processo</b>	Contínuo	Por lotes
<b>Investimento financeiro (\$ Americano / ton de Mg)</b>	10.000-18.000	≤2000
<b>Requisitos de mão-de-obra</b>	x	5x

Na tabela anterior, pode-se verificar que exceptuando o esforço financeiro de investimento, os processos electrolíticos apresentam vantagens em todos os campos,



sendo que devido a isto se justifica a superioridade de implementações deste tipo de processo no meio industrial.

## **2.4. Ligas de magnésio**

### **2.4.1. Nomenclatura**

A nomenclatura mais utilizada para designar as ligas de magnésio segue um sistema da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), sendo que este utiliza um conjunto de simbologia alfanumérica para a codificação das ligas.

No sistema de codificação das ligas de magnésio as duas primeiras letras dizem respeito aos elementos de liga com maior peso percentual, nos dois números seguintes são referidas as percentagens relativas aos teores nominais de cada elemento de liga e a quinta letra indica a introdução de outros elementos minoritários. Após a quinta letra utiliza-se um hífen que é seguido pela indicação do tratamento térmico ou termomecânico (ASTM B666/B666M - 08, 2008). No Anexo A é listada a nomenclatura associada aos elementos de liga e tratamentos.

Como forma de exemplo, a codificação AZ92A-T6, significa que esta liga de magnésio tem um teor de 9 % de alumínio e 2 % de zinco na sua composição básica (A). Esta é submetida ao tratamento térmico de solubilização e precipitação (T6).

### **2.4.2. Classificação das ligas**

As ligas de magnésio podem ser classificadas segundo cinco grupos básicos que são correntemente comercializadas sob a denominação do elemento liga predominante. As ligas comerciais mais habituais são:

- Ligas Mg-Al

Foram as primeiras a ser desenvolvidas. A adição de Al ao magnésio permite aumentar a sua resistência mecânica e corrosão. Estas apresentam solubilidade máxima de cerca de 12,7% no Al a 473°C. As ligas AM60 e AM100 são dois exemplos das ligas mais comercializadas.

- Ligas Mg-Al-Zn

Estas têm grande importância industrial pois apresentam uma boa combinação de baixa massa específica, resistência mecânica e resistência à corrosão. A adição de zinco aumenta a resistência destas ligas por solução sólida e precipitação. O aumento do teor deste elemento pode provocar no entanto um aumento da presença de micro porosidades e da contracção neste tipo de ligas. Estas não são particularmente resistentes ou dúcteis mas têm baixa massa específica e são de relativamente fácil produção. Este tipo de ligas não pode ser aplicada para temperaturas de serviço superiores a 95°C.

- Ligas de Mg-Zn-Zr

Estas ligas apresentam excelentes propriedades mecânicas, no entanto não têm uma vasta aplicação devido à sua susceptibilidade a micro porosidades durante o vazamento. Não são soldáveis devido à elevada quantidade de zinco (5 a 6 %) e sofrem facilmente fissuração a quente. O zinco permite um aumento da resistência da liga, enquanto o zircónio refina o grão.

- Ligas de Mg-Zn-Terras Raras-Zr

Os elementos de terras raras combinados com ligas Mg-Zn-Zr produzem ligas para fundição em areia como EZ33 e ZE41. Estas ligas têm uma soldabilidade relativamente boa porque o seu baixo ponto de fusão eutético forma uma cadeia nas ligações de grãos durante a solidificação, na qual tenderá a diminuir a micro porosidade. No entanto, as forças de tensão à temperatura ambiente das ligas EZ33-T5 e ZE41-T5 são relativamente baixas devido em parte à remoção de algum Zn da solução sólida para formar as fases estáveis da liga Mg-Zn-Terras Raras nas fronteiras de grão. No entanto, as ligas EZ33 e ZE41 têm uma boa resistência à fadiga.

- Ligas para altas temperaturas

Para aplicações de temperaturas entre 200 a 250°C foram desenvolvidas as ligas Mg-Ag-Terras Raras e Mg-Y-Terras Raras. Com o objectivo de melhorar as propriedades mecânicas a altas temperaturas surgiu a liga QE22A. A prata substitui algum zinco e as propriedades mecânicas são melhoradas pela acção de afinação do

grão através do zircônio. A utilização de ítrio (Y) surge para ultrapassar os problemas inerentes ao tório e à prata. O primeiro causa problemas ambientais e a prata tem um preço muito instável.

### **2.4.3. Elementos de liga e seus efeitos**

O principal mecanismo para melhorar as propriedades mecânicas é por endurecimento por precipitação ou endurecimento por solução sólida, referenciados no Anexo A. O magnésio forma fases intermetálicas com muitos elementos de liga e a estabilidade da fase aumenta com a electronegatividade do outro elemento. De seguida são referenciados os principais elementos de liga utilizados em ligas magnésio e seus principais efeitos (Avedesian, 1999)

- Alumínio

O alumínio é tido como o principal elemento de liga devido ao facto de ter o efeito mais favorável sobre as ligas de magnésio entre todos os elementos de liga.

O alumínio tem a capacidade de ao nível das características mecânicas aumentar significativamente a resistência e dureza. Para valores de 6% de alumínio as ligas de magnésio têm uma combinação de resistência e ductilidade óptimas. Para além destas propriedades, o alumínio tem a capacidade de aumentar a vazabilidade, principalmente para a fundição e aumentar a faixa de solidificação. Quando presente em teores superiores a 6%, é possível tratar termicamente a liga. A nível comercial as ligas de magnésio dificilmente contêm um teor de alumínio superior a 10%.

- Cobre

O cobre, quando presente nas ligas de magnésio, é considerado como uma impureza. Isto deve-se ao facto de diminuir drasticamente a resistência à corrosão quando está presente em teores que excedem 0,05% em peso. No entanto este elemento aumenta a resistência das ligas de magnésio às temperaturas elevadas.

- Terras raras

O conjunto de elementos pertencentes às terras raras têm a capacidade de aumentar a resistência a temperaturas elevadas. Geram precipitados nas fronteiras de

grão aumentando a resistência à fluência. Também diminuem a formação de trincas e porosidades em fundidos, por diminuir o intervalo de solidificação. As ligas de magnésio com terras raras têm sido amplamente estudadas nos últimos anos visando o melhoramento das propriedades mecânicas em solicitações a temperaturas acima dos 95°C como materiais estruturais na indústria automobilística e aeroespacial.

- Zircônio

O zircônio é utilizado como refinador de grão em ligas de magnésio quando adicionado em ligas que contêm zinco, terras raras, tório ou a combinação destes elementos.

Acredita-se que a proximidade do parâmetro de rede do zircônio com o magnésio permite que precipitados ricos em zircônio, formados durante a solidificação, actuem como local de nucleação heterogênea para o magnésio.

O zircônio é um elemento utilizado em ligas que contêm uma ausência de alumínio e manganês não podendo ser utilizados em ligas com estes dois elementos, devido a formar um composto estável com estes e portanto removido da solução sólida. Para além destes, o zircônio também forma compostos estáveis como o ferro, silício, carbono, oxigénio e hidrogénio quando presentes no banho de magnésio.

- Lítio

O lítio tem uma solubilidade sólida relativamente elevada no magnésio e baixa densidade relativa, 0,54. Este elemento pode desta forma ser utilizado para reduzir a densidade da liga de magnésio para valores ainda mais baixos.

Apenas um teor de 11% em peso de lítio é necessário para formar a fase  $\beta$ , que tem um corpo centrado e estrutura cristalina cúbica, melhorando assim a apetência para a conformabilidade. A adição de lítio diminui a resistência, mas aumenta a ductilidade.

Ligas de Mg-Li são igualmente favoráveis para a realização de tratamentos como endurecimento por precipitação, embora fiquem fragilizadas para aplicações a temperaturas ligeiramente mais elevadas. Desta forma as ligas Mg-Li apresentam-se com uma aplicação limitada.

- Manganês

A adição de manganês tem o efeito de aumentar um pouco a tensão de limite à cedência, não afectando a resistência à tracção. No entanto, a sua principal função é aumentar a resistência à corrosão por água salgada de ligas à base de Mg-Al e Mg-Al-Zn removendo destas o ferro e outros elementos metais pesados.

A quantidade de manganês a adicionar é limitada pela baixa solubilidade deste elemento no magnésio, sendo que as ligas comerciais raramente contêm um teor de Mn superior a 1,5% em peso. Para as ligas que contêm alumínio, verifica-se um decréscimo da solubilidade do manganês para 0,3% em peso.

- Prata

A adição de prata melhora as propriedades mecânicas das ligas de magnésio e a apetência para o tratamento de endurecimento por precipitação. No entanto devido ao custo normal deste elemento, aumenta também o custo da liga.

- Silício

Aumenta a fluidez do banho aumentando desta forma a apetência para a vazabilidade, porém diminui a resistência à corrosão da liga em presença de ferro. Para além destas características, o silício tem a capacidade de aumentar as propriedades físicas, a condutividade eléctrica das ligas à base de alumínio magnésio-silício e a soldabilidade.

- Ítrio

O ítrio apresenta uma solubilidade relativamente elevada até 12,4% em magnésio. É adicionado em conjunto com as terras raras para aumentar a resistência à fluência em temperatura até 300°C. Este elemento tem a capacidade de aumentar razoavelmente a resistência à corrosão.

- Zinco

O zinco é o segundo elemento de liga mais importante para o magnésio. Usualmente é adicionado em combinação com o alumínio, aumentando a resistência mecânica à temperatura ambiente, no entanto quando adicionado em teores acima de 1% de peso, reduz

a ductilidade a quente em ligas de magnésio contendo de 7 a 10 % de alumínio. Em conjunto com zircónio e terras raras ou tório produz endurecimento por precipitação. O zinco auxilia na diminuição do efeito do ferro e níquel sobre a resistência à corrosão.

Através da adição de elementos de liga é possível otimizar as ligas de Mg por forma a este responder às necessidades do mercado. A Figura 2 apresenta as diferentes tendências no desenvolvimento de ligas de magnésio, segundo os requisitos mais solicitados.

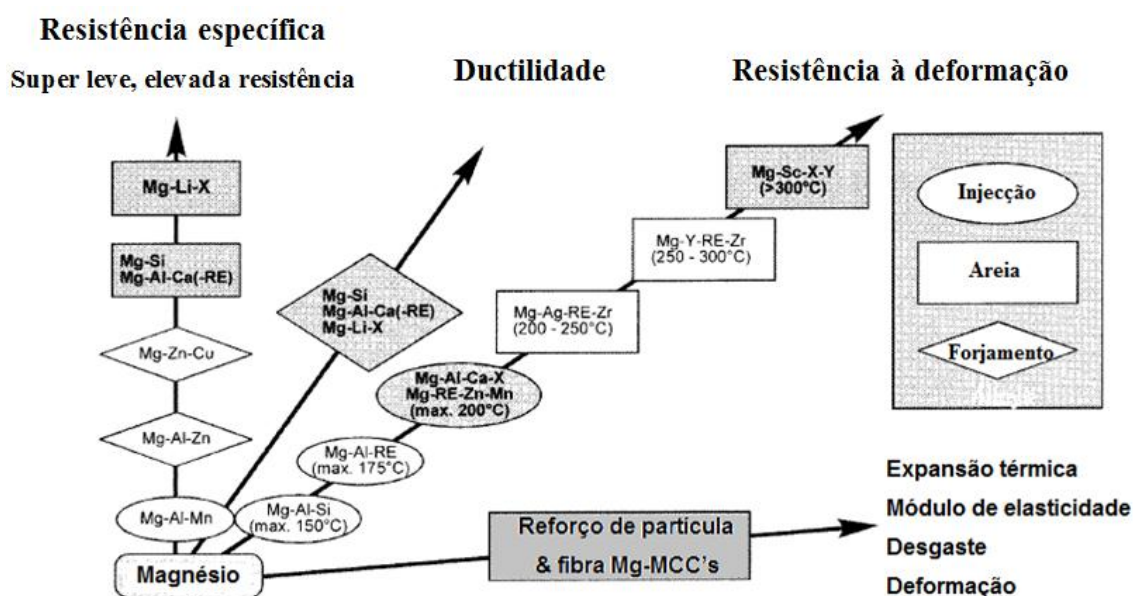


Figura 2 – Principais direcções de desenvolvimento para principais requisitos de mercado (Mordike B. e., 2001)

#### 2.4.4. Características, composições químicas, propriedades mecânicas e domínio de aplicação

No Anexo B são listadas as ligas de magnésio comercialmente mais usuais, fazendo-se referência às suas características específicas mais preponderantes. No Anexo C são referenciadas as composições nominais e propriedades mecânicas e físicas do mesmo conjunto de ligas.

Face às suas propriedades específicas, no Anexo D são referenciadas as principais aplicações e características de fabricação por fundição das ligas de magnésio.

A maioria das aplicações são cobertas pela liga AZ91, uma liga para fundição por injeção. Esta liga apresenta contudo uma resistência à fluência insuficiente para certas aplicações onde a temperatura de trabalho é superior a 130°C.

## 2.5. Processamento de ligas de magnésio

As ligas de Mg podem ser processadas virtualmente por todos os métodos de fundição gravíticos, desde fundição por areia, moldações permanente e semipermanente, fundição injectada e moldações metálicas. No entanto a selecção de um método para um componente específico depende de vários factores entre os quais a fundibilidade da liga de Mg.

No que respeita às técnicas de fundição, uma variada gama de ligas de Mg podem ser seleccionadas para a fundição, sendo que a técnica de fundição por areia permite a utilização de todas as ligas de Mg. No entanto nem todas as ligas são adequadas para todos os processos de fundição.

Para o processo de fundição por moldação permanente, as ligas que podem ser seleccionadas são limitadas, sendo que a este nível as mais utilizadas são as de alumínio-magnésio-manganês que devem a sua aplicabilidade ao grande aumento da aceitação da indústria automóvel ao Mg.

Os equipamentos de processamento de ligas de Mg, mais concretamente fornos, o metal é normalmente aquecido no cadinho, que por sua vez é aquecido por resistências eléctricas. Este processo é similar aos fornos de processamento de ligas de Al a nível de *design*. No entanto a elevada reactividade do Mg leva a que se realizem alterações a nível da selecção de materiais do cadinho, sistema de vazamento, refractário e próprio processamento do equipamento.

## 2.6. Forno de baixa pressão

Para fornos de baixa pressão, ao contrário dos processos convencionais de fundição por injeção e por gravidade, a coquilha é posicionada por cima da câmara de fundição, sendo este um processo contra gravítico. Na Figura 3 é representado o mecanismo de funcionamento deste processo.

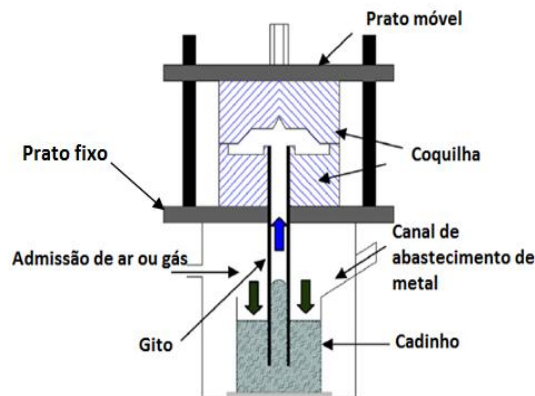


Figura 3 – Representação esquemática de funcionamento de um forno de baixa pressão convencional (Fu, 2006)

Um gito de geometria tubular estende-se desde a coquilha até ao banho de metal fundido, sendo que por pressurização da câmara se força o metal a entrar na moldação. O método de enchimento é realizado a baixa pressão, decorrendo este durante um ciclo automatizado de curta duração e temperaturas relativamente baixas quando se compara com o processo convencional de vazamento por gravidade. A rápida solidificação, associada a uma baixa pressão origina peças vazadas com grão fino, pequenas dendrites e propriedades mecânicas elevadas (Ferreira, 1999).

A fundição por baixa pressão quando comparada com a fundição por gravidade apresenta as seguintes vantagens:

- Na fundição de baixa pressão, o que se encontra em estado líquido é pressionado através do gito para o interior do molde através da pressão que exercida na superfície do metal (Figura 3). Esta forma distinta de enchimento do molde apresenta a mais importante diferença com a fundição por gravidade. Isto deve-se ao facto de que na baixa pressão se realiza o processo de enchimento do molde de forma absolutamente controlada. Isto resulta numa turbulência de baixa ou mesmo nula durante o enchimento do molde
- Devido à necessidade de o metal se encontrar dentro do forno, num ambiente fechado e sob atmosfera protegida, resulta que durante a



liquidificação do material se absorve menos impurezas, bem como a formação de filmes de óxido é reduzida;

- Ao contrário do processo de fundição por gravidade, o material a preencher o molde não é o que se encontra à superfície do banho de metal líquido, mas sim o que se encontra abaixo deste nível. Isto resulta num metal vazado limpo sem impurezas;
- Uma outra vantagem do processo de fundição de baixa pressão diz respeito ao sistema de vazamento ser relativamente mais curto que os da fundição por gravidade. Os alimentadores não são normalmente necessários, reduzindo a perda de material;
- Associado à menor perda de material, diminui-se os custos da matéria-prima, energia, mão-de-obra e limpeza.

### 2.7. Gases de protecção

Devido à elevada reactividade do magnésio no estado líquido, verifica-se que este oxida rapidamente ao ar e humidade. O magnésio tem uma temperatura de fusão de aproximadamente 650 °C, sendo que para temperaturas abaixo dos 450 °C, a reacção de oxidação não é um problema, encontrando-se o magnésio em estado sólido e formando-se sobre este uma película de óxido de magnésio (MgO) protector. No entanto a uma temperatura superior a 475 °C verifica-se que o filme de óxido perde as suas propriedades de protecção devido ao aumento da sua porosidade, desenvolvendo-se a reacção de oxidação de uma forma linear com o tempo (Aartad, 2004). Esta é uma reacção contínua, tendo fim apenas quando o material for todo consumido. Para temperaturas acima dos 623 °C verifica-se segundo (Kubaschewski, 1953) que o magnésio tem uma combustão descontrolada. Com o aumento da temperatura, verifica-se uma maior propensão para a oxidação do magnésio sendo que para temperaturas da ordem dos 700 °C se verificam reacções de oxidação, mesmo para ambientes com quantidades infinitesimais de oxigénio.

Para evitar a oxidação excessiva e ignição do MgO, é necessário estabilizar e separar este do oxigénio e humidade. Para promover esta separação e controlar a reacção de oxidação, desde 1930 que a indústria do magnésio utiliza uma série de gases

de protecção à base de flúor como  $\text{NF}_3$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{SO}_2\text{F}_2$ ,  $\text{IF}_5$ ,  $\text{PF}_5$ ,  $\text{SbF}_5$ , e  $\text{SF}_6$ . Estes foram gases utilizados na indústria, sendo que no entanto só na década 70 foram extensivamente testados. Entre estes destacou-se, devido às suas características como agente protector, o gás  $\text{SF}_6$  ou hexafluoreto de enxofre, apresentando-se como um gás inodoro, não inflamável, não tóxico e não corrosivo (Fruehling, 1970). O  $\text{SF}_6$  é um gás à base de fluoretos que foi sugerido e patenteado por Reymers em 1930 (Reimers, 1934). A acção protectora do gás  $\text{SF}_6$  baseia-se na sua propriedade de reacção que se verifica entre os fluoretos e magnésio em estado líquido ou gasoso. Estas reacções facilitam a criação de uma película elástica, não-porosa contendo  $\text{MgO}$  e fluoretos de magnésio ( $\text{MgF}_2$ ).

No entanto o gás  $\text{SF}_6$  demonstra-se como um potente e persistente gás de estufa com uma vida atmosférica estimada em milhares de anos. Como forma de reduzir ou eliminar a utilização deste gás, em 1998 a Associação Internacional do Magnésio (IMA) comprometeu-se a encontrar materiais de protecção apropriados substituintes do gás  $\text{SF}_6$ . Esta pesquisa foi desenvolvida segundo os requisitos enumerados a seguir:

- Deve proteger tanto o magnésio puro como uma série de ligas de magnésio;
- Baixo índice de potencial de aquecimento de estufa (PAG);
- Inofensivo à camada de ozono;
- Seguro e não-tóxico a temperaturas ambiente;
- Não inflamável;
- Não corrosivo à temperatura ambiente e temperatura de utilização;
- Mais barato que o  $\text{SF}_6$ ;
- Disponível no mercado.

A partir deste momento, e tendo-se identificado o flúor como um ingrediente activo na protecção do magnésio, foram seleccionados três gases fluorados como potenciais substitutos do SF:

- HFC 134a
- HFE 7100
- Novec<sup>TM</sup> 612

### 2.7.1. HFC 134a

Este é um gás muito utilizado em sistemas de climatização de veículos automóveis. Tem um (PAG) de 1300 e uma vida atmosférica de aproximadamente 14,6 anos. Este composto é produzido por vários fabricantes, sendo que foi desenvolvido e patenteado para fins de agente de protecção do magnésio pela “*Australian Magnesium Corporation*” (AMC) tendo uma designação comercial de AM-cover.

Quanto ao seu comportamento como gás de protecção de ligas de magnésio, através de observações e testes realizados em ambientes controlados (Tranell, 2007) verificou-se que o HFC 134a protege de uma forma efectiva o Mg puro e as ligas de AM50 e RZ50. Quando este material é utilizado sobre ligas de Mg verifica-se a geração de uma película metálica brilhante. Esta boa protecção deve-se à presença de  $MgF_2$  na película de numa quantidade de cerca de 50%, que é muito superior ao observado em películas que se geram pela utilização de  $SF_6$  que é na ordem dos 13% (Cashion, 1998). Este facto suporta a expectativa de o filme criado ser suficientemente denso, separando totalmente o Mg líquido do ambiente. No entanto e sobre condições em que mantiveram as mesmas concentrações de gás de protecção, verifica-se que a partir dos 800 °C a protecção tem tendência para falhar, surgindo pontos de combustão e oxidações excessivas. Perante estas circunstâncias, é possível aumentar a eficiência de protecção da película aumentando a concentração de gás de protecção (Schwarz W. e., 2009), sendo desta forma também possível aumentar a temperatura do banho até cerca de 850 °C.

Na Tabela 3 é possível verificar os efeitos da temperatura na protecção do magnésio. Para esta experimentação foi realizado um pré vácuo até os 6 Pa, sendo que neste instante é insuflado na câmara com uma mistura de HFC 134a,  $SF_6$  e azoto ( $N_2$ ) até a pressão no forno ultrapassar os  $10^5$  Pa.

Tabela 3 – Efeito de protecção do gás HFC 134a com a variação da temperatura (Xiong, 2009)

<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Fracção de volume de HFC 134a [%]</b>	<b>Efeito de protecção</b>
760	0,003; 0,01; 0,1; 0,25; 0,5; 1	Protegido
800	0,01	Protegido
830	0,01	Protegido
845	0,01	Protegido
856	0,01	Alguma evaporação
856	0,01	Protegido

Para a mistura de gases de protecção utilizada, pode-se verificar que a mínima concentração de HFC 134a é de 0,003 % e que é necessário um aumento da concentração com o aumento de temperatura até aos 856 [°C]

Para além da falta de estabilidade do filme do HFC 134a para elevadas temperaturas de fusão do magnésio, foi verificado segundo (Schwarz W. e., 2008) que após a sua implementação, substituindo o SF<sub>6</sub>, o HFC 134a tinha um comportamento mais corrosivo, levando a uma aceleração da corrosão verificada no cadinho. No entanto, por forma a eliminar este tipo de fenómenos, deve-se ter em conta as seguintes medidas.

- Selar a entradas de ar no forno;
- Promover uma distribuição de gás correcta pela área do banho de metal;
- Instalação de um sistema que controle a alimentação do forno.

Para pequenos fornos, com uma pequena área superficial de banho, não é necessário tomar medidas adicionais de segurança (Schwarz W. e., 2009), verificando-se desta forma que a vulnerabilidade do gás tende a crescer com o aumento do tamanho do forno.

### 2.7.2. HFE 7100

Este é um éter fluorado, sendo muito utilizado como solvente de limpeza de precisão e fluido de transferência de calor. O composto é líquido à temperatura ambiente com um PAG estimado de 390 e uma vida atmosférica de aproximadamente 5 anos. Este composto é fabricado como agente de protecção do magnésio pela AMC.

Quanto ao seu comportamento como gás de protecção de ligas de magnésio, através de observações e testes realizados em ambientes controlados (Tranell, 2007), é observado que este composto mostra grande dependência em relação ao gás de transporte, que como a denominação indica, tem a função de transportar o gás de protecção. Esta dependência resulta principalmente na necessidade de se variar a massa específica da mistura do HF 7100 de um gás de transporte para outro.

Quando o composto HF7100 tem uma protecção efectiva, este produz uma fina e brilhante película de MgO, que se apresenta muito elástica com o Mg puro, enquanto por outro lado para a liga AM50, forma uma película quebradiça.

### 2.7.3. Novec™612

Este é uma cetona fluorada comercializada sobre a denominação de Novec™612, sendo no entanto também conhecida por FK 5-1-12. A sua principal aplicação passa por ser utilizada para na extinção de fogos e é comercializado para fins de protecção do magnésio pela 3M. À temperatura ambiente este composto encontra-se em estado líquido, tem um PAG de aproximadamente 1 e uma vida esperada de 5 dias.

Quanto ao seu comportamento como gás de protecção de ligas de magnésio, através de observações e testes realizados em ambientes controlados (Tranell, 2007), chegou-se à conclusão que este composto apresenta uma boa resposta para temperatura até os 700°C. Para elevadas concentrações deste gás é gerada uma película com uma espessura de aproximadamente 1µm, obtendo-se uma maior protecção. Para baixas concentrações é formado um MgO metálico brilhante.

### 2.7.4. Comparação dos gases HFC 134a, HF 7100 e Novec™ 612 com o SF6

Como forma de comparação dos gases referenciados anteriormente com o gás SF6, na Tabela 4 são apresentadas as principais características.

Tabela 4 – Comparação dos gases de protecção alternativos ao SF6 (EPA, 2006)

<b>Composto</b>	<b>Vida atmosférica [anos]</b>	<b>PAG (Potencial de Aquecimento Global) [100 anos]</b>	<b>Potencial de redução de benefício climático comparado ao SF6 [%]</b>	<b>Potenciais produtos derivados emitidos</b>	<b>“Upgrades” do sistema necessária para utilização comparada com o SF6</b>
SF6	3200	23900	--	SO <sub>2</sub> , HF	--
HFC-134a	14,6	1300	95-99	HF, PCFs	Mínimo
HFC 7100	5	390	-		
Novec <sup>TM</sup> 612	0,14	1	95-99	HF, PFIB, PCFs	Moderado

Como já referenciado os gases de protecção podem variar no que diz respeito às suas potencialidades, sendo que como variáveis para esta discrepância se pode referir os gases de transporte, a temperatura da liga de Mg em estado líquido, fluxo de gás insuflado e ligas de Mg. Como tal na Tabela 5 são referenciadas para ligas diferentes o fluxo de gases necessário para obter uma protecção satisfatória. Estes estudos foram realizados submetendo uma área de 0,5 m<sup>2</sup> de magnésio em estado líquido por um período de tempo de 2,5h.

Tabela 5 – Fluxos mínimos necessários para promover uma protecção efectiva

<b>Condições do banho</b>		<b>Gás de protecção e Gás de transporte [l/min]</b>							
		<b>SF6</b>		<b>HFC - 134a</b>		<b>HFE 7100</b>		<b>Novec<sup>TM</sup>612</b>	
<b>Liga</b>	<b>Temp.[°C]</b>	<b>ar</b>	<b>Co<sub>2</sub>/ar</b>	<b>ar</b>	<b>Co<sub>2</sub>/ar</b>	<b>ar</b>	<b>Co<sub>2</sub>/ar</b>	<b>Ar</b>	<b>Co<sub>2</sub>/ar</b>
AM50	680	20	10	20	5	10	<2,5	10	<2,5
	710	>20	10	>20	5	20	2,50	10	2,5
RZ5	710	>20	>20	>20	5	20	20	10	5

Como observado na Tabela 5, para uma protecção efectiva, existe uma necessidade de variar o fluxo da mistura de gases a ser insuflado na câmara mediante do tipo de liga fundida e temperatura.

Utilizando CO<sub>2</sub> como gás de transporte, é necessário utilizar uma concentração menor comparando com o ar. Para gases de transporte ricos em CO<sub>2</sub> haverá a produção de monóxido de carbono (CO) como um dos principais produtos da reacção entre o CO<sub>2</sub> e vapor de Mg. Para formar MgO e CO a eficiência da protecção de um gás fluorado é em função da concentração do gás na interface do gás. Esta função é ilustrada pelas taxas diferenciadas de fluxo verificada para os vários fases para conseguir uma protecção efectiva. Isto deve-se à quantidade de HFC 134a (4 átomos de flúor por molécula) necessária para proteger a superfície por unidade de tempo é superior aos montantes necessários para os gases HFE 7100 (9 átomos de flúor por molécula) e Novec™ 612 (12 átomos por molécula).

Para além destas diferenças, também ao nível do aspecto se denotam diferenças de acordo com as variáveis referidas. Nas seguintes figuras é possível verificar que para uma temperatura do banho de 680 °C se verificam tonalidades distintas.

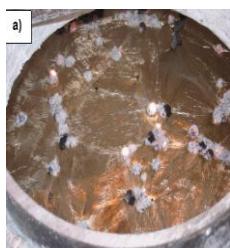


Figura 4 – AM50 – SF<sub>6</sub>/CO<sub>2</sub>+ar – 5l/min – 680 °C (Tranell, 2007)



Figura 5 - AM50 – HFC 134a/CO<sub>2</sub>+ar – 2,5 l/min - 680°C (Tranell, 2007)



Figura 6 - AM50 – HFE 7100/CO<sub>2</sub>+ar – 2,5l/min - 680°C (Tranell, 2007)



Figura 7 - AM50 – Novec™ 612/CO<sub>2</sub>+ar – 2,5l/min - 680°C (Tranell, 2007)

Na Figura 7 o AM50 tem uma tonalidade metálica cinzenta. Este tipo de superfície geralmente indica que a película de protecção tem uma espessura relativamente grande causada por um excesso de flúor o que se demonstra como uma protecção que é realmente efectiva.

Na Figura 8 e Figura 9 seguintes pode-se visualizar a diferença para a mesma liga de Mg AM50 e a diferença ao nível da resposta do gás HFC 134a para diferentes gases de transporte.



Figura 8 - AM50 – HFC 134a/ar – 20l/min - 710°C (Tranell, 2007)



Figura 9 - AM50 – HFC 134a/CO<sub>2</sub>+ar – 5l/min - 710°C (Tranell, 2007)

Nas imagens anteriores pode-se verificar através da tonalidade da película protectora que se obtêm melhores resultados com o gás de transporte de CO<sub>2</sub>/ar apresentando esta uma tonalidade metalizada escura, mesmo para um fluxo quatro vezes inferior correspondente a 5 l/min.

Nas Figura 10 e Figura 11 seguintes pode-se verificar que o comportamento dos gases HF 7100 e HF 134a.



Figura 10 – R25 – HFE 7100/CO<sub>2</sub>+ar – 10l/min - 710°C (Tranell, 2007)



Figura 11 - R25 – HFC 134a/CO<sub>2</sub>+ar – 5l/min - 710°C (Tranell, 2007)



Nestas imagens anteriores, pode-se verificar que o gás HFC 134a, Figura 11, produz uma película menos espessa, sendo que no entanto para promover a protecção não necessita de tanto fluxo de gás comparativamente ao da Figura 10. Também se deve evidenciar que comparativamente à Figura 9 onde se utilizam as mesmas condições para uma liga diferente, o HFC 134a na Figura 11 produz uma película de menor espessura, evidenciado isto pela tonalidade mais clara.

Para além dos gases referenciados existem outros que já foram testados em ambiente industrial. Na Tabela 6 seguinte são apresentadas as vantagens/desvantagens dos gases referenciados anteriormente e outros, que embora não sejam tão utilizados, são referenciados como gases de protecção para a fundição de magnésio.

Tabela 6 – Vantagens / Desvantagens da utilização de gases de protecção

<b>Gás de protecção</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>SF6</b>	Não tóxico; estável a altas temperaturas; excelente protecção a altas temperaturas	Caro; PAG 23900, corrosivo; produção de HF em presença de humidade
<b>HFC 134a</b> <b>(AM-cover)</b> <b>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub></b>	Não tóxico; estável a altas temperaturas; boa protecção em muitas aplicações <720 °C	Corrosivo através de HF; filme de protecção sensível; PAG 1300
<b>HFC 125</b> <b>C<sub>2</sub>HF<sub>5</sub></b>	Comparável com o HFC 134a	Corrosivo através de HF; PAG 3500
<b>FK 5-1-12</b> <b>Novec™ 612</b>	Não tóxico; PAG 1 antes de utilizado (PAG 400 depois de utilização); Protecção possível > 720°C	Formação de CO, CO <sub>2</sub> e HF em presença de humidade

Tabela 6 - Vantagens / Desvantagens da utilização de gases de protecção (continuação)

<b>HFC 1234ze</b> <b>CF<sub>3</sub>CH=CFH</b>	Não tóxico, PAG 9	Emissões de HF em presença de humidade
<b>SO<sub>2</sub></b>	Custo; Sem PAG; Sem formação de HF; boa protecção a temperatura de fusão elevadas	Corrosivo; sistema de instalação complexo
<b>Ar</b>	Não tóxico	Má protecção, podendo ocorrer evaporação de Mg
<b>CO<sub>2</sub> Congelado</b>	Não tóxico; PAG 1 ou 0	Sistema de instalação complexo

Como referenciado a tabela anterior, os compostos à base de flúor geralmente geram ácidos fluorídricos (HF), sendo que esta produção se realiza em maiores quantidades que o SF<sub>6</sub>. O HF apresenta-se nestas circunstâncias como um gás incolor e fumegante que causa dor. Quando concentrado, reage violentamente com os hidróxidos alcalinos sólidos, como o hidróxido de sódio e o hidróxido de potássio. Em caso de ingestão este ácido é tóxico e pode ser fatal (Ácido fluorídrico).

No que diz respeito ao custo actual o preço/mol de gás equivalente HFC 134-a <HFE 7100 <Novec™612. No entanto no que diz respeito à comparação de custos associados quer ao gás de protecção quer ao gás de transporte, deve-se ter em conta a eficiência da protecção. Esta eficiência, como já referido está intimamente relacionado com a quantidade de gás de transporte insuflado na câmara por unidade de tempo. Desta forma a análise de custos dos gases não deve ser realizada apenas através do custo associado ao kg (€/kg) de gás, mas através de uma relação com a quantidade de gás necessário para realizar uma protecção efectiva para uma determinada temperatura e liga de Mg.

Tendo em conta os valores da Tabela 5, para a temperatura de 680°C e a liga AM50, pode-se concluir que o gás de protecção HFC 134a necessita do dobro da quantidade quando comparado com o HFE 7100 e Novec™ 612.

Quanto aos gases de transporte, os mais utilizados na indústria é o ar seco, N<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. Destes gases o ar seco é normalmente o mais barato, sendo que o N<sub>2</sub> e o CO<sub>2</sub> têm custos associados semelhantes (Tranell, 2007).

### 2.7.5. Árgon

A protecção de magnésio através de uma atmosfera de gás inerte, usualmente árgon (Ar) é baseada na deslocação do oxigénio. O árgon é um gás inerte que não reage com o magnésio, sendo que consequentemente não gera uma película de protecção. Devido a este facto, o árgon não impede a evaporação do magnésio, sendo que desta forma o metal pode atingir a atmosfera acima do banho, criando-se assim o risco de explosão (Karger, 2006). Desta forma pode-se afirmar que a utilização de árgon como gás de protecção resulta numa má protecção.

Este gás pode ser utilizado como agente de transporte / diluição do gás de protecção, sendo que segundo (Tranell, 2007) o árgon se associa melhor com o HFC 134a quando comparado ao Novec<sup>TM</sup> 612 e HFE 7100. No entanto, o CO<sub>2</sub> apresenta melhores resultados como gás de transporte de HFC 134a.

Como conclusão da comparação dos gases referidos com o SF<sub>6</sub> pode-se referir que:

- Têm um efeito estufa menor que o gás SF<sub>6</sub>;
- Promovem uma resposta técnica melhor que o SF<sub>6</sub>. Para além destes produtos referenciados;
- Comparando os compostos no que diz respeito às quantidades volúmicas necessárias para promover uma protecção viável, pode-se enumerar por ordem crescente de quantidade; Novec 612, HFE 7100, HFC 134a e SF<sub>6</sub>;
- Os compostos Novec 612, HFE 7100 e HFC 134a são efectivos contra a extinção da oxidação do magnésio;
- Os compostos Novec 612, HFE 7100 e HFC 134a têm um impacto menor de efeito de estufa quando comparados ao SF<sub>6</sub>.
- A utilização de CO<sub>2</sub>/5% de ar como gás de transporte geralmente promove uma protecção melhor comparado com um gás de transporte 100% ar. Para além disso, a utilização de CO<sub>2</sub> geralmente provoca menos fumos e fogos.

- Magnésio puro é mais susceptível às alterações de temperatura quando comparado com as suas ligas. As ligas de magnésio, geralmente têm um melhor comportamento aos gases de protecção para temperaturas mais elevadas.
- Podem ser detectados três espécies de gases tóxicos/corrosivos na utilização de gases de protecção fluorados, podendo-se referir o monóxido de carbono (CO), ácido fluorídrico (HF) e fluoretos de carbonila (COF<sub>2</sub>)

### 2.7.6. Mecanismo de protecção

O sistema de protecção para fundição de Mg em ambiente fechado é normalmente composto por uma insuflação de mistura de gases. Esta mistura de gases é realizada através de medidores de fluxo e válvulas, que desta forma realizam uma mistura correcta de dois tipos de gases. Isto verifica-se para produtos que à temperatura ambiente se encontram em estado gasoso. Na Figura 12 é representado o esquema do mecanismo de protecção.

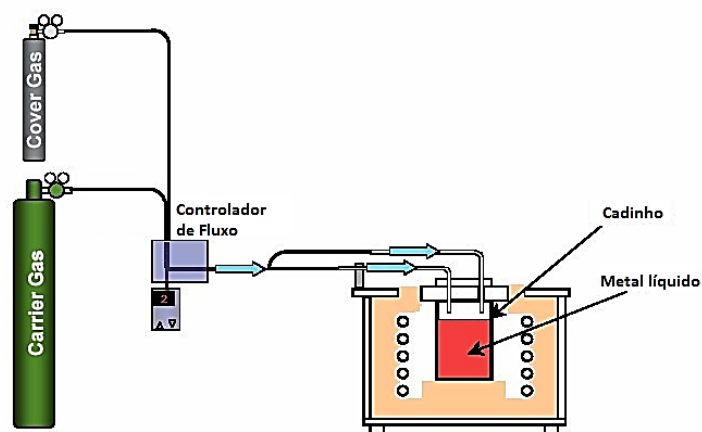


Figura 12 – Esquema de mecanismo de protecção de oxidação de Mg (Japan Magnesium Association, 2006)

A instalação do HFC 134a é de maior facilidade que o Novec<sup>TM</sup> 612, pois à temperatura ambiente o primeiro encontra-se em estado gasoso. Desta forma não necessita anexos de gaseificação, como acontece para o Novec<sup>TM</sup> 612 como representado na Figura 13.

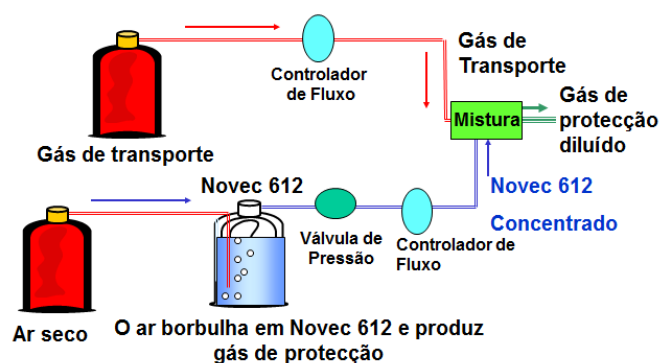


Figura 13 – Sistema de geração de gás de protecção Novec™ 612 (Milbrath, 2004)

Este é um sistema mais complexo devido à necessidade de implementação de unidade de fornecimento de gás seco e manutenção económica.

### 2.7.7, Dinâmica de fluidos

Para a correcta cobertura da área de banho pelo fluxo de gás é necessário realizar um dimensionamento do número de bocas de insuflação assim como a sua disposição face ao banho.

O gás de protecção e gás de transporte são injectados dentro do cadinho devendo ser aspergidos sobre o banho de maneira uniforme. Esta mistura de gases entrará no forno a uma temperatura baixa, quando comparada com o metal, sendo que para diminuir este diferencial de deve promover uma permuta de calor entre o calor do forno e o tubo de transporte de gases.

### 2.7.8, Selecção de gases

No seguimento da análise que se realizou aos vários gases que actualmente se utilizam no mercado tomou-se a decisão de seleccionar os gases representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Selecção de gases

Aplicação	Gás
Gás de protecção	HFC134a
Gás de transporte	CO2
Gás inerte	Árgon

No que diz respeito ao HFC134a, este é um gás de protecção que tem um bom desempenho, sendo que no entanto apresenta com menor rendimento que os seus principais rivais (HFE 7100 e Novec<sup>TM</sup>612).

Para o equipamento forno de baixa pressão e tendo em conta a Tabela 5, pode-se estimar que para uma área de banho de aproximadamente 0,2m<sup>2</sup> seja necessário um fluxo de 2l/min de caudal para o gás de protecção HFC134a com CO<sub>2</sub>/ar como gás de transporte.

A diferença de rendimento do gás HFC134a é compensada através da maior facilidade na instalação do equipamento, apresentando-se mais simples que o dos concorrentes que surgem em estado líquido à temperatura ambiente.

## **2.8. Sistema de vácuo**

Para a criação de um vazio no interior do equipamento é necessário utilizar mecanismos que permitam manter a estanquicidade e não permitam a entrada de gases no interior, por forma a não colocar em causa a segurança do operador e equipamento.

### **2.8.1. Mecanismos de vedação**

A solução ideal para assegurar a total estanquicidade passa por construir um equipamento como um só, sem necessidade de recorrer à união de material de componentes ou juntas. No entanto esta solução não é realista devido às especificações do equipamento, como de todos os equipamentos de vácuo onde também não é possível garantir a um ambiente totalmente hermético. Assim, este deve ser construído com soluções que permitam a realização das funcionalidades normais de vazamento sob baixa pressão mantendo a estanquicidade. As soluções que promovem esta estanquicidade podem ser classificadas de duas formas, definitivas e desmontáveis.

#### **2.8.1.1. Soluções definitivas**

As soluções definitivas são uniões de materiais através de soldadura que pode ser de vários tipos, sendo que para o equipamento em questão a seleccionada é a soldadura sem pressão. Este tipo de selagem compreende a junção de material pela

aplicação de calor com ausência de pressão. A mistura de metal preenche a lacuna entre os componentes juntando as partes.

A soldadura por arco eléctrico com gás inerte (TIG) é a técnica mais utilizada para a união de câmaras de vácuo em metais como o alumínio, aços inoxidáveis ou níquel (Roth, Vacuum technology, 1990), pelo que se recomenda a utilização da mesma para os trabalhos de fabrico do equipamento. Para esta técnica deverá ser aplicada para corrente alternada 100V e 250-300A enquanto para corrente contínua 45-75V; 15-200A.

Para a definição de uma boa solda em equipamentos de vácuo deve-se verificar os seguintes requisitos:

- As soldas devem ser realizadas com penetração total;
- Deve-se verificar sempre que possível uma única pesagem de solda;
- A soldadura deve ser realizada através área onde se irá verificar a zona de vácuo;
- Se por razões de resistência for necessário realizar uma solda dupla, a solda que se situa na zona de vácuo deve ser estanque;
- O fabrico do equipamento através de soldadura deve ser realizada de forma permitir testes individualizadas de estanquicidade.

Através dos vários requisitos para a soldadura, são representadas na Figura 14 as várias posições correctas para elementos a soldar, fazendo-se também referência aos erros que normalmente são cometidos.

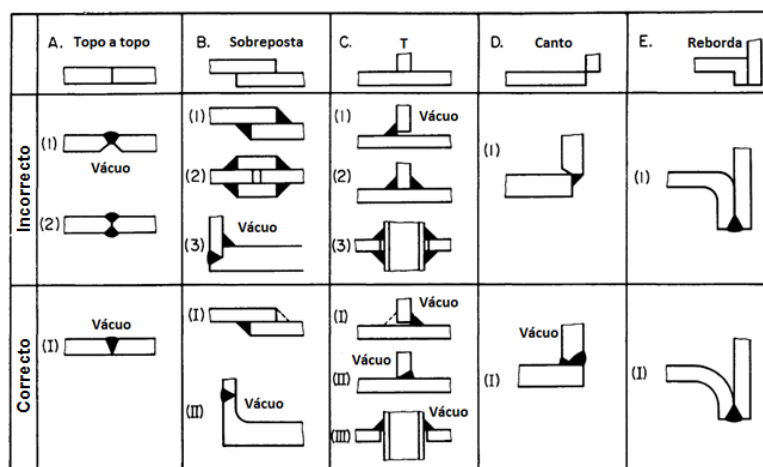


Figura 14 – Posições relativas aconselhadas para equipamentos de vácuo (Roth, Vacuum technology, 1990)

### 2.8.1.2. Soluções desmontáveis

Este tipo de tipo de solução ao contrário da anterior não é de carácter definitivo, sendo que devido a isto permite um procedimento de desmontagem e posterior montagem dos componentes de forma rápida e sem que se verifique uma perda das propriedades de vedação. Esta é uma solução com maior flexibilidade em relação à anterior, sendo que o seu funcionamento passa por comprimir duas flanges sobrepostas por forma a não se permitir a deslocação de gases entre estas.

Duas flanges com um bom acabamento superficial quando são comprimidas realizam uma boa união mecânica. No entanto é expectável a presença de microcanais, verificando-se através destes a deslocação de gases como representado na Figura 15. Estas constituem uma considerável fonte de fuga, não podendo ser permitida em sistemas de vácuo.

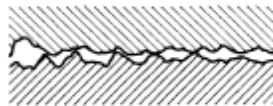


Figura 15 – Secção esquemática de flanges sem junta (Roth, Vacuum Sealing Techniques, 1966)

Para selar este tipo de canais seria necessário aplicar uma pressão muito elevada devido à natureza mecânica dos materiais. No entanto intercalando uma junta (*o-ring*) entre os flanges como demonstrado na Figura 16, com uma dureza inferior, de forma a permitir a penetração das asperidades dos flanges, vai anular os microcanais, preenchendo os espaços entre as irregularidades superficiais.



Figura 16 - Secção esquemática de flanges com *o-ring* (Roth, Vacuum Sealing Techniques, 1966)

A pressão necessária para assegurar a selagem é muito menor à verificada na Figura 15, dependendo esta dos seguintes parâmetros:

- Material d *o-ring*;



- Acabamento superficial dos flanges;
- Atrito entre os flanges e o *o-ring* (lubrificação e geometria das flanges e *o-ring*)

A pressão exercida sobre *o-ring* terá como consequência a sua deformação, sendo que a taxa de deformação depende do material do *o-ring*, da sua geometria e do tipo de esforço aplicado.

No que diz respeito ao material do *o-ring*, estes podem ser de vários materiais, no entanto este tem que ter a plasticidade suficiente para preencher as irregularidades superficiais dos flanges, bem como a elasticidade para preservar a pressão exercida sobre ele, aumentando o seu ciclo de vida. No equipamento podem ser utilizados juntas em metal como cobre, alumínio, ouro, entre outros, dependendo das especificações da aplicação. No entanto estes tipos de juntas não são utilizados no equipamento devido à sua falta de elasticidade em recuperar a geometria inicial após uma carga de compressão. Caso contrário o acto de abertura das partes seladas seria economicamente inviável (necessidade de substituir a junta). No subcapítulo referente à selecção de materiais é esclarecido que tipo de material deve ser utilizado para os elementos de vedação do equipamento.

Para a selecção da geometria a adoptar para os vários *o-ring's*, seguiu-se a Figura 17.

Compressão	AXIAL			Compressão	RADIAL		
	Número de partes				Número de partes		
	2	3	4		2	3	3
		—	—			—	—
			—	—	—	—	—
		—	—				
			—	—	—	—	—
		—	—		—	—	
		—	—				—
		—	—				—
	—		—	—	—	—	—

F – Vedação de flange, G – Vedação de sulco, Sp – Vedação com espaçador, Cn – Vedação cônica, St - Vedação de degrau (Roth, Vacuum Sealing Techniques, 1966)

Figura 17 - Classificação do posicionamento dos vedantes

Através da figura anterior, foram seleccionadas para os vários locais de vedação geometrias com 4 zonas de compressão, nomeadamente as vedações de sulco (G). Dentro destes tipos de vedações foram seleccionadas as que permitem uniformizar a compressão ao longo da secção do *o-ring* por forma a aumentar a vida útil do órgão de vedação. Na Figura 18 é ilustrado o mecanismo de vedação utilizado no equipamento onde se necessita de um vedação desmontável e estática.

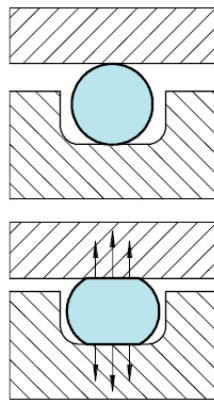


Figura 18 – Representação de perspectiva de corte de mecanismo

Devido ao vácuo que se desenvolverá no interior do equipamento, é necessário criar uma barreira física que impeça o deslocamento e consecutiva sucção do *o-ring* para o interior. Este mecanismo ilustrado na figura anterior responde a esta necessidade através da pista maquinada na superfície de compressão. Esta compressão é realizada pela superfície superior, que utiliza como força para a compressão a sua própria massa e o aperto através de membros de ligação (parafusos).

De seguida é demonstrado o procedimento de dimensionamento das pistas de secção rectangular para posicionamento dos vários *o-rings*.

- Definição do local ideal para posicionamento do *o-ring* (diâmetro);
- Selecção de *o-ring* com dimensões semelhante ao requisito (DIN 3771);
- Dimensionamento da pista;

O dimensionamento da pista de posicionamento para *o-rings* é realizado por (2), (3) e (4) sendo os vários parâmetros ilustrados na Figura 19.

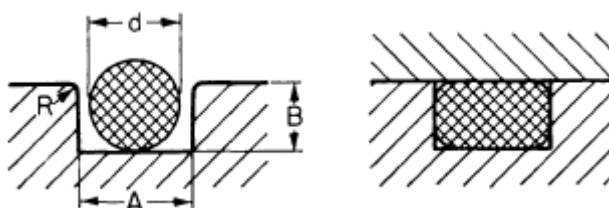


Figura 19 – Parâmetros para dimensionamento dos *o-rings* (Roth, Vacuum technology, 1990).

Na equação (2),  $C$  corresponde à taxa de compressão do material do *o-ring*, sendo que é definido aproximadamente 0,72 para a borracha e  $d$  corresponde ao diâmetro interno do *o-ring* para o local específico.

$$B = C \times d \quad (2)$$

Determinado o índice  $B$  que corresponde à altura do sulco define-se a largura ( $A$ ), pela equação (3). Para esta equação o índice  $k$  corresponde ao volume morto, ou espaço não preenchido que se deve à geometria do sulco (quadrático) e do *o-ring* (circular). Assim  $k$  é definido como 5%, que é um índice que permite uma relação vedação/longevidade do *o-ring* média.

$$A = \frac{1 + \left(\frac{k}{100}\right) \times \pi \times d^2}{4B} \quad (3)$$

O raio da aresta do sulco é definido por (4), onde são definidos os limites do raio e se estabelece um valor médio.

$$R = \frac{0,15 \times d + 0,22 \times d}{2} \quad (4)$$

Analisando o comportamento dos *o-rings* à compressão, verifica-se que aplicando uma pressão a primeira deformação terá um carácter elástico, desenvolvendo-se posteriormente uma deformação plástica no local de aperto e que se propaga ao resto do *o-ring*. Se a tensão de cedência for transposta ocorrerá um aumento da rigidez do elemento resultado na necessidade de substituição do *o-ring*. Desta forma é necessário

tomar um procedimento de aperto dos parafusos que se baseia em realizar apertos sequenciais parafuso a parafuso, realizando vários apertos a cada um dos parafusos. Com isto pretende-se uniformizar a pressão sobre a totalidade da área do *o-ring* durante o aperto.

As superfícies que estão em contacto com os *o-ring's* tomam uma função primordial no seu bom funcionamento e vida útil. Desta forma é importante determinar o acabamento superficial que se enquadra com o tipo de aplicação do *o-ring*. Na Tabela 8 seguinte é representado o tipo de acabamento superficial a seleccionar para equipamentos vácuo consoante a aplicação.

Tabela 8 – Rugosidade superficial segundo aplicação (Eriks, 2004)

<b>Aplicação</b>	<b>Rugosidade superficial, <math>R_a</math>; (<math>R_{max}</math>) [<math>\mu\text{m}</math>]</b>
Gases, superfícies em contacto	<1,6 (<6,3)
Fluídos, superfícies em contacto	(<16)
Vácuo, superfícies de contacto	<0,8 (<3,2)



### **3. PROJECTO DE FORNO DE BAIXA PRESSÃO**

### 3.1. Projecto informacional

Desenvolvida a secção dedicada à revisão bibliográfica sobre as ligas de magnésio e recolhida informação sobre as especificidades de um forno de baixa pressão, a componente de projecto iniciou-se em Dezembro de 2010, mês 2, com o início da definição das especificações como indicado na Tabela 9. Até então houve um período de obtenção de *know-how* relacionado com as necessidades das ligas de magnésio e suas especificações, equipamentos e soluções que poderiam ser implementadas no projecto.

Tabela 9 - Plano de projecto

Tarefa / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Revisão Bibliográfica										
Definição de especificações										
Modelação CAD										
Análise de viabilidade e selecção de solução										
Dimensionamento de equipamento										
Projecto para fabrico e montagem										

#### 3.1.1. Requisitos do plano de dissertação e especificações de projecto

Através dos requisitos estabelecidos pelo plano de dissertação e contacto com o orientador de projecto José Barbosa, o equipamento terá que possuir os seguintes requisitos:

- Escala dimensional para ambiente laboratorial;
- Produção de peças à escala unitárias;
- Capacidade de fundir um volume de 4 a 5 litros;
- Forno com características de processamento por baixa pressão;

- Sistema com capacidade de realizar vácuo;
- Adaptado para fundição de magnésio e alumínio;
- Forno de resistências eléctricas;

Para além destes requisitos base, outras especificações foram posteriormente delineadas, de forma a orientar o projecto para soluções que respeitassem um conjunto de atributos mais específicos apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Factores e especificações do projecto

Atributos	Itens	Especificação de projecto
Funcionais	1.1.	Abertura da tampa superior do forno de forma manual para manutenção e alimentação do cadinho;
	1.2.	Vazamento para coquilha, sendo esta pressionada sob o sistema de vazamento para promoção da estanquicidade;
	1.3.	Capacidade de realização de vazamentos consecutivos sem a necessidade de arrefecimento do material dentro do cadinho;
	1.4.	Abastecimento deve ser realizado com o forno desligado e com material remanescente em estado sólido;
Análise de sistema	3.1.	Deve dispor de um conjunto de sensores para controlo dos parâmetros do processo;
Segurança	4.1.	Insuflação do banho de magnésio com gases de protecção;
	4.2.	Sistemas de isolamento entre magnésio e meio ambiente durante e após vazamento;
	4.3.	“Limpeza” de ar na cápsula de vazamento depois da extracção das peças a vazar;
	4.4.	Sistema de emergência para fugas de magnésio;
	4.5.	Impossibilitar contacto entre magnésio em estado líquido e superfícies com oxidação galvânica;
	4.6.	Sistemas automatizados/cinemáticos de segurança;
Meio ambiente	5.1.	Utilização de gases não-poluentes ao ambiente.
Custo	6.1.	Não se devem inserir componentes que inflacionem o custo final do projecto;
	6.2.	Deve-se facultar a manutenção preventiva e correctiva



### 3.2. Ante projecto

Definidas as especificações do projecto, neste capítulo realiza-se o desenvolvimento da concepção do equipamento. Este procedimento foi realizado através do enquadramento do projecto informacional com o estabelecimento da estrutura funcional para o equipamento.

Para a percepção da função dos vários componentes que fazem parte da estrutura funcional, estes são referidos através de uma codificação lógica (ex.: 1113255211), sendo que no anexo E explicada a lógica de codificação, referenciado cada parâmetro e associada uma numeração exclusiva que diz respeito ao tipo de abordagem possível.

#### 3.2.1. Estrutura funcional

Tendo em consideração as características de processamento de um forno de baixa pressão e as especificações de projecto, é estabelecida a estrutura funcional do equipamento a desenvolver através de um conjunto de fluxogramas representados nas figuras seguintes.

O funcionamento do forno pode ser dividido em quatro etapas:

1. Preparação do equipamento (Figura 20);
2. Processamento de Mg (Figura 33);
3. Processamento de Al (Figura 34);
4. Preparação para a desactivação do equipamento (Figura 35);

Para a preparação do equipamento para a fundição é necessário realizar um conjunto de tarefas. Os primeiros trabalhos a realizar são referenciados no fluxograma da Figura 20 e têm como objectivo abastecer o cadinho com matéria-prima (Mg ou Al). Para isso é necessário abrir a porta de acesso ao cadinho (tampa de abastecimento), componente 1113255211. Para aceder a esta porta (Figura 21) é necessário em primeiro lugar abrir a tampa de acesso à câmara de vazamento (2823233431) (Figura 22). Desta forma e como é indicado no fluxograma, realiza-se em primeiro lugar o desacoplamento da tampa da câmara de vazamento por desaperto dos parafusos, retira-se a tampa e sistema de aperto da coquilha que vem anexado à tampa, assim como a coquilha (Figura

23). Neste ponto tem-se por fim acesso à porta de abastecimento. Esta é afixada por aperto de um conjunto de parafusos, sendo que depois do seu desaperto a tampa pode ser retirada facilmente. Terminada esta tarefa pode-se abastecer o forno com lingotes de Mg ou Al como demonstrado na Figura 24. Por fim é necessário realizar o inverso das tarefas referenciadas até então.

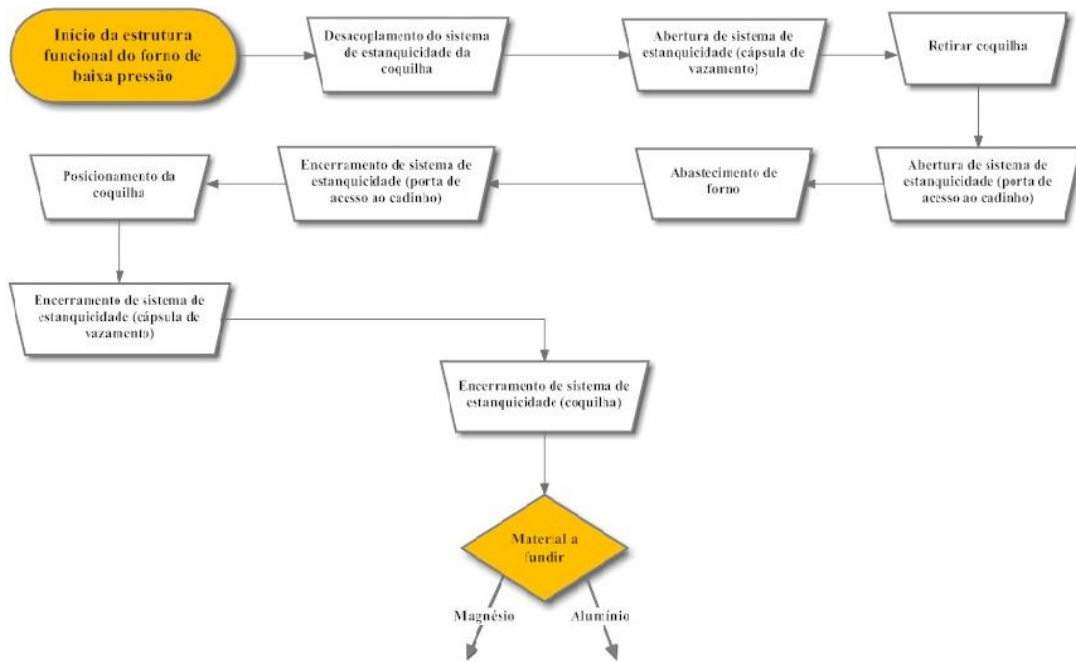


Figura 20 – Fluxograma da estrutura funcional (Etapa 1)

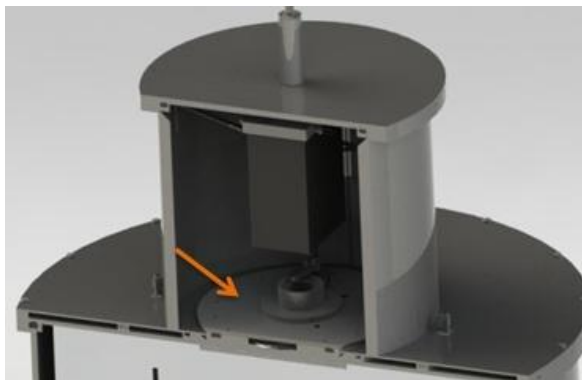


Figura 21 – Localização de porta de acesso ao cadinho

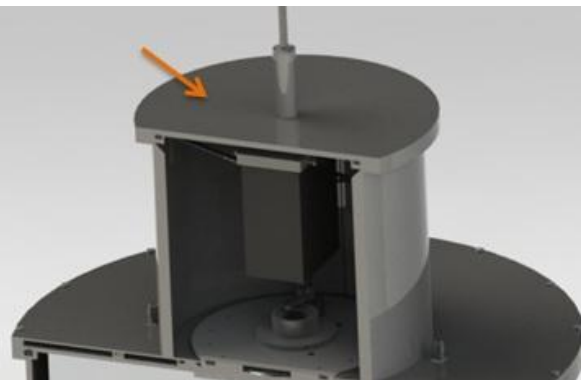


Figura 22 – Localização de tampa de acesso à câmara de vazamento



Figura 23 – Visualização de sentido abertura de tampa de câmara de vazamento

Figura 24 – Demonstração do sentido de abertura da porta de acesso ao cadinho e abastecimento do mesmo

Como já referido o forno foi especialmente projectado para a fundição de ligas de Mg, sendo que desta forma seja normalmente utilizado para processar este material. Na Figura 33 é representado o fluxograma que diz respeito a este tipo de processamento, fazendo-se referência às etapas de vazamento, extracção dos provetes e preparação para novo ciclo.

Por razões de processamento e segurança, a fundição de ligas de Mg deve-se realizar sempre com a presença de gases de pressurização e protecção. A primeira tarefa a realizar diz respeito à inspecção visual dos níveis de pressão nos manómetros dos tanques de gases e conseqüente verificação do correcto funcionamento do sistema de pressurização e insuflação de gases de protecção. Na Figura 25 é representada a placa de acoplamento das uniões desmontáveis das várias tubagens que transportam gases. Esta placa tem 4 uniões sendo que por ordem de posicionamento de cima para baixo têm as seguintes funções:

- Insuflação de gases na cápsula de vazamento;
- Extracção de gases da cápsula de vazamento;
- Extracção de gases do cadinho;
- Insuflação de gases no cadinho.

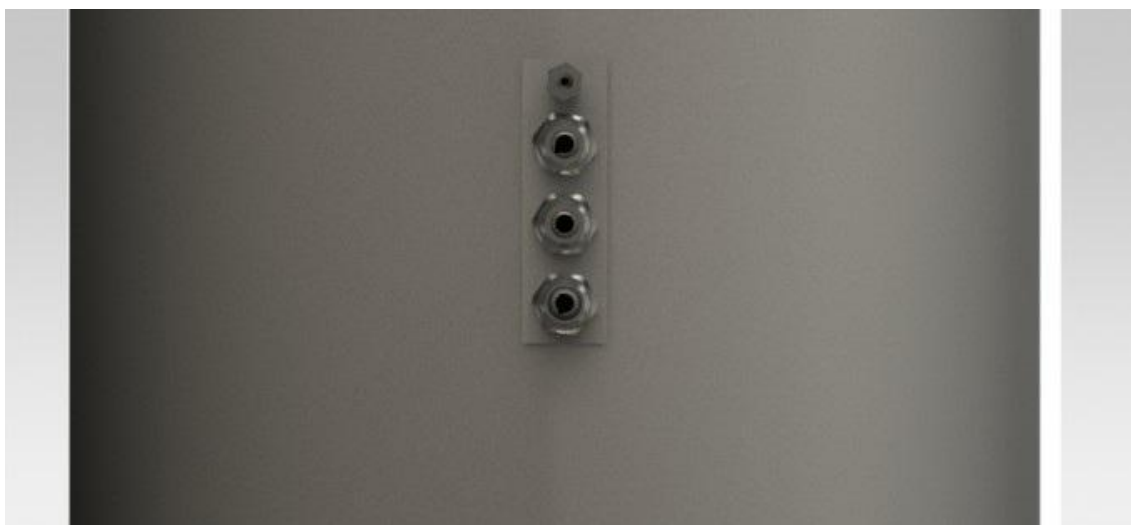
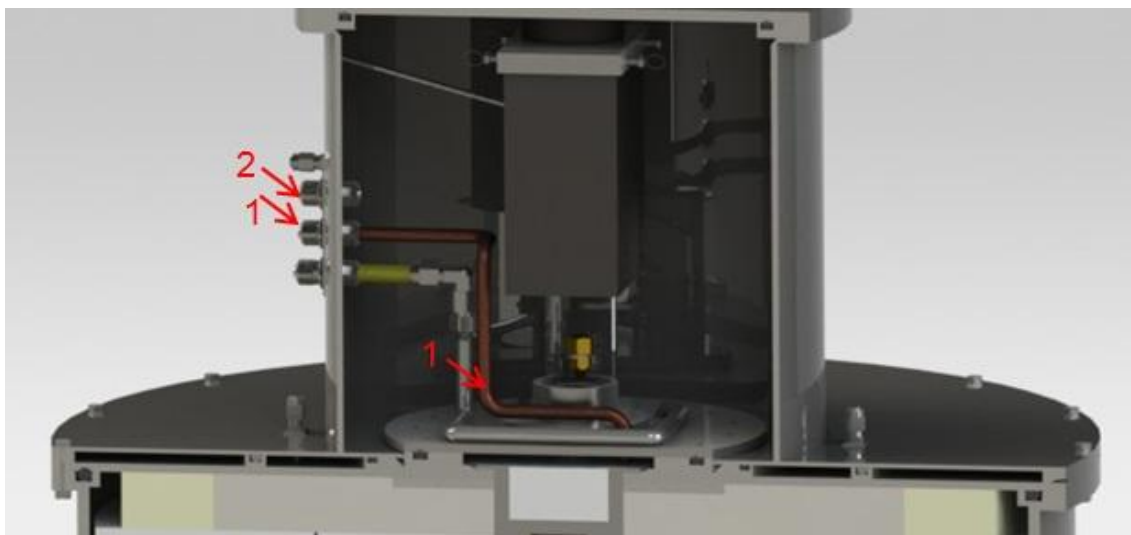


Figura 25 – Uniões desmontáveis para fixação das tubagens e transporte de gases

Findo este procedimento, dá-se ordem para se iniciar o processo de extracção de gases do interior do forno e câmara de vazamento pelos órgãos representados na Figura 26.



- 1- Tubagem de extracção de gases de cadinho;
- 2- Tubagem de extracção de câmara de vazamento.

Figura 26 – Representação em vista de sorte das tubagens de extracção de gases

Realizado o vácuo ao nível desejado, o forno liga-se e dando-se início ao aquecimento até os 450°C. A partir desta temperatura as ligas de Mg em contacto com o oxigénio têm reacções exotérmicas (Mordike L. e., 2000), sendo por isso insuflado de

forma regular um gás de protecção através do componente 6024411512 representado na Figura 27 no seu local de serviço em corte.

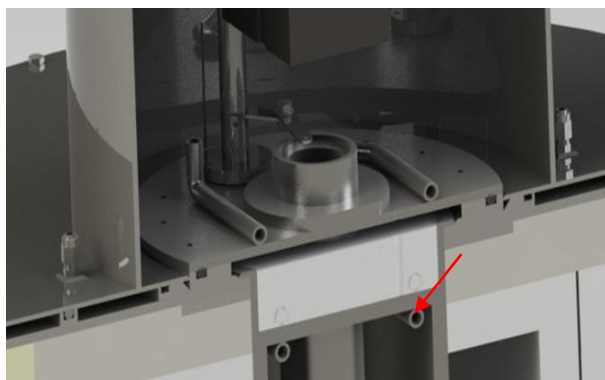


Figura 27 – Tubagem de insuflação de gases no banho de cadinho no local de serviço

Este gás vai gerar um filme de protecção entre o Mg e o ambiente de vácuo no cadinho aumentando o nível de segurança Figura 11.

Atingidas a temperatura de vazamento, é injectado um gás inerte que vai aumentar a pressão sobre a área do banho e o vai forçar a subir pelo gito para a realização do vazamento. Este tubo é referenciado na Figura 28.



Figura 28 – Perfectiva de corte do sistema de insuflação de gás de pressurização

Para além desta função, este tubo realiza também funções de extracção de gases fora do período de vazamento.

Este gás é injectado até que se verifique a solidificação dos provetes. Neste ponto, os provetes estão prontos a ser extraídos da coquilha, no entanto e por motivos de segurança, não se pode retirar neste momento a tampa da câmara de vazamento. Caso se retire a coquilha neste instante iria-se expor o Mg ao ar ambiente. Esta exposição, nem que momentânea seria de elevado risco, visto que devido às temperaturas elevadas naquele local iria criar uma depressão fazendo convergir ar ambiente para esse local.

Em vez disto e através do desaperto do parafuso de compressão axial da coquilha (511313332), procede-se ao levantamento axial desta (Figura 29).

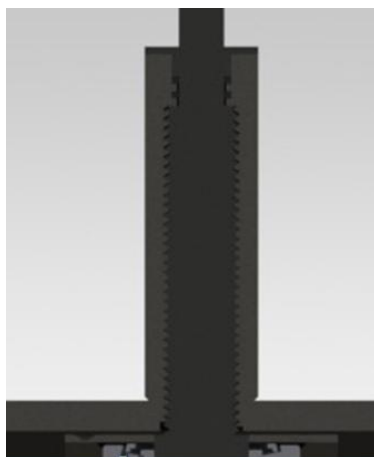


Figura 29 – Parafuso de compressão/descompressão de coquilha

A ascensão da coquilha é possível devido à união entre a placa de compressão (4314433214) e a coquilha pelos componentes de mola e êmbolo (*spring plunger*) como representado na Figura 30.



Figura 30 – Mecanismo de fixação coquilha / placa de compressão

Por conseguinte o movimento linear ascendente da coquilha acciona um mecanismo cinemático de insuflação de gases de protecção no gito através do parafuso sem fim representado na Figura 31.

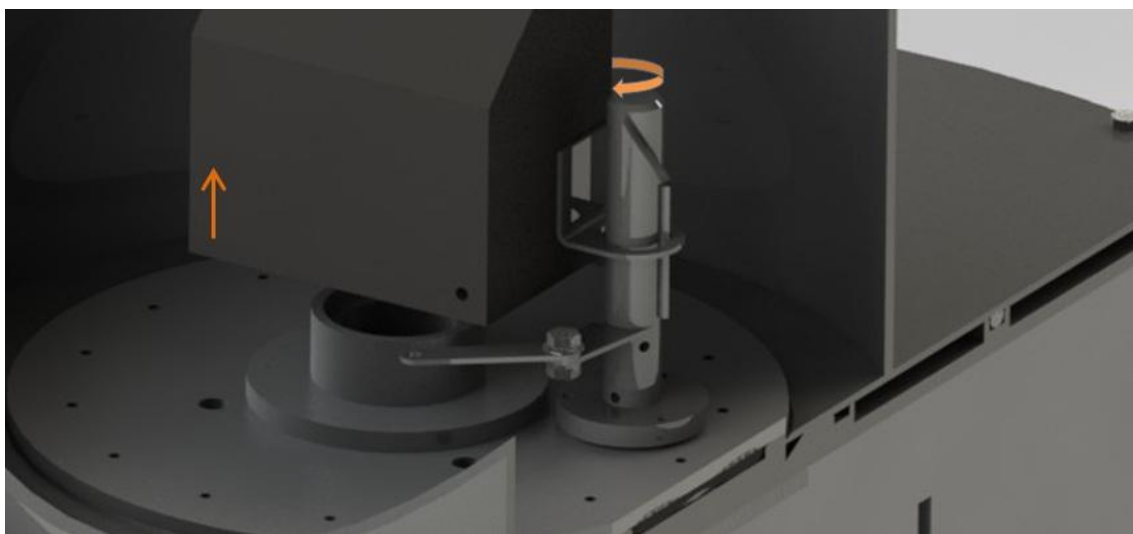


Figura 31 – Demonstração de funcionamento de mecanismo cinemático de funcionamento do sistema de insuflação de gases

Os gases de protecção vão actuar na área de secção interna do gito, podendo-se visualizar na Figura 32 o posicionamento final do elemento de insuflação de gases situado coaxialmente com a “boca” do gito.

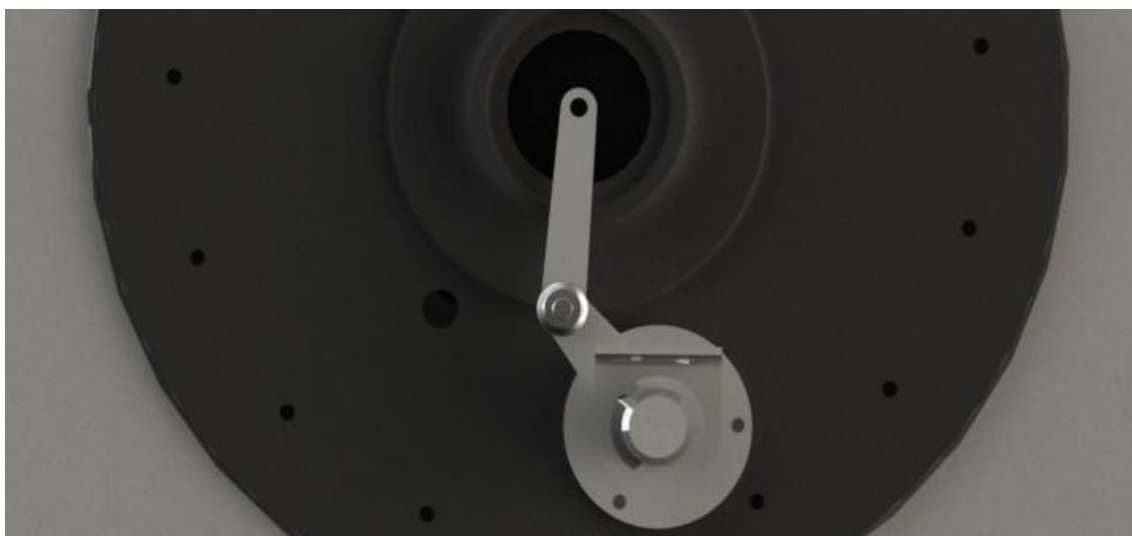


Figura 32 – Posicionamento de serviço do mecanismo de insuflação de gases de protecção sobre gito

Este mecanismo vai permitir que o gás seja injectado no local correcto, fornecendo o tempo necessário para este actuar sobre a área de metal líquido (ciar o filme de protecção), podendo-se por fim abrir a tampa da câmara de vazamento em perfeita segurança.

Neste ponto pode-se retirar a coquilha, provetes e realizar as tarefas consequentemente inversas até o reaperto da tampa da câmara de vazamento. Antes do reaperto do parafuso de compressão da coquilha (Figura 29) realiza-se uma insuflação da câmara com gases inertes. Com isto pretende-se que os gases inertes se depositem na parte inferior da câmara. Assim e aquando do movimento de compressão da coquilha contra o flange do gito, assegura-se que os gases sugados para o interior do gito sejam inertes e não oxigénio.

O ciclo de fundição das ligas de Mg termina nesta etapa. Neste ponto de situação procede-se consoante o delineado, ou seja, reinicia-se um novo ciclo de vazamento ou pelo contrário iniciam-se os procedimentos de desactivação do equipamento. Caso a opção seja reiniciar o ciclo de vazamento, é necessário realizar um novo vácuo da câmara de vazamento antes de se iniciar a pressurização da liga de Mg.



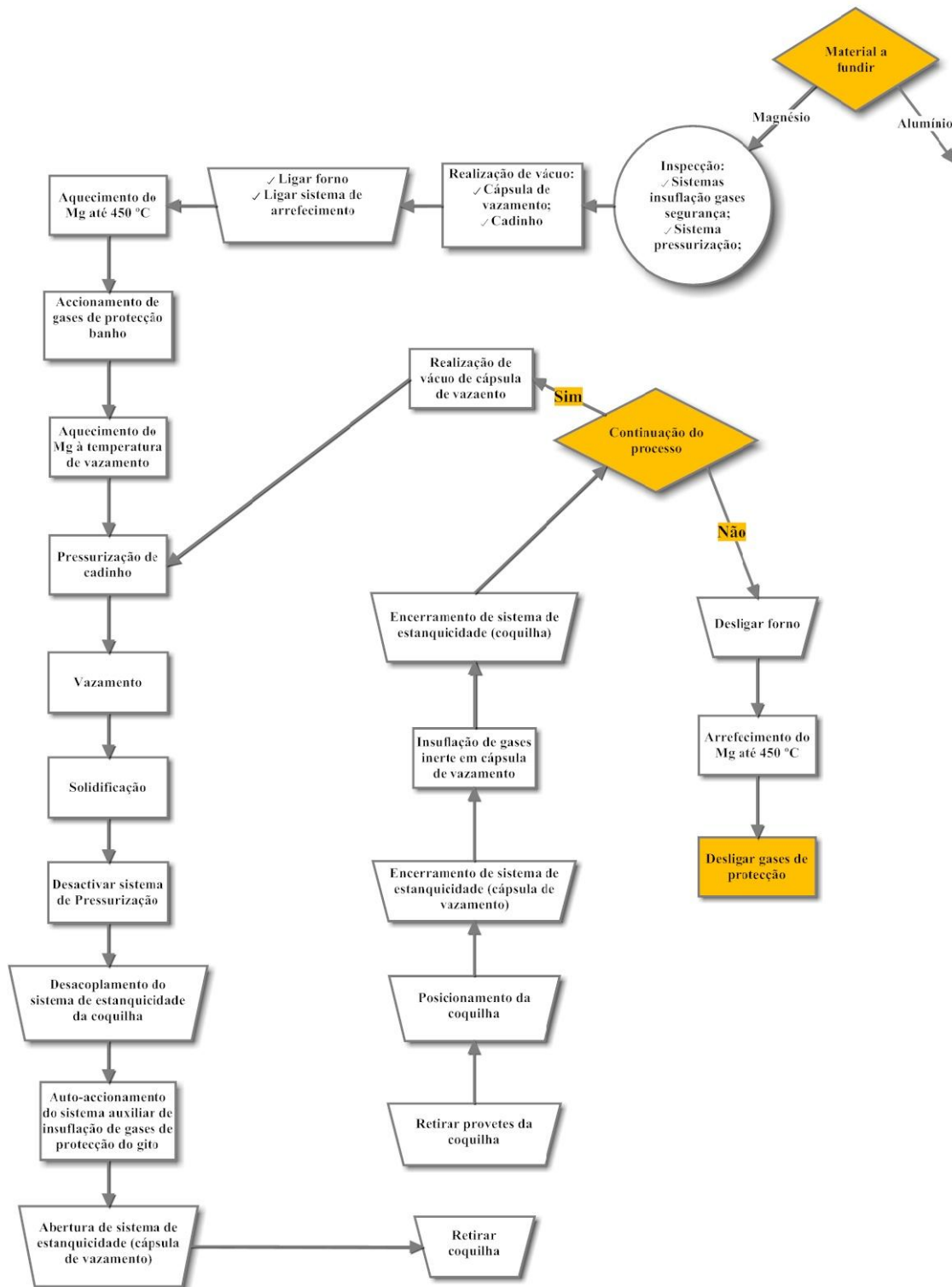


Figura 33 - Fluxograma da estrutura funcional (Etapa 2)

O ciclo para fundição de ligas de Al é mais simples que a do Mg devido à falta de necessidade de procedimentos de segurança tão apertados. Assim para este ciclo, não

é necessário a realização de vácuo de ambas as câmaras (cadinho e vazamento) bem como a insuflação de gases de protecção e inertes. As restantes tarefas são em tudo semelhantes às do ciclo de fundição de Mg como se pode verificar pelo fluxograma da Figura 34.

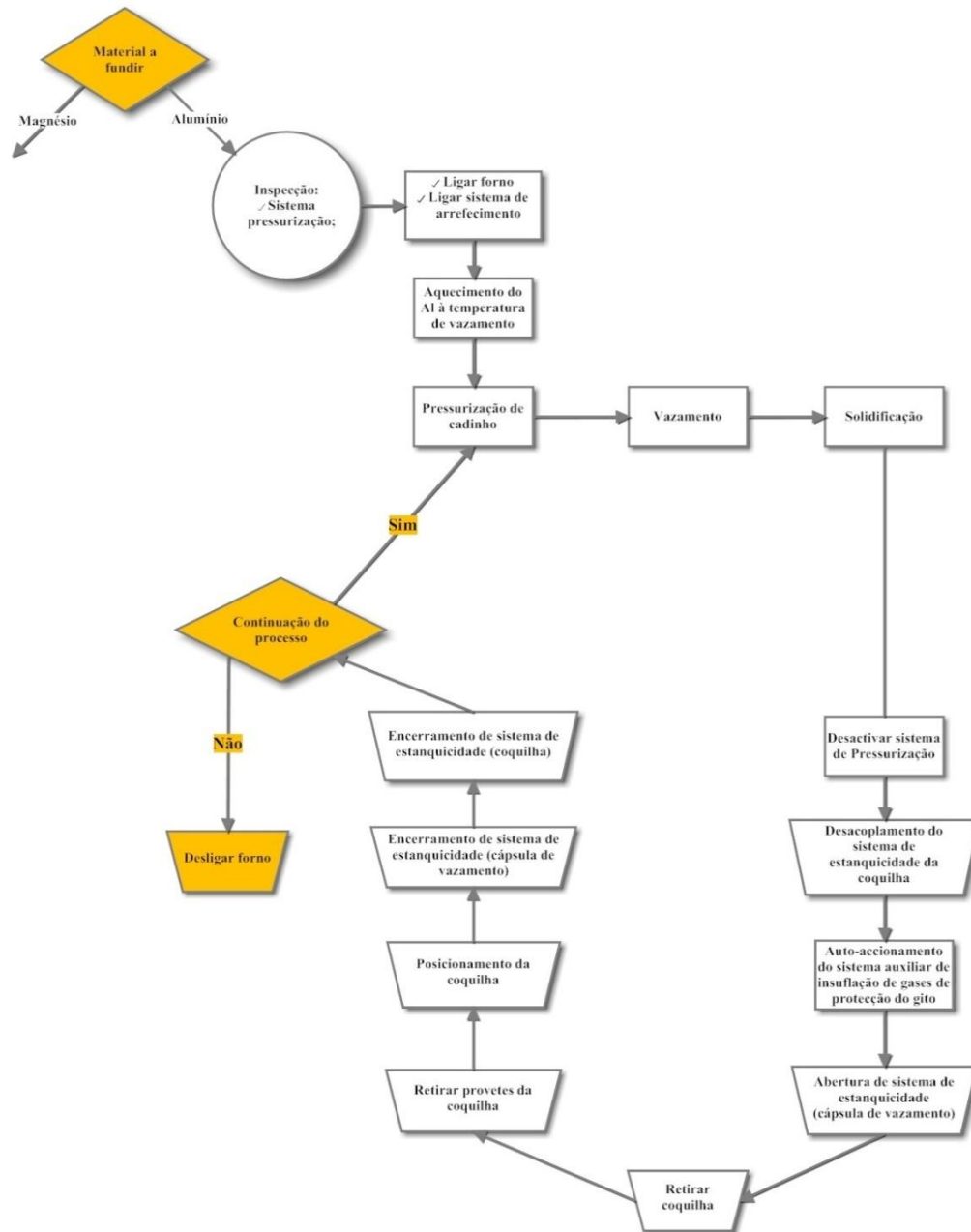


Figura 34 - Fluxograma da estrutura funcional (Etapa 3)

Para o processo de desactivação do forno, distingue-se entre os dois materiais apenas na necessidade de que para o ciclo de Mg é necessário manter o sistema de

insuflação de gases até que a liga desça dos 450°C. A partir deste ponto, os ciclos são idênticos (Figura 35), sendo que o sistema de refrigeração se desliga aos 150°C, dando-se por concluídas as tarefas de manuseamento do forno de baixa pressão.

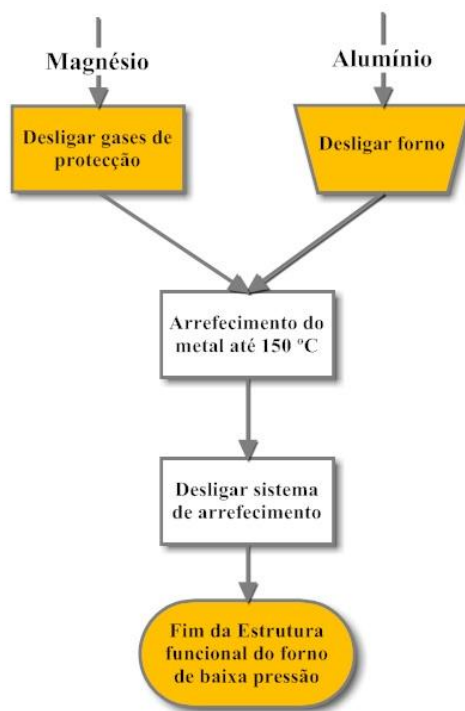


Figura 35 - Fluxograma da estrutura funcional (Etapa 4)

### 3.3. Projecto preliminar

Neste capítulo de acordo com a estrutura funcional do equipamento, estabelece-se um conjunto de soluções e procedimentos com vista ao estabelecimento do *layout* final do equipamento e viabilidade técnica do equipamento.

#### 3.3.1. Definição/selecção de soluções

Este subcapítulo tem como propósito fundamentar todas as decisões relacionadas com os aspectos de definição de soluções e dimensões relativamente aos vários componentes do equipamento.

Para a selecção da geometria do equipamento teve-se em consideração o facto de o equipamento necessitar de realizar dois processos distintos, a fundição do Mg e vácuo primário das câmaras.

Desta forma tentou-se conciliar estas duas funcionalidades através de uma geometria que seja normalmente adoptada por estes dois tipos de tecnologias.

As configurações cilíndricas surgem desta forma como usuais tanto em equipamentos de fundição como de vácuo. Esta é a geometria mais utilizada, sendo que minimiza a quantidade de energia a fornecer ao sistema para aquecimento, a quantidade de material, o número de soldas e consecutivamente o custo quando comparado a outras geometrias concorrentes como a de secção quadrática.

O desenvolvimento dimensional do forno de baixa pressão iniciou-se a partir do interior para o exterior, querendo com isto dizer que as dimensões exteriores do equipamento foram estabelecidas de acordo com as dimensões do componente central, o cadinho e a massa refractária necessária para o estabelecimento da segurança exterior a nível de temperaturas. De seguida são referenciados os principais componentes do equipamento e principais orientações que guiaram à sua geometria final.

- Cadinho / 0122211713

O cadinho é o único componente com requisitos dimensionais, devendo este suportar como já referido anteriormente um volume entre 4 e 5 litros de Mg.

Para tal foi desenvolvido um cadinho com um volume interior de aproximadamente 4,7 litros. As duas dimensões foram baseadas em catálogos de fornecedores, que fabricam cadinhos de cariz laboratorial (dimensões relativamente pequenas) sendo estes no entanto à base de materiais refractários (Noltina). Através deste catálogo é sugerida uma espessura de 10mm para cadinhos de dimensões similares ao pretendido, sendo esta o material é seleccionado no capítulo de selecção de materiais.

O fundo do cadinho é desenhado segundo uma geometria arredondada e não plana. É sugerido este tipo de geometria devido ao efeito positivo de fazer levantar num sentido dimensional (vertical) o ponto de temperatura máxima na superfície do cadinho como ilustrado na Figura 36.

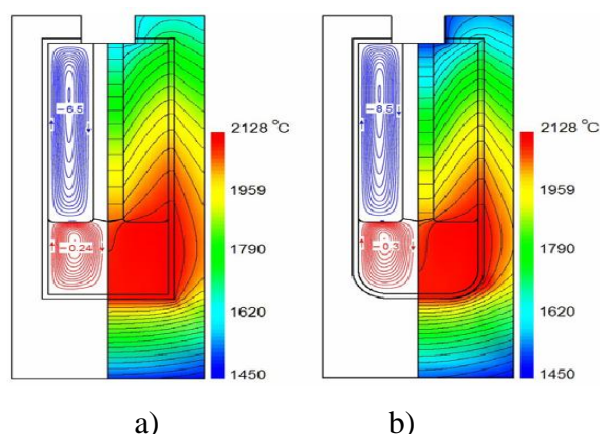


Figura 36 - a) Fundo de cadinho com geometria plana; b) Fundo de cadinho com geometria arredondada (Tavakoli, 2007).

Com esta geometria previne-se ou atrasa-se o crescimento em espiral de monocristais.

- Refractário primário de resistências embebidas / 0232214113 e refractário secundário / 1034211113

Como o cadinho tem que ser envolvido pelas resistências, foi determinado que estas deveriam ser posicionadas segundo uma geometria helicoidal e embebidas no próprio material refractário. Com isto pretende-se diminuir ao mínimo o factor de forma entre estas e o cadinho.

Este componente de geometria cilíndrica tem por isso dois objectivos, a imissão de radiação para o cadinho e resistência térmica no sentido inverso.

O diâmetro interior deste componente é directamente influenciado pela dimensão exterior do cadinho sendo que segundo (Canadian Thermix Inc., 2011), para um forno de resistências eléctricas a distância entre estas e a parede do cadinho deve ser entre 65 e 100mm. Esta medida tem como objectivo uma distribuição uniforme da radiação.

Como este é um componente com resistências embebidas, foi definido que deve ter o mínimo espessura possível ou recomendável pelo fabricante. Esta decisão deve-se ao facto de as resistências serem relativamente caras. Desta forma pretende-se diminuir possíveis custos de reparação/substituição das resistências e refractário que possam ocorrer no caso das resistências eléctricas se danificarem.

A restante massa refractária necessária para promover a resistência térmica é assegurada por outro componente com a mesma geometria cilíndrica mas externa (coaxial), ao elemento 0232214113 como representado na Figura 37.

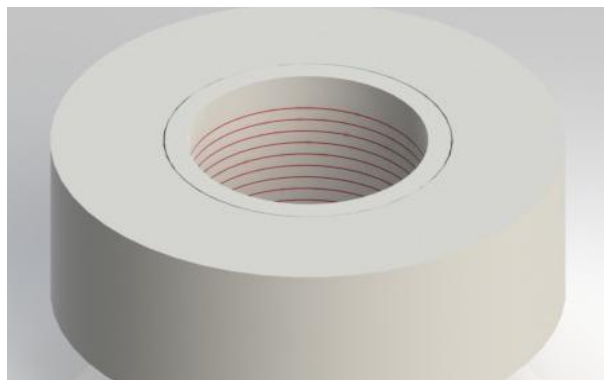


Figura 37 – Representação do conjunto de cilindros refractários exterior e interior com resistências embebidas

Em caso de necessidade de substituição, será apenas necessário adquirir o elemento interior, preservando-se o exterior mais volumoso.

A dimensão do diâmetro exterior do refractário foi definida através de simulações térmicas de condução abordadas no capítulo 3.4.2.

- Componentes estruturais metálicos

Como já referido o equipamento tem uma geometria exterior cilíndrica e devido a isso os componentes exteriores seguem esta condição. As chapas utilizadas devem reter certos requisitos para além dos geométricos, passando estes por requisitos estruturais e de vácuo.

Na Tabela 11 seguinte são referenciadas as espessuras mínimas da chapa de equipamentos de vácuo.

Tabela 11 – Espessura de chapa mínima recomendada (Nor-Cal Products, 2011)

<b>Diâmetro da câmara [mm]</b>	<b>Espessura de chapa [mm]</b>
Inferior a 430	3
Entre 430 e 710	4,8
Superior a 710	6,35

Desta forma e sabendo que o equipamento tem um diâmetro de aproximadamente 700mm, toma-se o valor de 8mm como referência para a espessura de chapa exterior do equipamento (Figura 38), devido a ser esta uma espessura de fácil obtenção no mercado.

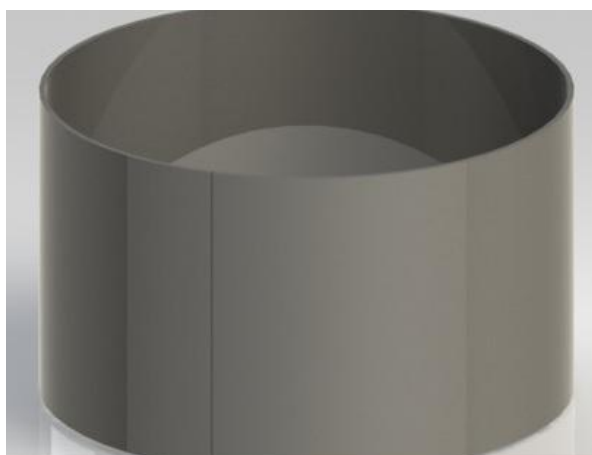


Figura 38 – representação da estrutura exterior do forno (chapa de aço inox 304 de 8mm de espessura)

Para além desta espessura de chapa, existem outras (2, 3, 4, 6). Estas foram seleccionadas de acordo com função específica de cada componente, realçando-se para além deste parâmetro de selecção, o custo, o método de fabrico e a massa.

- Tampa de forno

A tampa do forno apresenta-se como um conjunto de elementos que são críticos para a realização do vácuo, sendo que isto se deve ao grande comprimento da falange e por conseguinte a maior secção de transferência de gases. Para o desenvolvimento deste componente teve-se em consideração do seguinte conjunto de especificações:

- Deve ter sulcos para o posicionamento de *o-ring's*;
- Deve permitir a estanquicidade através de aperto de parafusos;
- Permitir a refrigeração da zona central da tampa exposta a temperaturas elevadas;
- Permitir manutenções preventivas;

A tampa, como já referido é composta por um conjunto de componentes, onde cada um tem um propósito específico. A tampa foi dos grupos de elementos mais complexos de desenvolver devido essencialmente à necessidade de conjugação de dois aspectos que não se enquadram que são as temperaturas elevadas registadas nos fornos de fundição e as especificações apertadas e materiais que normalmente acompanham os equipamentos de realização de vácuo.

Na Figura 39 representada uma perspectiva da tampa do forno de baixa pressão podendo-se identificar os vários princípios para os quais esta solução foi desenvolvida.

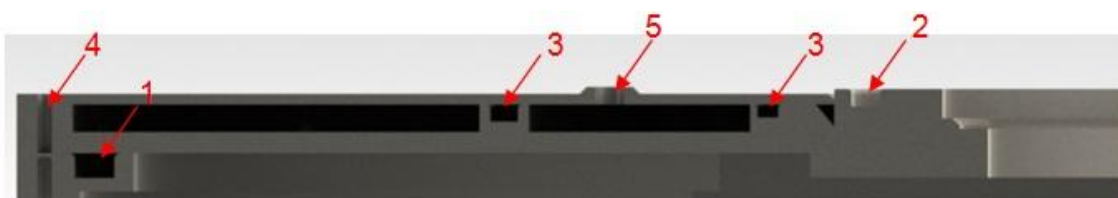


Figura 39 – Representação em corte/simetria da tampa do forno de baixa pressão

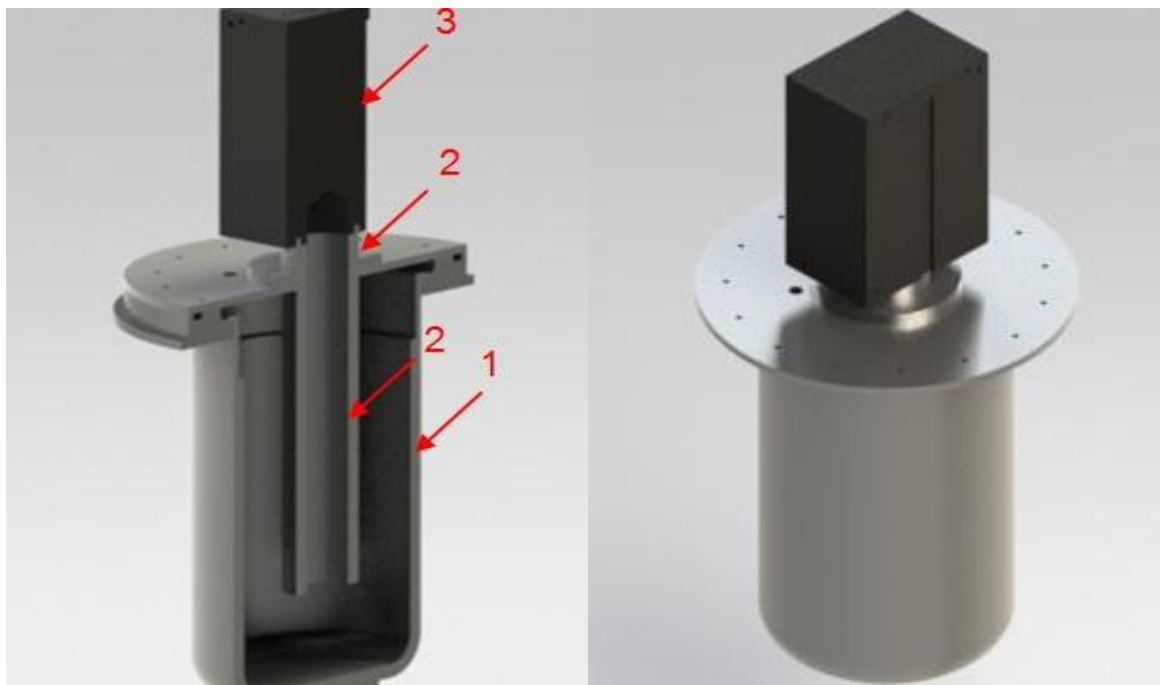
A tampa é constituída por quatro sulcos para posicionamento de *o-rings*. O sulco número 1 é para posicionamento do *o-ring* que impede a entrada de gases na câmara dos refractários e resistências. O número 2 é para impedir a entrada de gases na câmara do cadinho. Devido ao posicionamento deste último e porque as temperaturas atingidas deste local pode danificar o *o-ring* e por conseguinte permitir a entrada de gases para o interior do cadinho, desenvolveu-se uma zona de permuta de calor através da câmara que se situa entre os sulcos numerados por 3 para circulação de água. A presença dos *o-ring's* nestes locais deve-se à necessidade de não permitir fugas de água. A entrada de fluido realiza-se através do orifício 5, sendo que a extracção se realiza através do lado oposto a 180° não representada nesta figura. A compressão das placas e falange realiza-se através do orifício para inserção de parafuso numerado por 4.

- Sistema de vazamento

Para o desenvolvimento do sistema de vazamento do equipamento manteve-se a simplicidade de processos, não alterando este devido a outros processos paralelos. Desta forma o equipamento foi desenvolvido através de esquemas de vazamento como o



esquemático na Figura 3. Nas Figura 40 e Figura 41 é esquematizado os componentes que fazem parte do sistema de vazamento.



1 – Cadinho; 2- -Gito; 3 - Coquilha

Figura 40 – Sistema de vazamento em perspectiva de corte

Figura 41 - Sistema de vazamento

Para todos os componentes foi seleccionado o mesmo material, sendo este processo de selecção abordado mais adiante no capítulo de selecção de materiais.

O gito (0922131712 como já referenciado é o componente que tem como missão transportar o metal em estado liquido até à moldação.

Para a selecção de um elemento que se enquadra-se com o equipamento foi realizado um processo de prospecção de mercado com o intuito de localizar um fornecedor. No entanto este processo demonstrou-se inconclusivo, devido à falta de enquadramento quer a nível de materiais quer principalmente dimensional. Desta forma foi tomando a decisão de o fabricar, tendo sido desenvolvido o seguinte componente representado na Figura 42.



Figura 42 – Gito para fundição por baixa pressão

A definição do comprimento do corpo cilíndrico foi seleccionada tendo em conta as necessidades de transporte do metal a vaziar. Para a definição da espessura foram seguidas as dimensões dos produtos no mercado (10mm de espessura) (EKatherm, 2007).

Foi estabelecido no início do projecto que o equipamento teria como objectivo fundir quatro provetes de acordo com norma dimensional estabelecida para testes de tracção (Figura 43)



Figura 43 – Representação de provete de Mg

Assim estes têm cerca de 90mm de comprimento com topos de aproximadamente 10mm de diâmetro.

Desta forma as meias moldações da coquilha foram desenvolvidas de acordo com as especificações dimensionais do jogo de provetes e tendo em conta os seguintes fenómenos:

- Contração metálica durante a solidificação;
- Espessura mínima recomendadas da parede;
- Sobre espessura para maquinagem;

A contração metálica é um fenómeno que está directamente relacionado com o volume de material a fundir assim como o próprio material. Na Tabela 12 é realçado que para uma liga de magnésio fundida e dimensões do modelo até 48cm a contração será de aproximadamente 0,28mm/cm.

Tabela 12 – Margem dimensional recomendada de prevenção da contração metálica (Tecnologia Mecânica, 1977)

Ligas fundidas	Dimensão do modelo cm	Contração aproximada mm/cm
Ferro fundido cinzento	Até 60	0,1
	De 63,5 a 120	0,08
	Acima de 120	0,07
Aço fundido	Até 60	0,2
	De 63,5 a 183	0,15
	Acima de 183	0,13
Ferro maleável	—	0,01 a 0,10, dependendo da espessura da secção
Alumínio	Até 120	0,13
	De 124 a 183	0,12
	Acima de 183	0,10
Magnésio	Até 48	0,28
	Acima de 48	0,13
Latão	—	0,15
Brnze	—	0,1 a 0,2

As espessuras mínimas de parede deverão ser para o Mg na ordem dos 4 a 4,176mm para a fundição com moldes permanentes de acordo com a Tabela 13.

Tabela 13 – Espessuras mínimas de parede segundo o processo de fabrico (Tecnologia Mecânica, 1977)

Liga	Secção Mínima, em mm			
	Fundição em areia	Fundição em molde metálico	Fundição sob pressão	
			Grandes áreas	Pequenas áreas
De alumínio	3,175 a 4,76	3,175 em áreas pequenas	1,905	1,143
De cobre	2,38	3,175 em áreas pequenas	2,54	1,524
Ferros fundidos cinzentos	3,175 a 6,35	4,76 em áreas pequenas	—	—
De chumbo	—	—	1,905	1,016
De magnésio	4,00	4,00 a 4,176	2,032	1,27
Ferro maleável	3,175	—	—	—
Aço	4,76	—	—	—
De estanho	—	—	1,524	0,762
Ferro fundido branco	3,175	—	—	—
De zinco	—	—	1,143	0,38

Para paredes de espessuras pequenas pode ocorrer que o arrefecimento da peça será realizado de forma rápida, resultando em elementos duros.

Na Tabela 14 é representada a sob espessura a adicionar à peça para maquinagem de acabamento necessária de realizar à após a fundição.

Tabela 14 – Margem dimensional recomendada para prevenção da maquinagem (Tecnologia Mecânica, 1977)

Liga	Dimensões do modelo cm	Margens, mm	
		Orifício	Superfície
Ferro fundido	Até 15,2	3,175	2,38
	De 15,2 a 30,5	3,175	3,175
	De 30,5 a 50,8	4,76	4,0
	De 50,8 a 91,4	6,35	4,76
	De 91,4 a 152,4	7,94	4,76
Aço fundido	Até 15,2	3,175	3,175
	De 15,2 a 30,5	6,35	4,76
	De 30,5 a 50,8	6,35	6,35
	De 50,8 a 91,4	7,14	6,35
	De 91,4 a 152,4	7,94	6,35
Não-ferrosos	Até 7,6	1,59	1,59
	De 7,6 a 20,3	2,38	2,38
	De 20,3 a 30,5	2,38	3,175
	De 30,5 a 50,8	3,175	3,175
	De 50,8 a 91,4	3,175	4,0
	De 91,4 a 152,4	4,0	4,76

Na Figura 44 é representada a meia moldação direita da coquilha.

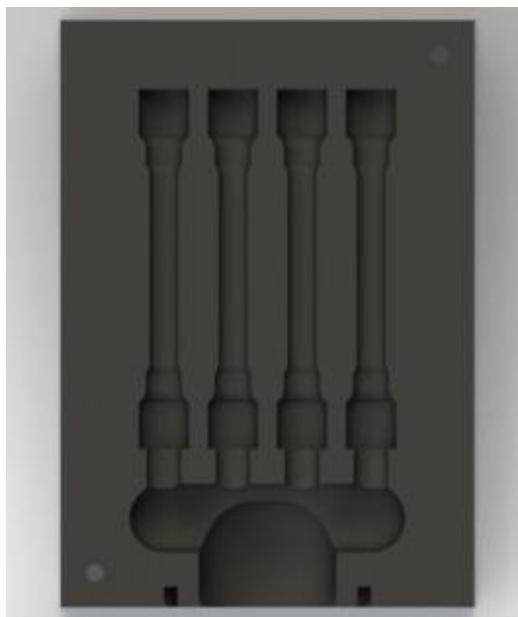


Figura 44 – Meia moldação direita

Ao contrário do que sucede nas moldações de vazamento gravíticas, nesta (vazamento contra gravítico) o material tem um deslocamento ascendente, sendo que desta forma o canal de vazamento será preenchido de baixo para cima. Devido a este deslocamento do metal líquido e para que não se formem “bolhas” de gás nas partes superiores a moldação, deveram ser maquinados orifícios de escoamento de gases com diâmetros na ordem dos 0,1mm (Tecnologia Mecânica, 1977).

- Câmara de vazamento

A câmara de vazamento (componente 2721241522) devido às suas necessidades de realização de vácuo tem uma geometria cilíndrica (Figura 45) garantindo desta forma uma solução mais simplificada para a vedação (*o-ring*). A altura deste componente está directamente relacionado com a altura da coquilha e mecanismo de aperto deste componente.

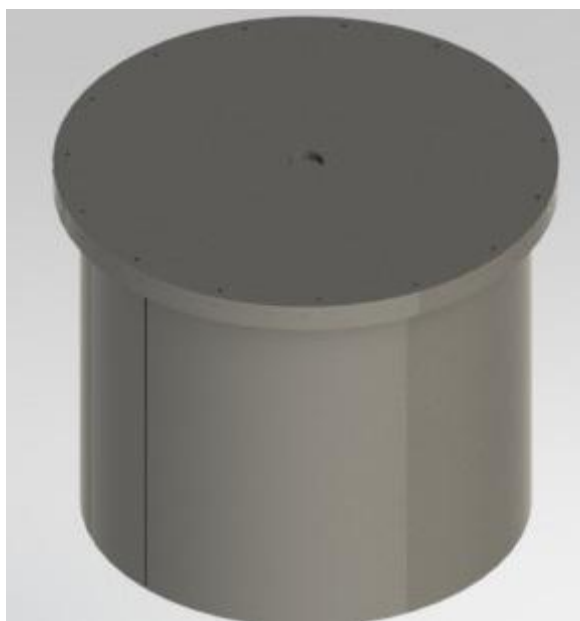


Figura 45 – Câmara de vazamento com tampa (chapa de aço inox 304 de 4mm de espessura)

### 3.3.2. Definição/selecção de soluções de carácter de segurança

De forma a ir de encontro às especificações de segurança referenciadas na Tabela 10, desenvolveu-se um conjunto de soluções apresentadas de seguida. Assim de acordo com a Tabela 10:

- Insuflação do banho de magnésio com gases de protecção;

A insuflação do banho de Mg com gases de protecção é uma prática vista como de primária importância (ver capítulo Gases de protecção), sendo que é através desta que se consegue separar o metal do ar.

Por forma a desenvolver uma solução que permita colocar em prática esta especificação de segurança, a solução tem que ter ela própria as seguintes especificações:

- Permitir o fluxo de gases desde o exterior (tanque de armazenamento) até câmara de fundição;
- Interferir o mínimo possível com as tarefas de manuseamento do forno;
- Capacidade de insuflação homogénea sobre o banho de Mg;

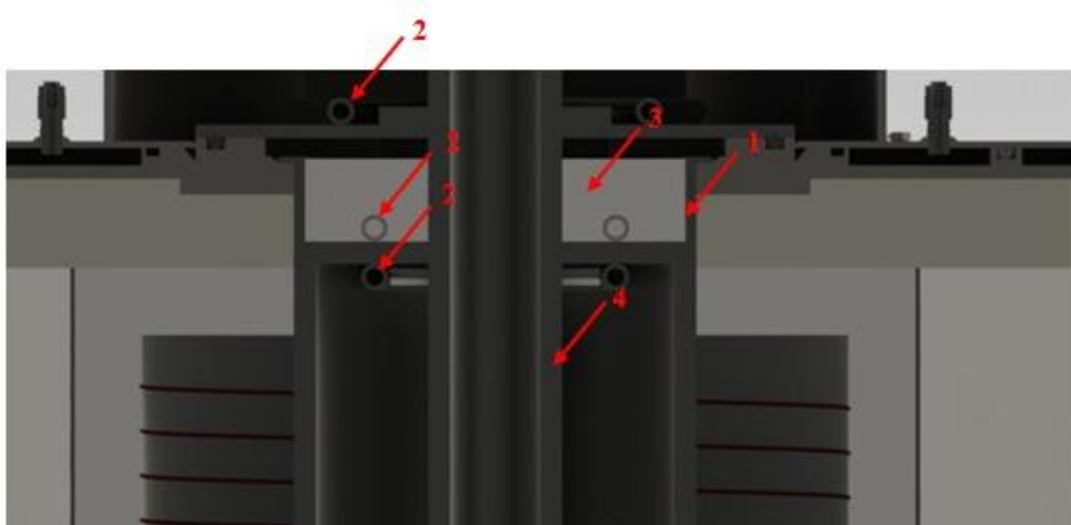
- Minimizar os diferenciais térmicos entre o gás aquando da entrada deste na câmara de fundição;
- A solução deve ser fabricada no mesmo material que o cadinho e componentes do sistema de vazamento;

Definido este conjunto de especificações para a solução, desenvolveu-se o componente 6024411512 representado na Figura 46. Este é constituído por um tubo fabricado em aço inoxidável 340 de 12mm de diâmetro exterior e 10 de interior.



Figura 46 – Componente de insuflação de gases de protecção (6024411512)

Esta é uma solução que permite responder às especificações enumeradas. Montado sobre a porta de acesso ao cadinho, Figura 27, através de pontos de solda, este componente terá que ter uma união desmontável (rosca) com outro tubo que realizará a conexão ao exterior, permitindo a portabilidade desta solução. Esta necessidade de colocar o componente da Figura 46 sobre a porta de acesso ao cadinho advém do facto de que para além desta solução, o único ponto restante de entrada na câmara de fundição seria através do próprio cadinho. A abertura de um orifício neste componente iria abrir uma possível passagem de gases directamente à câmara onde se situam as resistências como representado na Figura 47.



- 1) Possível local de abertura de orifício através do cadinho para passagem de um tubo de transporte do gás de protecção;
- 2) Componente de insuflação de gases de protecção;
- 3) Placa de refractário;
- 4) Gito.

Figura 47 – Representação da montagem do componente 6024411512

A solução representada permite um “ataque” da área do banho de Mg através da parte superior, minimizando potenciais problemas de controlo e manutenção.

A insuflação realiza-se através de um conjunto de 16 orifícios de 1mm de diâmetro (Figura 48) uniformemente distribuídos e paralelos ao banho de metal em estado líquido, para que a insuflação seja realizada directamente sobre o metal.



Figura 48 – Representação dos orifícios de insuflação do gás de protecção

Esta geometria da tubagem foi desenvolvida por forma a aumentar a superfície de permuta de calor, por forma a aumentar a temperatura do gás de protecção. Esta



necessidade de aumentar a temperatura do gás deve-se ao facto de este entrar no forno à temperatura ambiente. Desta forma iria-se registar um enorme diferencial térmico entre estes o que resultaria no desenvolvimento de um fluxo impediria o contacto imediato entre o gás e formação do filme de protecção.

- Sistemas de isolamento entre magnésio e meio ambiente durante vazamento;

Por forma a não permitir contacto entre o Mg e ar durante o processo de vazamento desenvolveram-se as seguintes soluções na câmara de vazamento:

- Soldadura interna a TIG e enchimento a eléctrodo (Figura 49);
- Posicionamento de *o-ring* em pista de falange da tampa de vazamento (Figura 50);
- Posicionamento de sistema de *o-ring's* para vedação sob condições de movimentos lineares e rotacionais (Figura 51);
- Compressão de parafuso de compressão de coquilha a gito (Figura 53);

Este conjunto de soluções têm com excepção do último ponto, a função não impedir o fluxo de gás entre as juntas da câmara de vazamento aquando do seu fecho.

Na Figura 49 é representada uma solução definitiva, onde de evidenciam as juntas para a realização de soldaduras que têm de ser TIG por forma a respeitarem as especificações dos equipamentos de vácuo (Roth, Vacuum Sealing Techniques, 1966).

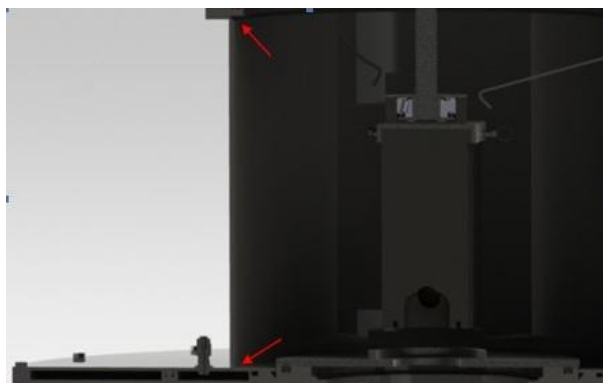


Figura 49 – Juntas de soldadura TIG

Na Figura 50 é representado o *o-ring* colocado sobre um sulco de retenção com uma profundidade inferior à secção do elemento de vedação. Isto vai permitir uma compressão e vedação desta secção.



Figura 50 – Posicionamento de *o-ring* na pista de falange da tampa da câmara de vazamento

O sistema de vedação do veio representado na Figura 51 é um pouco mais complexo que o anterior, sendo que no entanto se baseia nos mesmos princípios.

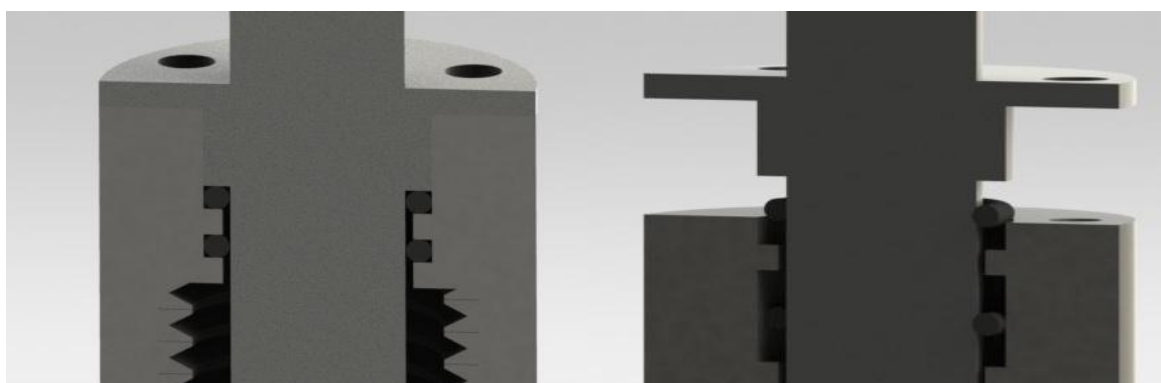


Figura 51 – Sistema de vedação de parafuso de compressão de coquilha

Figura 52 - Sistema de vedação de parafuso de compressão de coquilha com componentes desposicionados

Este sistema é composto por dois *o-rings* separados por uma anel e uma placa de compressão como se pode verificar na Figura 52 onde os componentes estão desposicionados. Este é um mecanismo que permite o deslocamento do veio central a nível linear e rotacional, sendo que a vedação se realiza pela compressão dos *o-ring's* contra o veio interno. Devido a isto é recomendada a lubrificação destes elementos com um óleo fino.

Na Figura 53 são representadas as movimentações rotacionais e lineares do parafuso.

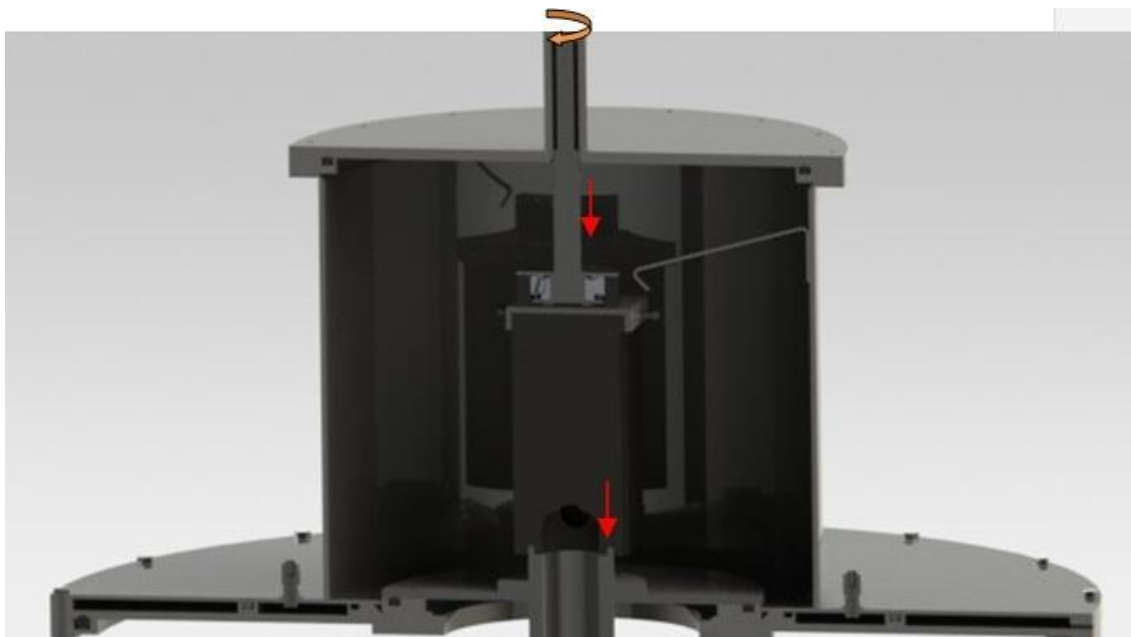


Figura 53 – Esquema de funcionamento do mecanismo de movimentação da coquilha

Como evidenciado, através desta movimentação a coquilha vai embater com o gito e pressionar, permitindo a passagem do magnésio em estado líquido para a moldação.

Nesta secção de pressão entre a coquilha e o gito foi desenhado um perfil para aumentar a área de compressão como representado e pormenor na Figura 54, por forma a minimizar as perdas de metal aquando do vazamento.

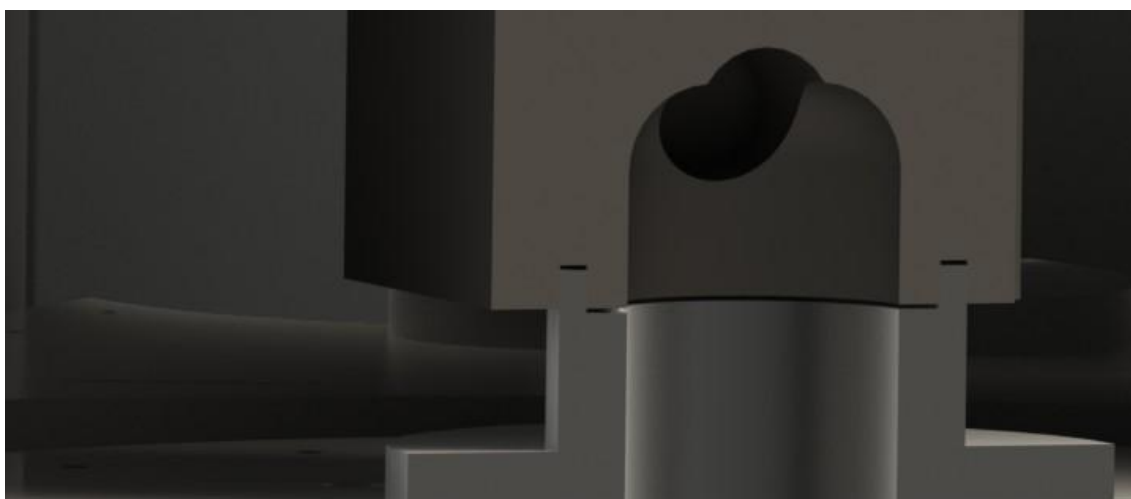


Figura 54 – Representação e pormenor da zona de pressão coquilha/gito

Esta é uma zona crítica, sendo que o sistema de vedação apenas pode ser realizado pela compressão metal/metal devido às temperaturas elevadas de vazamento (cerca de 650°C).

- “Limpeza” de ar na cápsula de vazamento depois da extracção das peças a vazar;

Após a extracção das peças da coquilha e conseqüente posicionamento no local de vazamento, o volume da câmara de vazamento já não estará sob vácuo, pelo contrário estará à pressão ambiente. Devido a este facto e riscos associados a isto realiza-se um procedimento de limpeza deste volume. Este procedimento consiste nas seguintes tarefas:

- Insuflação da câmara com gases inertes (Árgon);
- Encerramento da tampa da câmara de vazamento;
- Rotação do parafuso pressionando contra o gito;
- Fim de insuflação da câmara com gases inertes;
- Realização de vácuo;

A insuflação dos gases é realizada através do componente da Figura 55

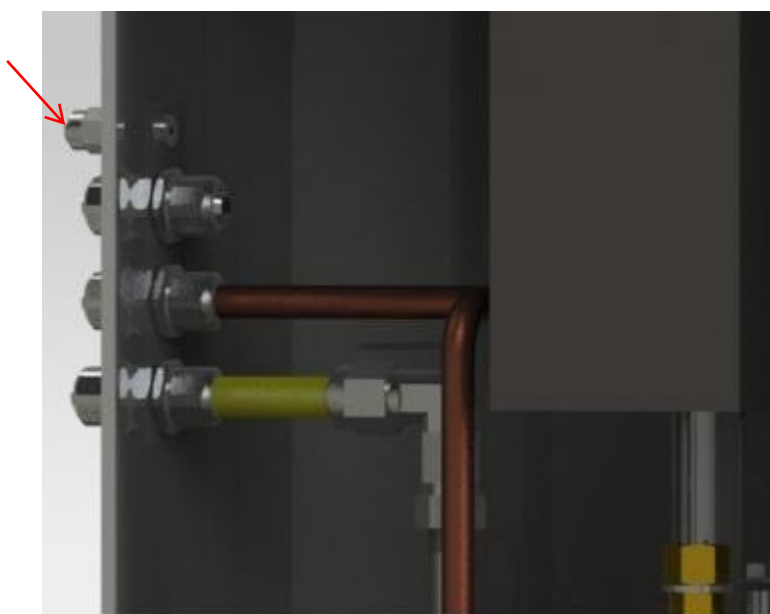


Figura 55 – Tubagem de insuflação de gases inertes

Este procedimento vai minimizar as potencialidades de ocorrência de focos de ignições.

- Sistema de emergência para fugas de Magnésio;

Foi desenvolvido um sistema de emergência para fugas de Mg devido à potencialidade de ocorrência de fugas através cadinho (fissuras). Tais fugas teriam graves consequências que poderiam passar pela ignição do metal em contacto com o material refractário.

No que a este ponto diz respeito, propõem-se uma solução de escoamento e retenção de material resultante das fugas.

Na Figura 56 é representado o sistema de escoamento e retenção posicionados no seu local de serviço.

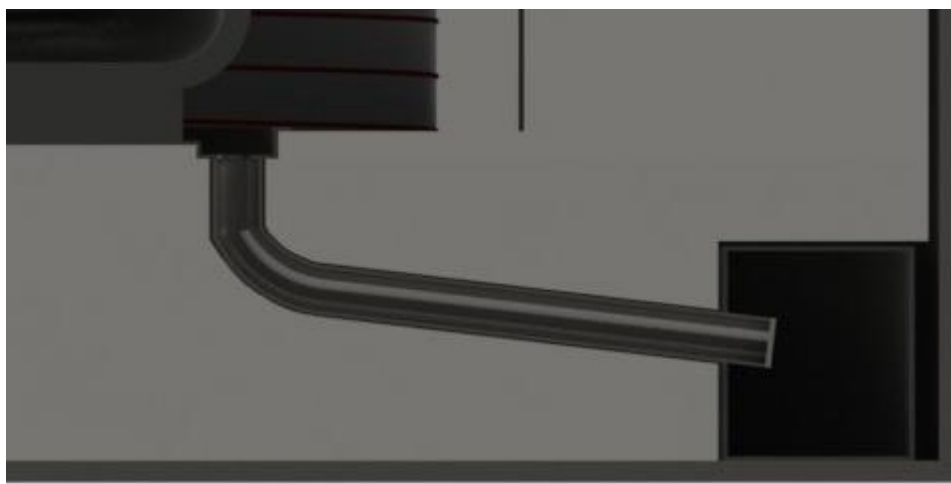


Figura 56 – Representação em vista de corte do sistema de escoamento e retenção de Mg

Este sistema é composto por 3 componentes, uma “calha” (3114233614) que retém material nesta área e o converge para a tubagem (2524111512). Aqui o metal é direccionado para um tanque de retenção com um volume de 3,1l (2114411515).

Na Figura 57 é representado o sistema de armazenamento de Mg de emergência. Por forma a isolar o tanque do volume restante do forno é soldado um disco de zinco no fim do tubo como ilustrado na Figura 58.

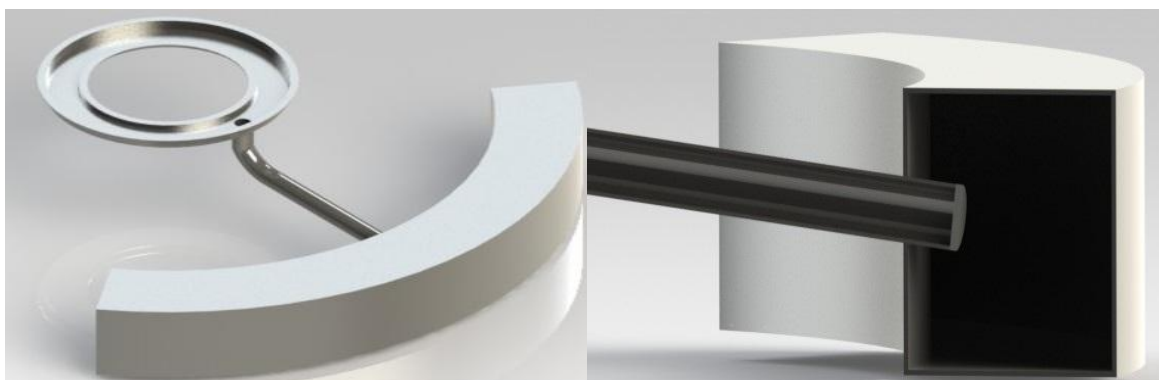


Figura 57 – Calha e tubo de escoamento e tanque de retenção

Figura 58 – Vista em corte de pormenor do disco de Zn soldado da boda do tubo de escoamento de Mg

Em situação de fuga, o Zn irá derreter permitindo o fluxo de Mg devido à baixa temperatura de fusão (419°C).

Este sistema vai permitir que em situações de extrema gravidade, que o Mg seja escoado para um reservatório, isolado do resto do forno minimizando o risco de contacto Mg/refractário/resistências.

Para além deste sistema, propõem-se a colocação de um sensor de detecção de monóxido de carbono na placa refractária 2934211113.

A colocação deste sensor prende-se com a necessidade de detecção de possíveis focos de ignição

- Impossibilitar contacto entre magnésio em estado líquido e superfícies com oxidação galvânica;

Por forma a impossibilitar a ignição do Mg devido ao contacto com oxidações, os materiais metálicos têm que ser seleccionados de forma a reter certas especificações abordadas no capítulo de selecção de materiais.

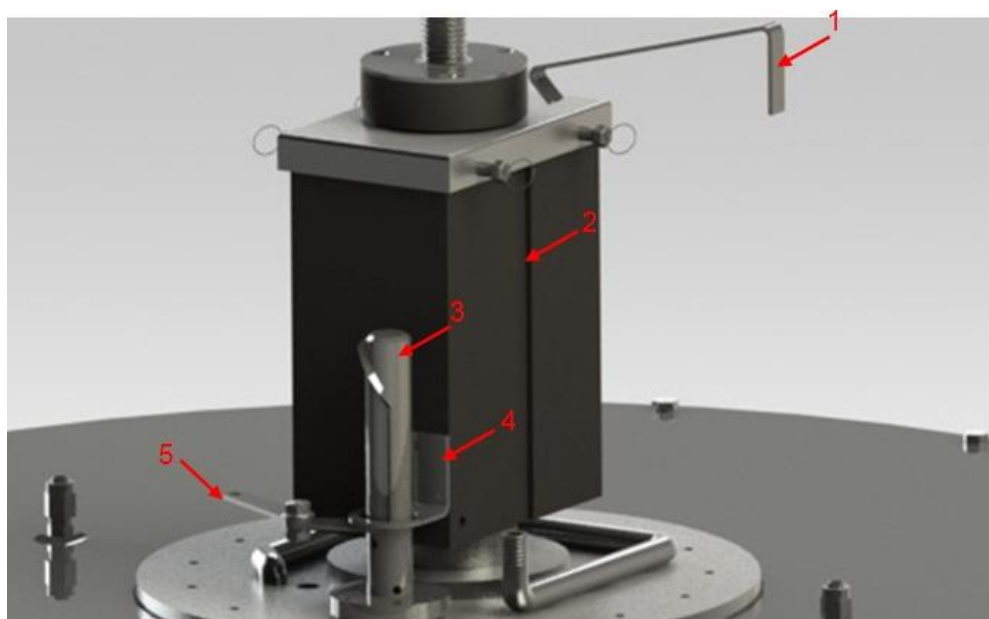
- Sistemas automatizados/cinemáticos de segurança;

Como já descrito no capítulo referente à estrutura funcional de processamento do Mg, é necessário que antes de se abrir a tampa da câmara de vazamento a área de Mg que se situa no interior do gito esteja separado do ambiente exterior por um filme de protecção. Para que isto aconteça é necessária uma insuflação localizada neste ponto e que seja realizada antes de se abrir a tampa.

O mecanismo desenvolvido que dá resposta a este problema foi desenvolvido respeitando as seguintes especificações:

- Mecanismo cinemático accionado pela movimentação axial da coquilha;
- Mecanismo de simples funcionamento;
- Capacidade de regulação da insuflação;
- De fácil desmontagem;

Definido este conjunto de especificações para a solução, desenvolveu-se um mecanismo cinemático representado na Figura 59 que tem como base de funcionamento o movimento de subida e descida da coquilha. Esta movimentação é realizada através do parafuso de compressão da coquilha



- 1) Componente guia de descida da coquilha auto-rotação (5314411512);
- 2) Sulco guia maquinado na coquilha (1922433741);
- 3) Parafuso de rotação da haste de insuflação (3214141314);
- 4) Placa guia de parafuso de rotação (5714133212);
- 5) Haste de insuflação de gases (5914333411)

Figura 59 – Mecanismo cinemático de insuflação de gases

Este mecanismo vai permitir que durante o processo de descida da coquilha, seja realizado sempre e apenas numa única orientação da coquilha, não permitindo que esta tome um movimento de rotação. Isto vai por seguinte permitir que a placa guia do parafuso “encontre” encontre sempre o parafuso e force este a tomar uma rotação e por seguinte se desloque a haste de insuflação para a extremidade ou o seu ponto de repouso. Aquando da subida da coquilha e com a tampa da câmara de vazamento fechada, a haste de insuflação toma o sentido contrário, posicionando-se sob a “boca” do gito.

Na Figura 60 seguinte é representado o parafuso de rotação da haste, evidenciando os rolamentos de carga axial.

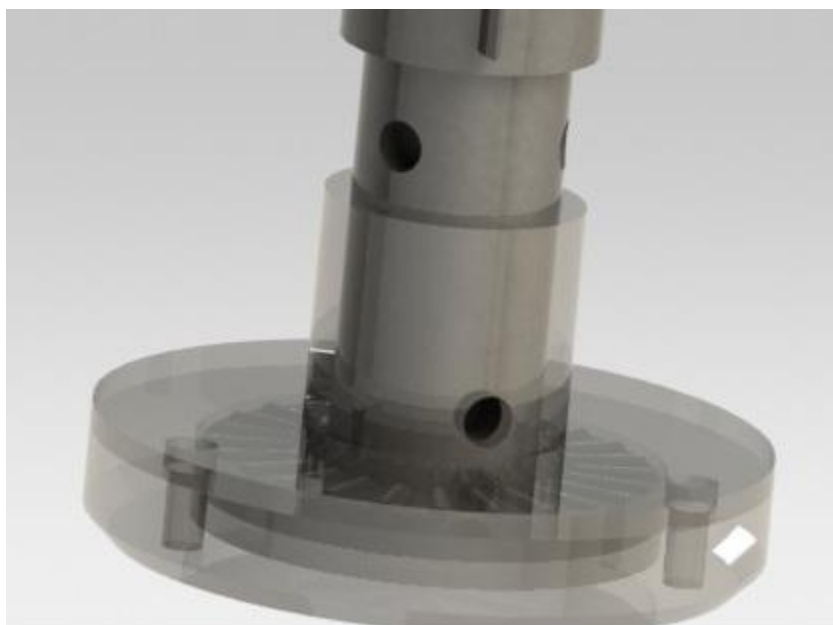


Figura 60 – Mecanismo de rotação de haste em pormenor

Para além destas medidas que potenciam a segurança do equipamento, é necessário também de realçar a realização do vácuo. Embora esta seja uma medida para o aumento do nível de seguridade, este tema é abordado no capítulo 2.

### 3.3.3. *Layout final*



Esta etapa de projecto destina-se à definição da configuração e posicionamento dos vários componentes do forno de baixa pressão.

O *Layout* do equipamento foi desenvolvido de acordo os seguintes aspectos:

- Especificações de projecto;
- Requisitos de forma (Normalização dimensional);
- Posição relativa a outros componentes (*Layout*);
- Material;
- Viabilidade técnica;
- Segurança;
- Ergonomia;
- Manufatura;

Na Figura 61 é representada a perspectiva de explodida do equipamento.

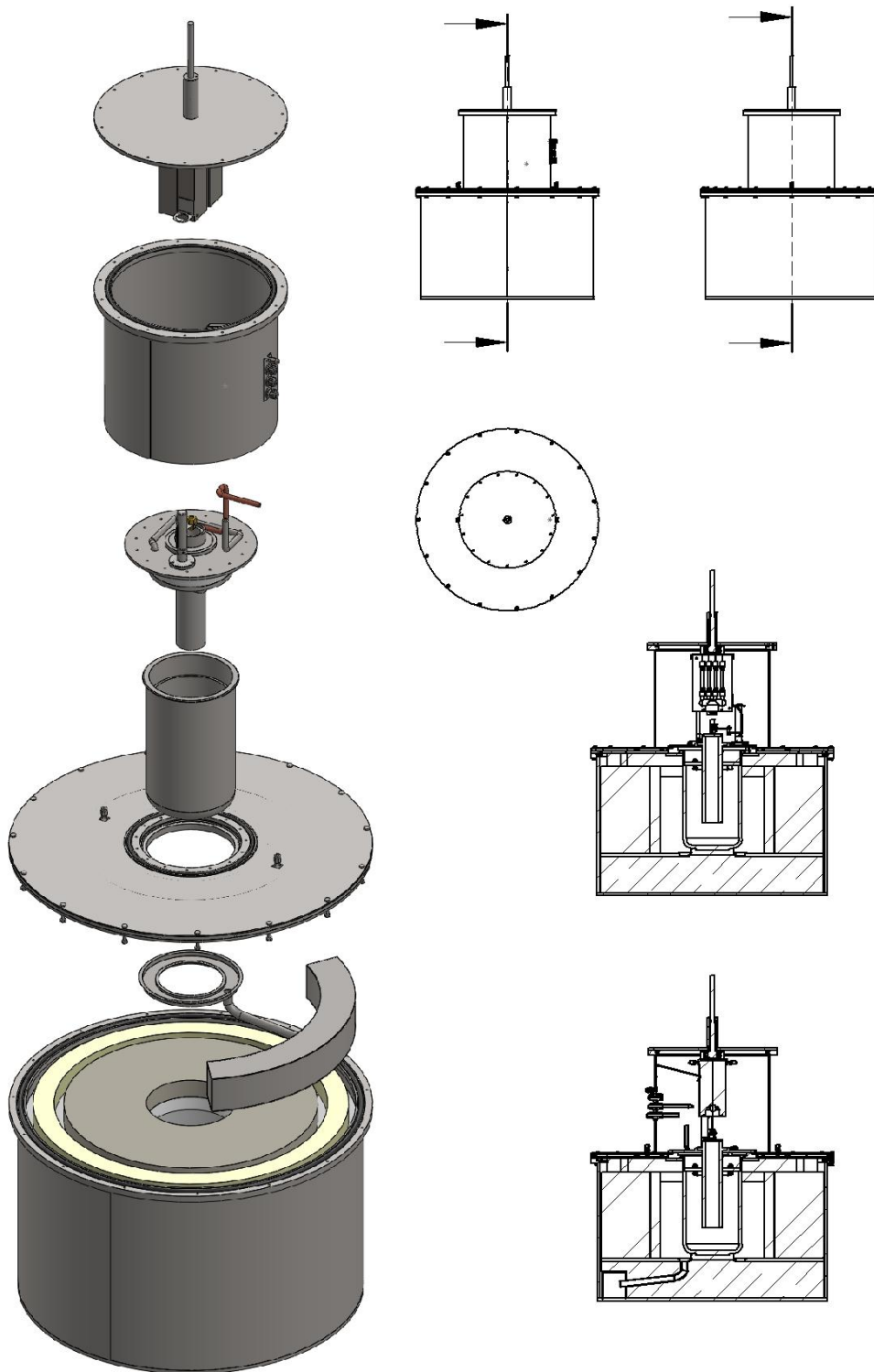


Figura 61 - Perspectiva de explodida de equipamento de baixa pressão

### 3.3.4. Selecção de materiais

Neste capítulo procede-se à selecção de materiais dos vários componentes do equipamento forno de baixa pressão. A necessidade de realizar um capítulo que aborda este tema, deve-se ao facto de o equipamento requerer certas especificações para garantir a segurança e bom funcionamento ao longo da sua vida útil.

O equipamento de fundição é composto por vários componentes com diferentes especificações, sendo que devido a este facto se seleccionam os materiais que melhor se adequam à função específica. Assim como objectivo final deste capítulo pretende-se seleccionar os vários materiais de acordo com as especificações de serviço para que os componentes foram desenvolvidos.

Como procedimento para a selecção de materiais, estabelece-se uma relação entre os requisitos de serviço do componente específico, o processo de fabrico, a sua geometria e os atributos do material específico que melhor se adaptam às necessidades Figura 62.

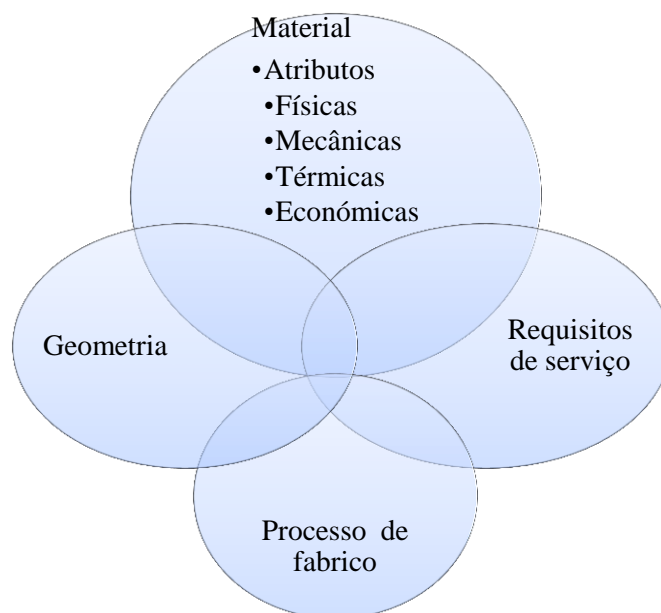


Figura 62 - Diagrama esquemático de orientação para a selecção de materiais

Para este projecto de selecção de materiais a geometria do componente não é importante, sendo que a nível do projecto de *design* se manteve a simplicidade

geométrica por forma a simplificar tanto a selecção de materiais como o processo de fabrico.

Cada componente do equipamento foi desenvolvido para ser fabricado tendo em consideração o aspecto do fabrico e os requisitos de serviço específicos. Para suportar estes requisitos os materiais deverão reter certos atributos de índole física, mecânica, térmica e económica por forma a se enquadrarem com os componentes.

#### **3.3.4.1. Requisitos de serviço**

Os principais requisitos de serviço e processos de fabrico dos vários componentes são:

- a) Função estrutural;
- b) Resistência a elevadas temperaturas;
- c) Resistência à oxidação;
- d) Estanquicidade (permeabilidade, pressão vapor);
- e) Resistência à condução térmica;
- f) Processos de fabrico e união (maquinabilidade, conformabilidade, soldabilidade);

Reunidos os requisitos de serviço mais comuns do equipamento, estes são de seguida analisados por forma a identificar as especificações que os materiais devem reter.

##### **a) Função estrutural**

Os componentes com funções estruturais têm que suportar cargas (P) representadas na Figura 63 pelas flechas, resultando isto em tensões de compressão,

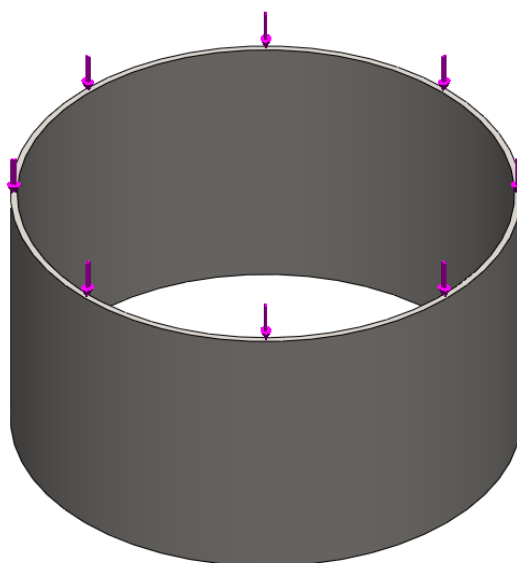


Figura 63 – Representação da esquemática de aplicação de cargas num componente

As tensões admissíveis ( $\sigma_{adm}$ ) desenvolvidas ao longo das estruturas devido à compressão têm de ser inferiores que a tensão de limite à cedência ( $\sigma_E$ ) do material seleccionado. No entanto para além da compressão também se deve ter em conta o fenómeno de encurvadura dos corpos que se desenvolve segundo (5) de Euler, representando esta a forma simplificada de encurvadura de uma barra à compressão.

$$P = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L^2} \quad (5)$$

Através desta equação pode-se afirmar que para os requisitos estruturais de deve optar por materiais com um elevado módulo de elasticidade.

Segundo (O'Hanlon, 2003) as ligas estruturais mais utilizadas em equipamentos de vácuo são à base de alumínio e aços inoxidáveis.

O alumínio é um material mais barato quando comparado aos aços inoxidáveis austeníticos (série 300), têm boas propriedades para processamento, sendo que no entanto são de difícil união por soldadura a outros metais.

As ligas de aço inoxidável apresentam na sua generalidade uma tensão à cedência e boa trabalhabilidade superior ao alumínio. Um dos tipos de aços inoxidáveis mais utilizados neste tipo de aplicações, como material estrutural são os de série 300, sendo que para isto se deve a sua resistência à corrosão, soldabilidade e propriedade não-magnética

**b) Resistência a elevadas temperaturas;**

Certos componentes metálicos irão estar sujeitos a temperaturas elevadas que se iram propagar por mecanismos de condução térmica devido às características da fundição por baixa pressão. Por conseguinte, deverão ser escolhidas ligas que possam ser expostas às temperaturas de serviço específicas garantindo o bom funcionamento dos componentes. Os elementos químicos que potenciam estas propriedades são o Ni e Cr, devendo por isso ser seleccionadas ligas com elevados teores destes elementos.

**c) Resistência à oxidação;**

Um dos desafios do equipamento passa por processar o Mg, mantendo a segurança das pessoas que o manuseiam. Desta forma os materiais que estarão em contacto com o Mg terão que ter uma boa resistência à oxidação. Normalmente estes materiais que estão em contacto com o metal fundido são fabricados à base de refractários. No entanto a elevada afinidade do Mg para com o oxigénio não permite a utilização deste tipo de materiais.

Devido à necessidade de salvaguardar a inexistência focos de corrosão e escamação é necessário seleccionar uma liga com resistência superior a este tipo de degenerações. As ligas metálicas com teores adicionais de crómio (Cr) e molibdénio (Mo) surgem como um boa solução, acentuando a resistência a estes factores.

Outras considerações devem ser tomadas para a selecção da liga por forma a potenciar a máxima afinidade entre o cadinho e restantes elementos de processamento e vazamento de Mg. O material deve ter até um máximo de 0,12% de C e ser livre de certos elementos químicos que têm um efeito negativo extremo na resistência à oxidação por parte do Mg como o Cu e Ni (Avedesian, 1999).

**d) Estanquicidade (permeabilidade, pressão vapor)**

Para a construção de um sistema estanque é necessário utilizar materiais impermeáveis a gases e terem baixa pressão de vapor.

- Permeabilidade

A permeabilidade pode ser definida como a medida ou capacidade do material em transmitir um fluido. Este conceito tem de ser considerado para a manutenção da estanquicidade, devendo-se desta forma optar por materiais com baixa permeabilidade.

O hidrogénio é um dos poucos gases com a capacidade de transpor metais sendo esta característica mensurável. Assim a taxa de penetração do hidrogénio é proporcional à raiz quadrada da diferença das pressões interior e exterior do equipamento. Na Figura 64 é apresentada a variação da constante de penetração do hidrogénio para vários metais em função da temperatura.

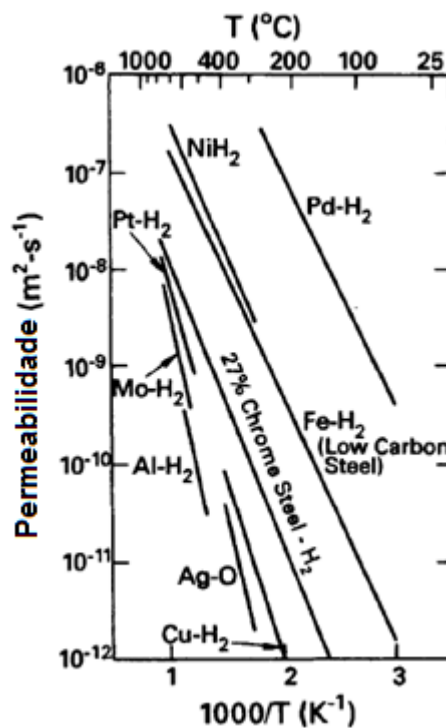


Figura 64 – Constante de penetração do hidrogénio em função da temperatura através de vários materiais (Norton, 1961)

Pode-se verificar que a capacidade de penetração do hidrogénio é menor para o alumínio, sendo que para outros metais como o molibdénio (Mo), prata (Ag), cobre (Cu), platina (Pt), Ferro (Fe), Níquel (Ni) e paládio (Pd) se verifica um aumento da constante de penetração segundo uma ordem crescente.

Outros metais como o crómio (Cr) têm a capacidade de inibir a permeabilidade do hidrogénio. Desta forma seleccionando ligas com altos teores em Cr permite-se a

formação de um filme de óxido de crómio ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) que funciona como uma barreira, reduzindo a taxa de permeabilidade do H (O'Hanlon, 2003).

As ligas de aço inoxidável austeníticos apresentam-se como uma boa solução, visto terem um teor percentual de Crómio superior a 10,5%. Devido a esta característica os aços inoxidáveis austeníticos apresentam-se como o preferido para aplicação em equipamentos de vácuo laboratoriais.

- Pressão de vapor

A maioria dos metais tem uma pressão de vapor suficientemente baixa para o uso em equipamentos de vácuo. No entanto algumas ligas contêm certos elementos químicos com determinada pressão de vapor que não devem ser utilizados. Ligas que contenham na sua composição química zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), selénio (Se) ou enxofre (S) não devem ser utilizados devido aos seus valores de pressões de vapor elevadas quando submetidos a temperaturas também elevadas.

No Anexo G é possível verificar a pressão de vapor de vários elementos químicos em função da temperatura.

#### e) Resistência à condução térmica

Os cerâmicos são materiais policristalinos, formados por materiais inorgânicos não-metálicos sob tratamentos térmicos com ou sem pressão. Os cerâmicos apresentam um elevado valor de ruptura dieléctrica e baixa pressão de vapor. Os cerâmicos incluem na sua constituição cristais de vidro agregados e compostos monofásicos como óxidos, nitretos de sulfetos, boretos e carbonetos. Como este é um material poroso, existe gás aprisionado na sua estrutura, não sendo por isso materiais tão densos como os materiais cristalinos. A maioria dos cerâmicos tem uma massa específica de aproximadamente 90% da sua massa específica aparente. Como características físicas importantes pode-se referir a sua resistência à compressão, tracção, resistência térmica e coeficiente de expansão térmica.

Na selecção do material que actue como isolador térmico para um forno de Mg deve-se utilizar um material de elevada resistência química de elevada temperatura de serviço e baixo coeficiente de condução térmica.



**f) Processos de fabrico e união (maquinabilidade, formabilidade, soldabilidade)**

Os materiais não correspondem todos de forma igual aos processos de fabrico, devendo-se adequar o material ao processo ou vice-versa.

Desta forma os materiais deverão ter boa aceitação a processos de maquinagem, conformação e união por soldadura.

- Maquinabilidade

A maquinabilidade pode ser entendida como a aptidão do material para ser maquinado. Com o fim de fazer a comparação entre a maquinabilidade, na Figura 65 pode-se verificar que para aços inoxidáveis os martensíticos são os que apresentam maior disponibilidade para a maquinagem, enquanto os austeníticos e ferríticos têm similar aptidão.

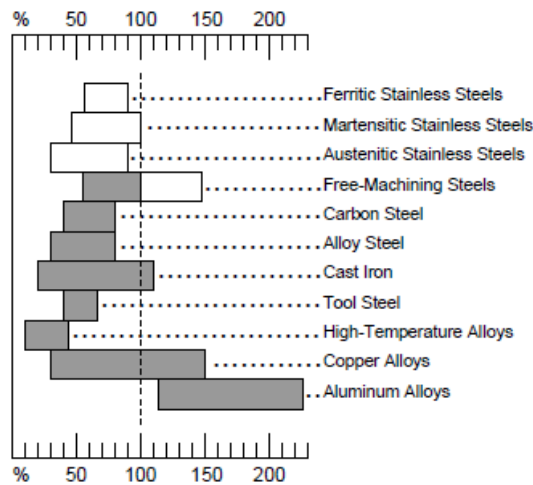


Figura 65 - Comparação da maquinabilidade entre vários materiais (ASM Handbook, 1995)

Os elementos de liga mais importantes para o aumento da maquinabilidade dos metais são aqueles que formam inclusões no material. Tais aditivos incluem o enxofre (S), selênio (Se), telúrio (Te), chumbo (Pb), bismuto (Bi) e certos óxidos.

- Conformabilidade

A conformabilidade retrata a capacidade do material ser modificado plasticamente. Esta propriedade intrínseca de um material varia consoante as

características mecânicas, como a tensão limite de elasticidade, a tensão máxima à tracção e ductilidade. Através destas características é possível definir os mínimos esforços necessários de forma a deformar plasticamente um material.

O aço inoxidável é conformado através de processos mecânicos semelhantes ao aço carbono, havendo no entanto normais diferenças no que diz respeito aos parâmetros do equipamento em causa. Comparativamente ao aço carbono, o inoxidável é mais deformável. Isto quer dizer, que este material suporta deformações maiores sem que ocorram falhas nos componentes como se pode visualizar na Figura 66.

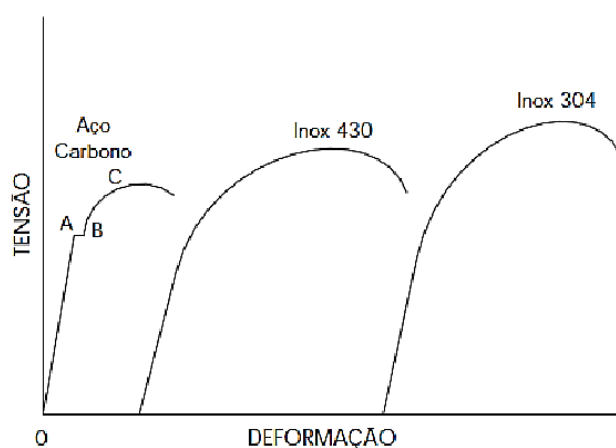


Figura 66 – Comparação de diagramas tensões-deformação de vários materiais

Os aços inoxidáveis, o austenítico apresenta uma capacidade para a deformação antes de falha superior. No Anexo H é realizada uma avaliação de aptidão dos aços inoxidáveis, classificando estes de excelentes (A) a não recomendado (D). Esta avaliação é baseada na comparação da resposta destes materiais a vários processos de conformação.

Através destes dados é revelado que os aços austeníticos e ferríticos, quase sem excepção se adaptam bem aos vários métodos de conformação listados. Dos martensíticos, apenas o 403, 410 e 414 são recomendados para aplicações a frio, devendo-se esta restrição ao teor de C superior.

- Soldabilidade

A soldabilidade pode ser definida como a capacidade que um material apresenta para ser unido a outro material. Os aços inoxidáveis apresentam melhor aptidão para

esta técnica de união, sendo que os elementos de liga que potenciam esta capacidade são o Ni e o Cr.

Como conclusão desta etapa é apresentada a Tabela 15 onde são reunidas as principais especificações dos materiais que foram identificadas para que os materiais possam cumprir os requisitos de serviço.

Tabela 15 – Elementos de liga e propriedades que os materiais devem reter para suportar os requisitos de serviço

Requisito de serviço		Deve-se incrementar (+)	Deve evitar (-)
Estruturais		Módulo de elasticidade (E)	...
Elevadas Temperaturas		Ni; Cr	...
Resistência à oxidação		Cr; Mo	Cu; Ni
Estanquicidade	Permeabilidade	Cr	Mo; Ag; Cu; Pt; Fe; Ni; Pd
	Pressão vapor	Anexo G	Zn; Pb; Cd; Se; S
Resistência térmica		Resistência química; Elevadas temperaturas de serviço; Baixo coeficiente de transferência de calor	...
Fabrico	Maquinagem	S; Se; Te; Pb; Bi	...
	Conformação	Anexo H	
	Soldadura	Ni; Cr	

Elaborado o perfil dos materiais, são listados no Anexo F os vários componentes do equipamento e seleccionado o material específico mais indicado.

### 3.3.4.2. Componentes chave

A criação deste subcapítulo tem como propósito a fundamentação da selecção de materiais dos componentes mais relevantes do equipamento, quer

atendendo a aspectos funcionais, quer de segurança. Assim são abordados de seguida os seguintes componentes:

- Cadinho e sistema de vazamento e metais sujeitos a temperaturas elevadas

Para além do cadinho há um conjunto de componentes que estão sujeitos a temperaturas elevadas. Estes componentes constituem o sistema de vazamento e outros que devido ao seu posicionamento quer sujeitos à radiação/condução das resistências quer do banho terão também temperaturas elevadas de serviço.

Tipicamente um forno para a fundição de Mg é normalmente a nível de *design* muito similar a um forno dedicado para o alumínio tendo as mesmas características, o que permite a fundição deste material. No entanto as diferenças quer a nível químico, quer ao nível físico do Mg em comparação com o alumínio implica que se seleccionem diferentes materiais para o processo de fundição. Como já referenciado no subcapítulo anterior

O Mg em estado líquido não ataca o ferro da mesma forma que o alumínio, podendo por isso ser fundido e processado em materiais à base de materiais ferrosos (Avedesian, 1999). A nível industrial, o material mais utilizado são ligas de aço ao carbono. No entanto segundo (Mordike B. e., 2001), o material ideal para a construção de um cadinho dedicado à fundição de Mg passa pela utilização de aço inoxidável ferrítico (série 400). Esta é uma solução economicamente menos favorável quando comparado com ligas de aço, no entanto propõem a utilização deste material para a fabricação do cadinho e restantes componentes de processamento do Mg, fundamentando esta decisão pelas seguintes considerações:

- Grande importância destes elementos para o aumento da segurança do forno, devendo-se seleccionar o material que garanta a maior resistência à oxidação ao Mg;
- O inox ferrítico é um material que promove a protecção ao desgaste provocado pelas resistências eléctricas, não sendo necessários posteriores processos de revestimento;
- Necessidade de preservação da pureza das peças a fabricar;

- Peças de fabrico unitário;

Sabido isto e através das especificações referenciadas no subcapítulo anterior referente à resistência à oxidação, foi seleccionado o aço inoxidável 447 de referência 1.4592 com a seguinte constituição química representada na Tabela 16 (International Stainless Steel Forum (ISSF), 2009).

Tabela 16 – Composição química do aço inoxidável

ASTM	Elemento químico (peso máximo %)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti
	0,025	1,0	1,0	0,03	0,01	28,0 a 30,0	3,5 a 4,5	[4x (C+N) +0,5] -0,8
447	Elemento químico (peso máximo %)							
	Nb	Cu	Al	N	Ni	Padrão	Ref.	
	6*(C+N) - 1,0	...	...	0,04 5		En	1.4592	

No que diz respeito ao cadinho em específico, a sua superfície exterior é exposta a elevadas temperaturas resultantes da radiação emitida pelas resistências eléctricas. Para prevenir a formação de defeitos como a descamação e fissuração normalmente realiza-se um revestimento com uma liga de aço de maior resistência à oxidação térmica ou através de uma aluminização. Utilizando-se como material o inox indicado, não será necessário proceder a um processo posterior de revestimento. Isto deve-se à quantidade adicional de cromo (Cr) e molibdénio (Mo), que são agentes que acentuam a resistência à corrosão e escamação.

O aço 447 é um metal que dá garantias de ter um bom comportamento quando sujeito a temperaturas elevadas e fenómenos relacionados, como a sensitização.

A sensitização é um fenómeno que se desenvolve quando os aços inoxidáveis são sujeitos durante tempo prolongado a gamas de temperaturas entre os 450°C a 850°C e em meios ácidos. Este fenómeno retrata a formação de oxidação intragranular resultante da combinação do cromo com o carbono livre resultante da decomposição da cementite (Fe<sub>3</sub>C). Como forma de diminuir este risco de sensitização dos aços

inoxidáveis pode-se apostar em ligas com adição de elementos estabilizadores (Ti e Nb) ou na redução da quantidade de C.

Este é ainda um material mais barato, que os aços inoxidáveis de série 300 (austeníticos) devido essencialmente a não conterem Ni e consistirem basicamente em ferro e cromo. O custo do cromo por conseguinte é relativamente estável, ao contrário do Ni.

- Refractários

Os refractários têm a função de reprimir o fluxo térmico através das paredes do equipamento.

Esta selecção específica de material é de grande importância para a manutenção da segurança no equipamento em situações de fuga de Mg através de fissuras no cadinho. Numa situação destas e havendo contacto entre Mg em estado líquido e alguns materiais refractários surgirá uma reacção violenta por parte do metal. Desta forma os refractários deverão reter elevada resistência química a elevadas temperaturas de serviço e baixo coeficiente de condução térmica.

Face a estas especificações surge a alumina de alta densidade. Este é um material que tem apresentado resultados satisfatórios para fornos de Mg, sendo fabricado normalmente com uma composição de 57% Si – 43% Al (Avedesian, 1999). No Anexo I são referenciadas as características físicas e mecânicas do material seleccionado para o equipamento.

Para o material refractário que possa entrar em contacto com vapores de Mg, é proposto em Anexo J uma alumina de elevada densidade comercializada pela empresa *Saint-Gobain Industrial Ceramics*. Este é um material com uma composição de sílica extremamente baixa, baixo teor ferro e uma composição 98.7%  $Al_2O_3$ . A alumina de elevada densidade é inerte a ataques químicos por parte do hidrogénio a elevadas temperaturas, sendo utilizado como em câmaras de reactores químicos.

- Estrutura exterior metálica

A estrutura exterior do equipamento terá que reter certas características como alta resistência mecânica, capacidade de soldabilidade e selagem, baixa permeabilidade aos gases atmosféricos e baixa taxa de vapor. Os aços inoxidáveis austeníticos surgem

como uma boa solução, apresentando-se como os materiais normalmente utilizados para câmaras de vácuo normais de laboratório. Os aços tipo 304 e 316 são os materiais mais utilizados neste domínio. O aço de série 303 é um material de boa maquinabilidade, sendo que no entanto a presença combinada de enxofre, fósforo ou selénio não pode ser utilizada em equipamentos de vácuo (O'Hanlon, 2003).

Face aos dois materiais indicados, é seleccionado o aço inoxidável de tipo 304. Esta decisão deveu-se essencialmente ao factor custo representado na Figura 67.

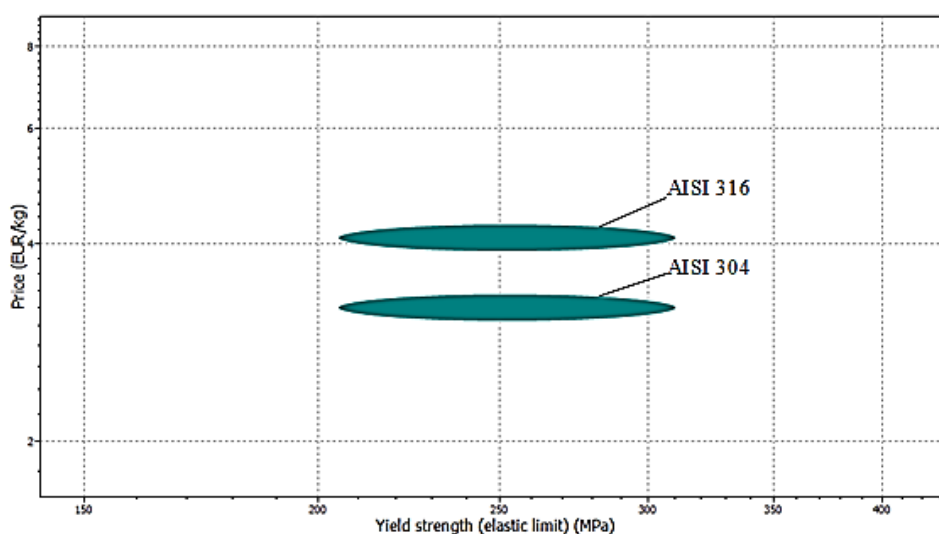


Figura 67 – Comparação dos aços inoxidáveis de tipo 304 e 316 face ao seu custo e tensão limite de elasticidade (Software Ces Edupack 2010)

- O-ring's

Estes elementos são responsáveis pela manutenção da estanquicidade do equipamento ao longo do tempo sob condições especiais, pelo que o material a seleccionar deverá reter certas propriedades específicas.

Na Figura 68 são identificadas quatro zonas onde é necessário a utilização de *o-ring's*, tendo cada uma destas zonas requisitos específicos e como tal os elementos vedantes deverão se enquadrar com essas especificações.

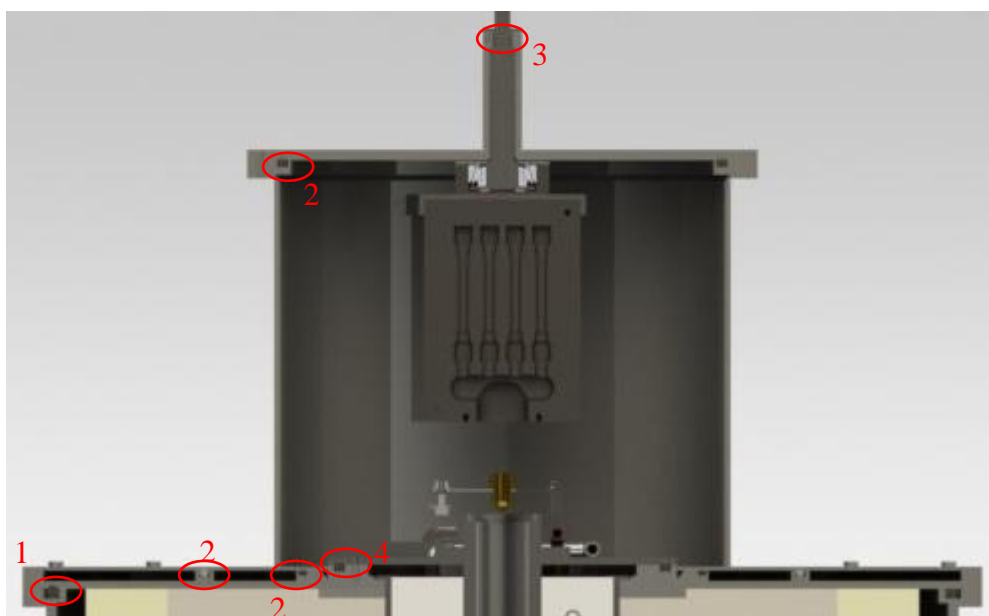


Figura 68 – Zonas de vedação através de *o-ring's*

Os requisitos que acompanham cada um dos vários *o-ring's* são referenciados na Tabela 17 onde cada elemento de vedação é identificado através do seu local de posicionamento.

Tabela 17 – Requisitos de serviço por especificação de serviço de local de cada *o-ring*

Especificação	1	2	3	4
<b>Requisitos</b>	Elevada tensão limite de cedência	Elevada tensão limite de cedência	Elevada tensão limite de cedência	Elevada tensão limite de cedência
	Dimensões não convencionais		Serviço sob condições dinâmicas	Temperatura de serviço elevadas
	Temperatura de serviço média		Lubrificação	

O requisito de referente ao limite de cedência é transversal a todos os *o-ring's*, devendo-se isto à necessidade destes elementos suportarem o máximo de ciclos de compressão/descompressão. De acordo com este requisito surgem as borrachas. Este



material tem como principal propriedade a elasticidade, devendo-se a esta a sua extensiva aplicação (Roth, Vacuum Sealing Techniques, 1966). Devido a esta necessidade transversal de todos os vedantes reterem grande elasticidade é definido que o material seleccionado deverá ser em borracha.

Na Figura 69 são referenciados os tipos de borracha existente no mercado, sendo estes listados em relação à sua temperatura de serviço recomendada.

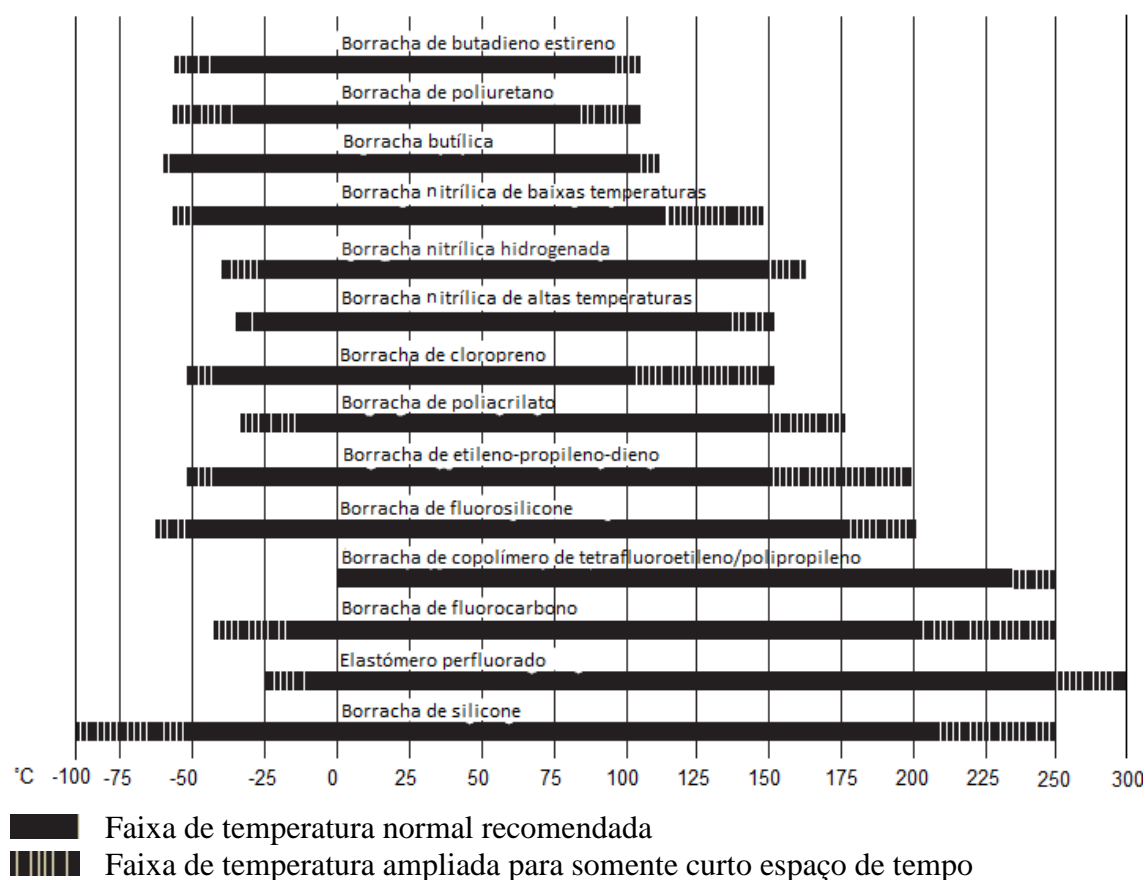


Figura 69 – Faixas de temperatura para materiais elastoméricos (Parker Hannifin Corporation)

Os vedantes em borracha mais utilizados são os de borracha natural, nitrílica, cloropreno e fluocarbono ou *viton*.

No Anexo K são representadas as principais características dos materiais poliméricos normalmente utilizados. Através desta matriz é possível identificar

Através da informação disposta neste capítulo, na Tabela 18 são seleccionados os seguintes *o-ring's*.

Tabela 18 – Tabela de selecção de material de *o-ring's* segundo especificação

<b>Especificação</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Material</b>	Silicone	Borracha butílica	Etileno- propileno	Perfluorado

### 3.3.5. Manufactura

O projecto para o fabrico de cada componente foi especificado paralelamente com o desenvolvimento do próprio componente e projecto para a montagem do produto final, cumprido assim as especificações através de um ou mais processos de fabrico, sendo que o custo do processo é o factor dominante.

Assim para cada componentes foi especificado o principal processo de fabrico, sendo este anexado à codificações de cada componente devido ao grande numero de componentes. Para consultar os processos de fabrico de cada componente deve-se visualizar o Anexo F (Lista de componentes) e Anexo E (guia de codificação de componentes)

### 3.3.6. Toleranciamento

Devido aos requisitos de funcionamento em vácuo, o toleranciamento dos vários componentes deverá ter especificações *standard*. Desta forma é referenciada na Tabela 19 o toleranciamento recomendado

Tabela 19 – Toleranciamento recomendado para equipamento de vácuo (Schoonover, Inc.)

<b>Toleranciamento</b>	
Dimensões maquinadas	±0,13mm
Dimensões maquinadas em flanges críticas	±0,05mm
Dimensões soldadas até 610mm	±0,51mm
Dimensões soldadas superiores a 610mm	±1,52mm

Através da tabela anterior pode-se verificar que a maioria dos componentes devem ser fabricados através de uma construção mecânica cuidada correspondente à classe de qualidade IT7 e IT8 segundo a norma ISO 286-1 (Silva, 2004).

### **3.3.7. Projecto para montagem**

Neste capítulo é realizada uma análise ao processo para a montagem. Esta é uma abordagem à forma como são associados os vários componentes para obtenção do produto final.

Esta etapa foi analisada em paralelo com o desenvolvimento da geometria dos vários componentes e processos de fabrico, por forma a não comprometer estas actividades e tomar decisões que atrasem o projecto.

O forno de baixa pressão foi projectado adoptando como princípios as seguintes considerações:

- Utilização de módulos e sub-montagens;
- Utilização do menor número de componentes tipo;
- Minimização da necessidade de recorrer à utilização de ferramentas diferentes ou especiais;
- Projectar componentes com simetria em ambos os eixos do plano de inserção;
- Projectar componentes sem arestas cortantes;

Para facilitar a montagem e percepção do que foi projectado, o forno deve ser montado pela junção de 6 grandes módulos representados na Tabela 20.

Tabela 20 – Módulos de montagem do forno de baixa pressão


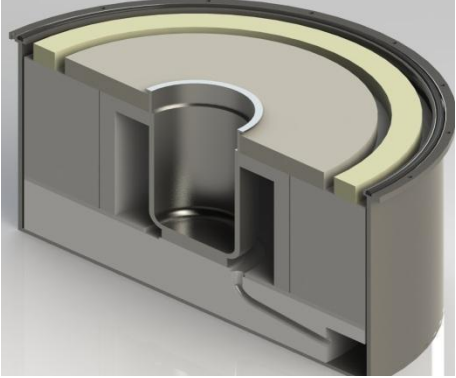
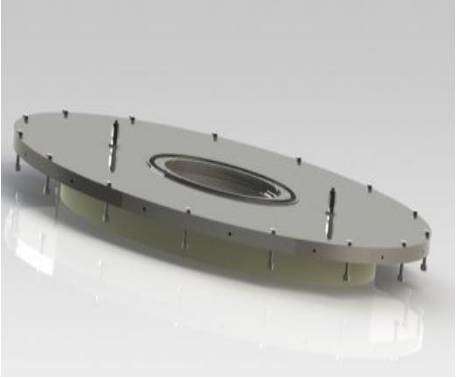

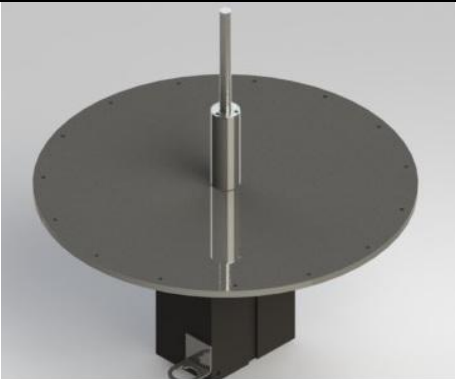
Módulo	Descrição	Ilustração
1	Sistema de emergência para fugas de Magnésio;	
2	Estrutura, refractários e cadiño;	
3	Tampa de forno;	
4	Sistema de vazamento e insuflação do cadiño	

Tabela 20 - Módulos de montagem do forno de baixa pressão (continuação)

5	Cápsula de vazamento e tubagem	
6	Coquilha e tampa de cápsula de vazamento	

Nas figuras seguintes são representados os módulos em perspectiva de corte e respectivas anotações para melhor visualização de todos os componentes e suas interações.

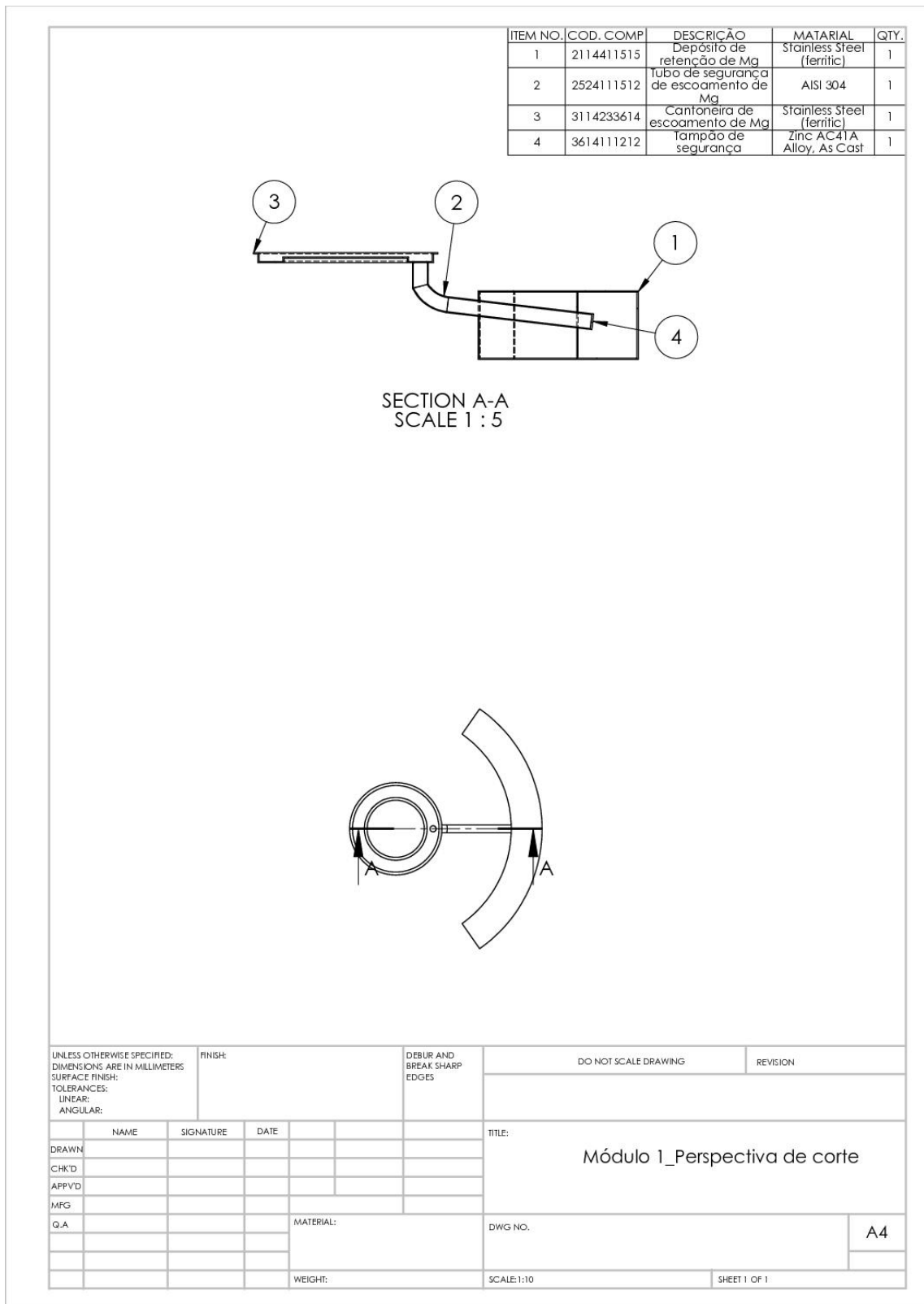


Figura 70 – Representação de desenho de conjunto de módulo 1

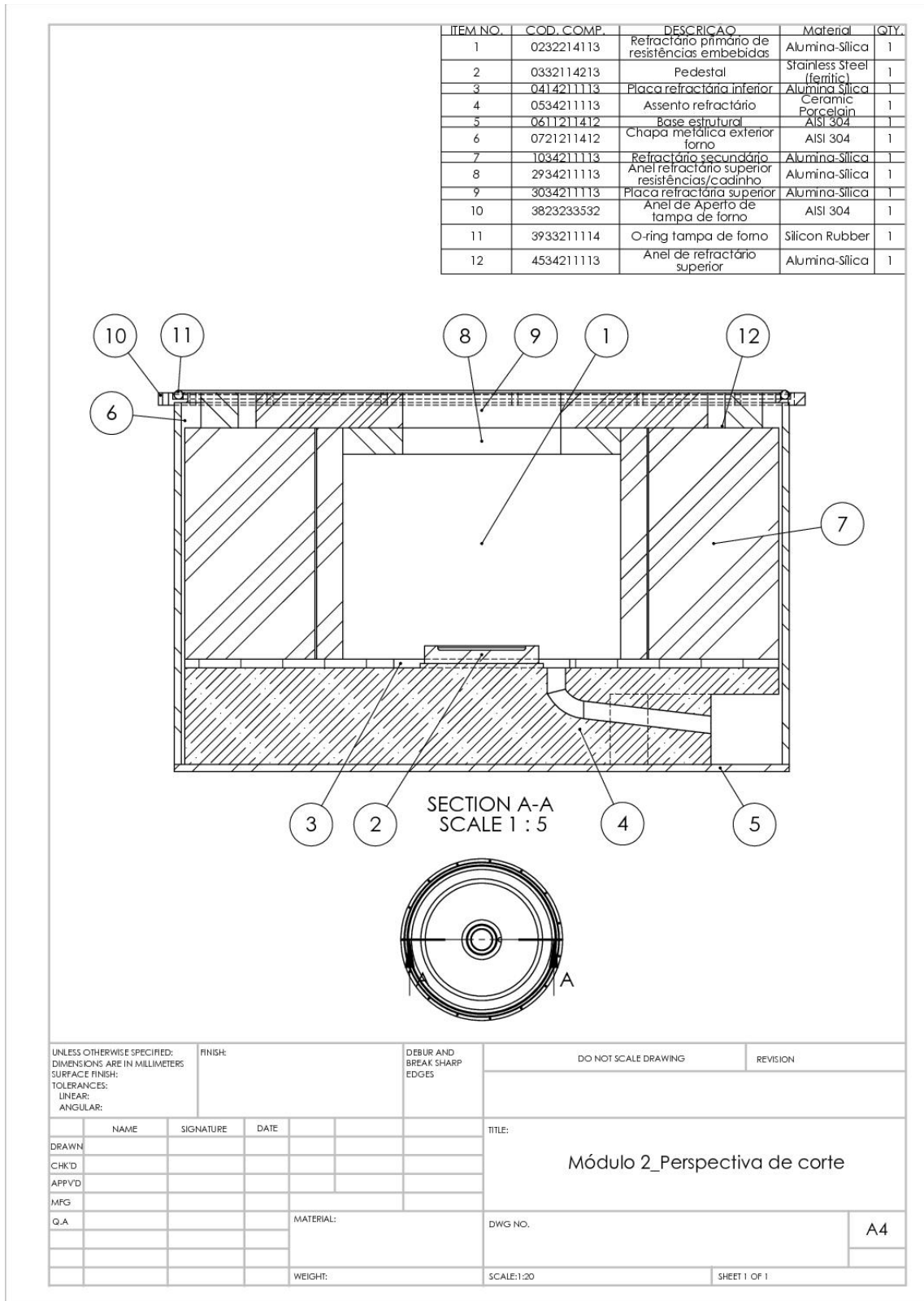


Figura 71 - Representação de desenho de conjunto de módulo 2

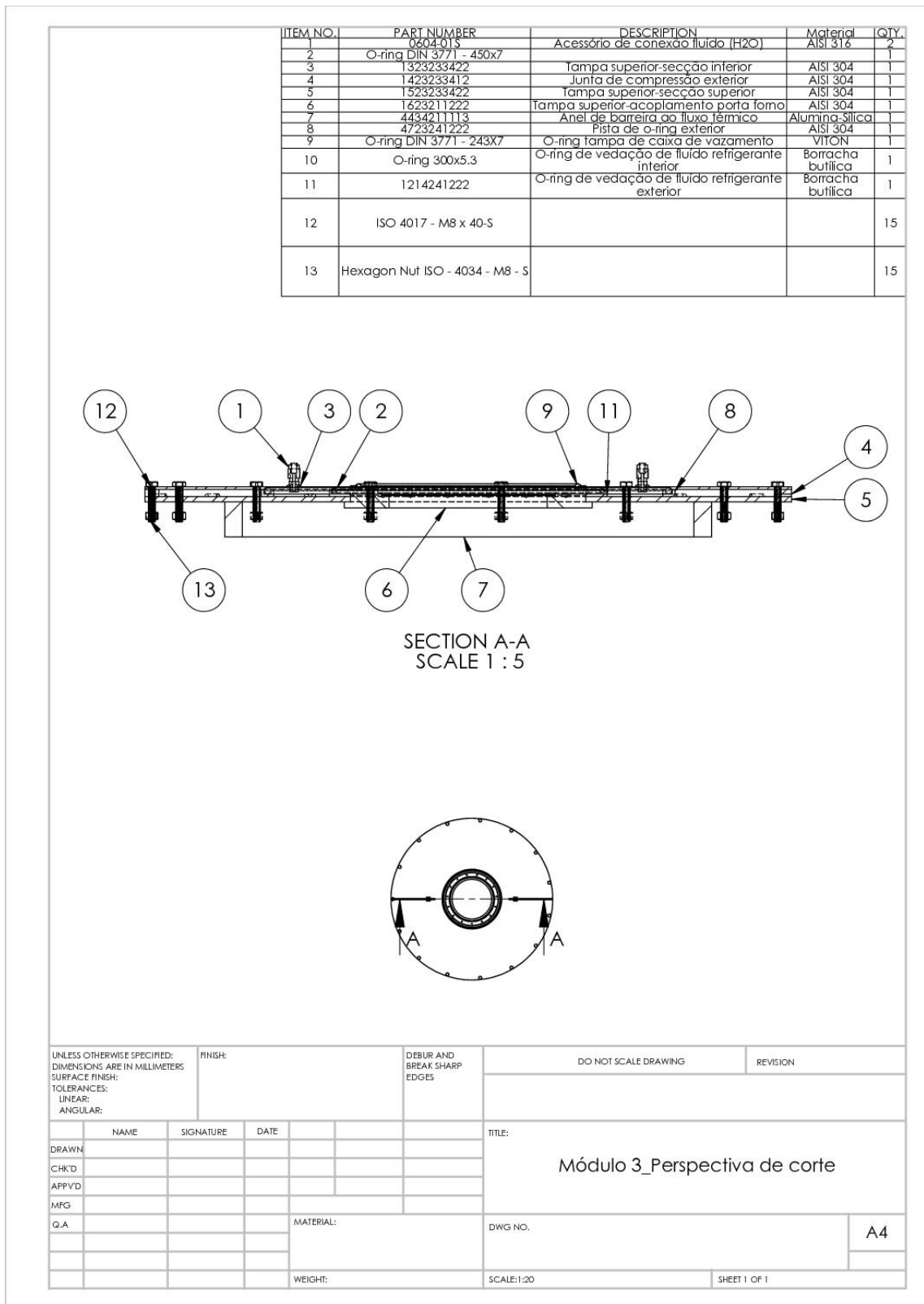


Figura 72 - Representação de desenho de conjunto de módulo 3



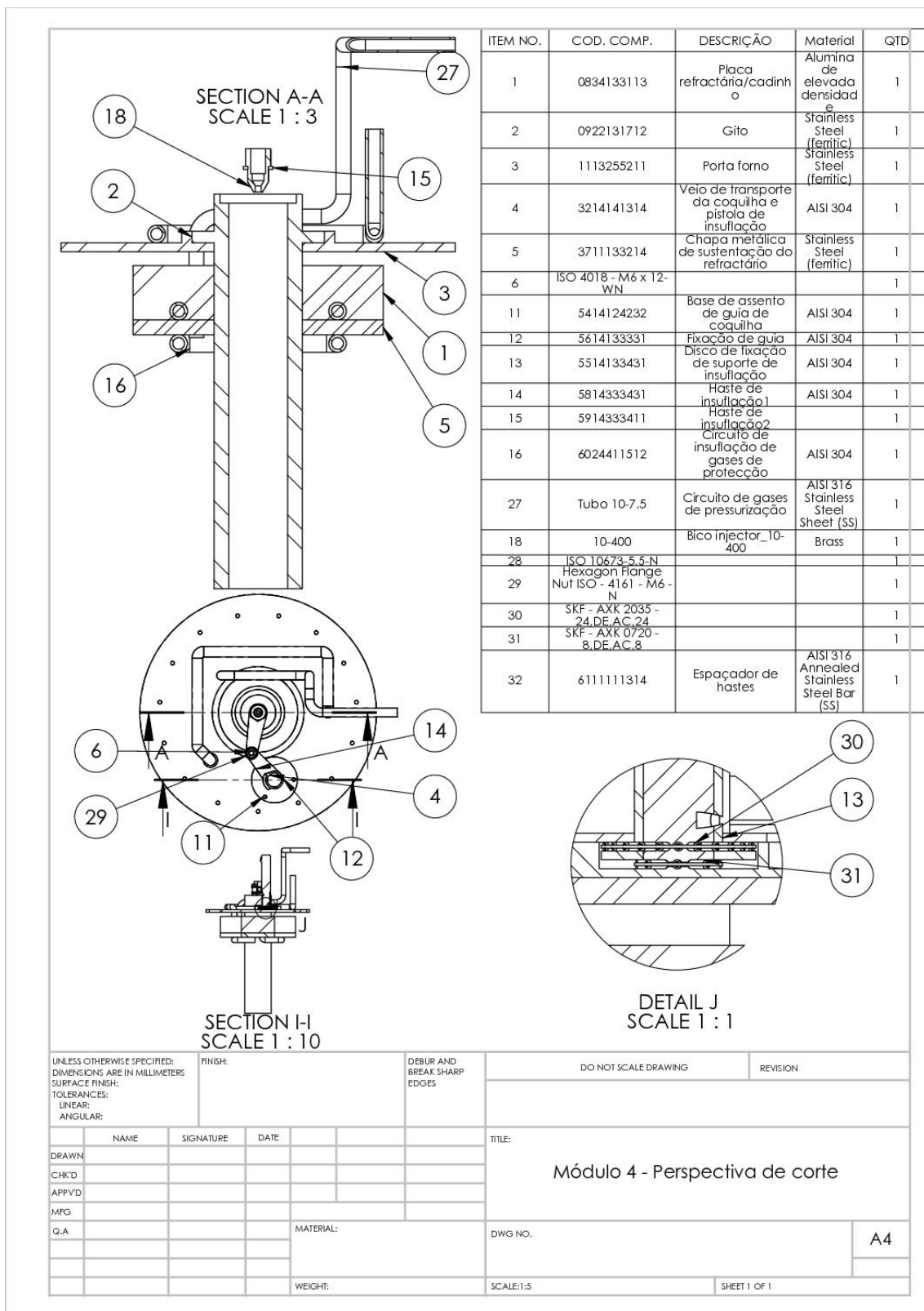


Figura 73 - Representação de desenho de conjunto de módulo 4

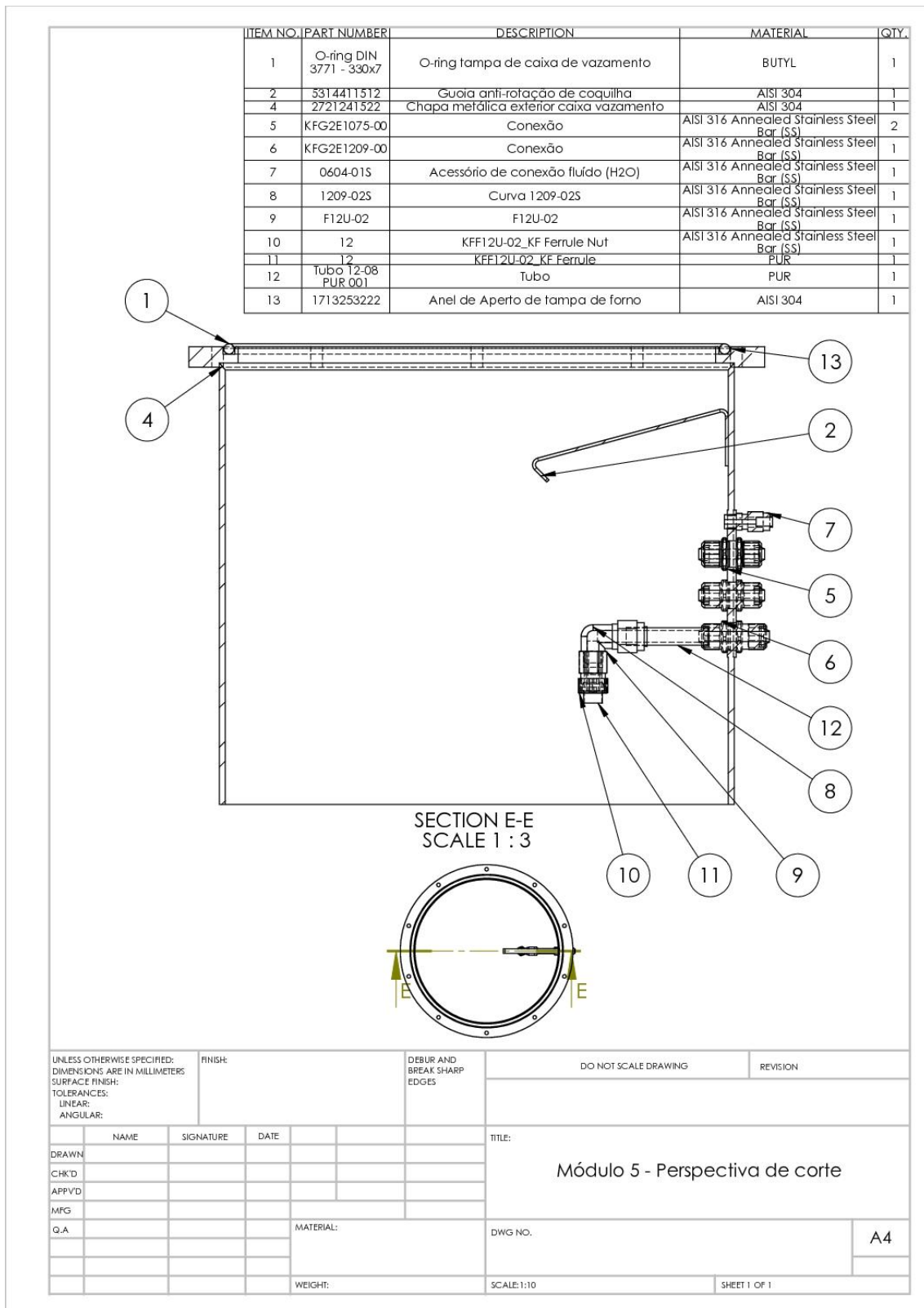


Figura 74 - Representação de desenho de conjunto de módulo 5

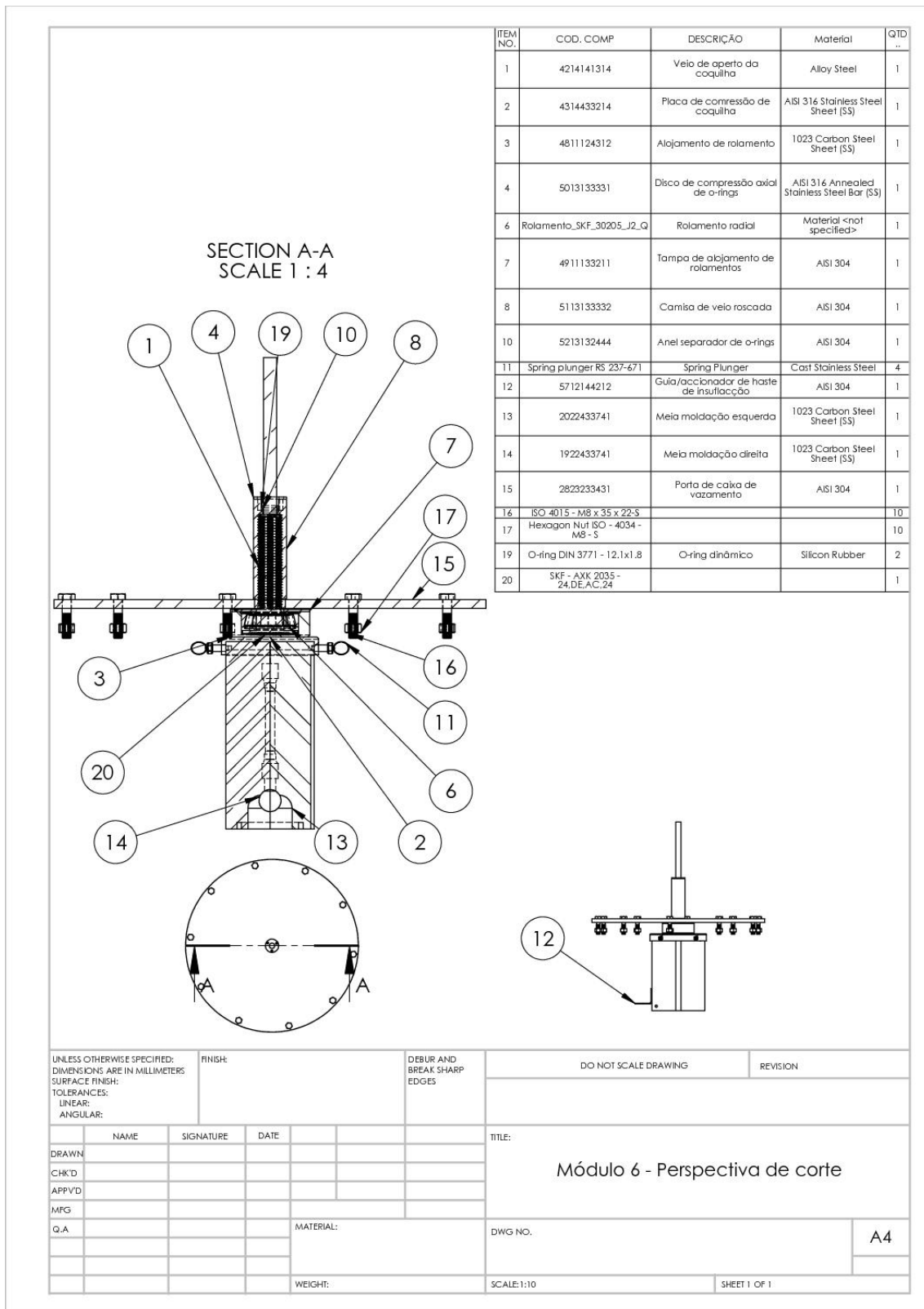


Figura 75 - Representação de desenho de conjunto de módulo 6

### 3.4. Projecto detalhado

Neste capítulo são realizadas várias análises por forma a testar o equipamento no que diz respeito à sua viabilidade técnica.

#### 3.4.1. Análise energética

Neste capítulo realiza-se uma análise energética com o intuito de determinar potência necessária para elevar a temperatura do magnésio à temperatura de vazamento e posterior estabilidade / manutenção térmica de operação do sistema.

O cálculo da potência neste relatório técnico é estimada pelo somatório do balanço da energia absorvida pelo Mg, componentes associados do forno e energia dissipada para o ambiente, estabelecendo-se desta forma a quantidade de energia necessária para elevar estes elementos à temperatura desejada de processo.

##### 3.4.1.1. Absorção de energia

Determinado o projecto de design do equipamento, que compreende entre vários objectivos a definição da geometria e selecção dos materiais para os vários componentes do forno são determinadas as massas e características térmicas específicas. Através desta informação realiza-se a estimativa da energia absorvida pelo Mg e os restantes elementos do forno por (6).

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \quad (6)$$

Para esta análise é necessário estabelecer os seguintes parâmetros, que se referem às várias temperaturas referenciadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Mapa de temperaturas

$T_0$ [K (°C)] – Temperatura ambiente	293 (20)
$T_1$ [K (°C)] – Temperatura de fusão	923 (650)
$T_2$ [K (°C)] – Temperatura de vazamento	1123 (850)
$T_3$ [K (°C)] – Temperatura do cadinho	1153 (880)
$T_4$ [K (°C)] – Temperatura superficial das resistências	1373 (1100)
$T_5$ [K (°C)] – Temperatura superficial exterior do refractário	350 (77)
$T_6$ [K (°C)] – Temperatura superficial exterior da estrutura	333 (60)
$T_m$ [K (°C)] – Temperatura média do refractário lateral	860 (587)

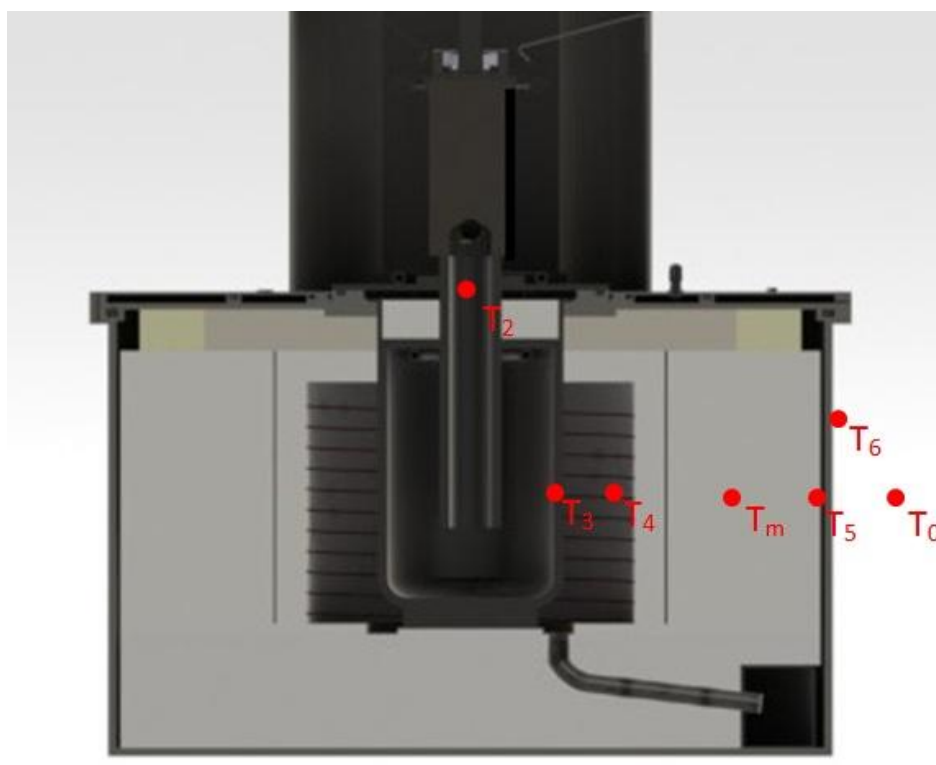


Figura 76 – Representação da localização do mapa de temperaturas

Nos seguintes pontos, são identificados os principais intervenientes que fazem parte do forno. Através destes é estabelecida a quantidade de energia necessária a elevar a temperatura a níveis admissíveis para vazamento.

- Elevar a liga de Mg à temperatura de fusão;

A energia necessária para elevar 0,83 kg de liga AZ91A à temperatura de fusão ( $T_1$ ) é de Anexo J , onde o calor específico médio ( $C_p$ ) da liga segue a seguinte Tabela 22.

Tabela 22 – Calor específico da liga de Mg AZ91A entre  $T_0$  e  $T_1$

<b>T [K]</b>	<b><math>C_p</math> [J/(kg·K)]</b>
293	0,8
373	1,05
573	1,16
923	1,43

$$Q_{A1} = m \times C_p \times (T_1 - T_0) = 6,70E + 05 J$$

- Energia latente

A energia latente de fusão diz respeito à quantidade de energia necessária a fornecer ao Mg para este passar da fase sólida à líquida. De acordo com (7) é possível calcular esta energia, onde  $L_f$  corresponde à energia latente específica da liga de  $3,73E+05 J/kg$ .

$$Q_L = m \times L_f = 3,10E + 05 J \quad (7)$$

- Elevar a liga à temperatura de vazamento;

Para a liga em questão poder-se-ia admitir que a temperatura de vazamento seria  $T_1 + 30$ . No entanto e por forma a aumentar a gama de temperatura admissíveis de aplicação no forno, é sugerida para estes cálculos uma temperatura máxima do banho de 1123 K.

Para o cálculo da energia e devido à falta de informação bibliográfica do  $C_p$  para as temperaturas em questão ( $T_1$  e  $T_2$ ), decidiu-se estimar o seu aumento para a temperatura pela Figura 77 segundo os valores da Tabela 22.

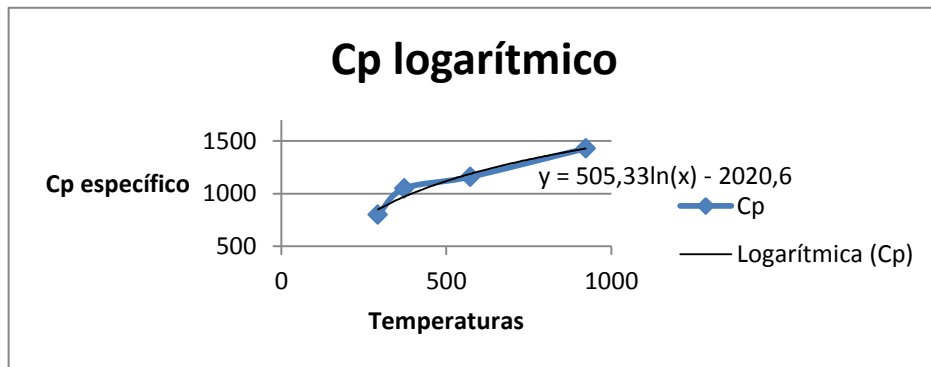


Figura 77 – Variação do  $C_p$  com a temperatura

Desta estimativa resulta a Tabela 23 com os seguintes  $C_p$  para a variação de temperatura entre  $T_1$  e  $T_2$ .

Tabela 23 – Estimativa do calor específico da liga de Mg AZ91A entre  $T_1$  e  $T_2$

T [K]	$C_p$ [J/(kg·K)]
923	1430
990	1465
1056	1498
1123	1529

De forma a elevar a temperatura do banho desde a temperatura de fusão ( $T_1$ ) à temperatura de vazamento ou máxima admissível do forno ( $T_2$ ) é indicada pelo seguinte cálculo.

$$Q_{A2} = m \times C_p \times (T_2 - T_1) = 2,48E + 05 \text{ J}$$

- Elevar temperatura do cadinho;

O cadinho tem como principais funções reter o metal e permitir a transferência de energia desde a sua superfície exterior para o metal interior. Esta transferência é realizada por condução térmica através da parede do cadinho e por conseguinte por convecção para o Mg. Para que esta transferência de calor se realize neste sentido é crucial que a temperatura do cadinho seja superior ao do Mg. Por conseguinte é estipulado para o cálculo que  $T_3$  corresponda à temperatura  $T_2 + 30$ . Desta forma para elevar uma massa de aço inox de 10,3 kg do cadinho de  $T_0$  a  $T_3$  e realizando um

procedimento de cálculo do  $C_p$  em relação com à temperatura entre  $T_0$  e  $T_3$  de acordo com (8) chega-se à

Tabela 24.

$$C_{p\ Inox} = 450 + 0,28 \times \text{°C} - 2,91 \times 10^{-4} \times \text{°C}^2 + 1,34 \times 10^{-7} \times \text{°C}^3 \quad (8)$$

Tabela 24 - Estimativa do calor específico para ligas de aço inox entre  $T_0$  e  $T_3$

T [K]	$C_p$ [J/(kg·K)]
293	455
580	512
866	542
1153	562

Por conseguinte pode-se estimar a energia necessária para elevar a temperatura do cadinho a uma temperatura superior ao de vazamento.

$$Q_{A3} = m \times C_p \times (T_3 - T_0) = 4,69E + 06 J$$

- Elevar a temperatura do pedestal;

O pedestal é o elemento que está em contacto com o cadinho. Para este elemento foi seleccionado o mesmo material que do cadinho, sendo a energia necessária para fazer elevar a temperatura  $T_0$  até  $T_3$  calculada através da mesma variação do  $C_p$  verificada na

Tabela 24 para uma massa de 1,5kg.

$$Q_{A4} = m \times C_p \times (T_3 - T_0) = 6,83E + 05 J$$

- Elevar temperatura do isolamento térmico lateral;

Como já referenciado nível do projecto de design do forno, optou-se por seleccionar dois componentes com a função de barreira térmica. Estes são concêntricos sendo que para o cálculo da estimativa da energia a fornecer se considerou como um item unitário.



Os materiais seleccionados têm um coeficiente de condução térmico (K) baixo, por forma minimizar as perdas de calor para o exterior. Devido a isto e ao contrário dos restantes componentes, os refractários apresentam uma elevada diferença térmica entre a superfície interior e a superfície exterior. Devido a isto é necessário uniformizar a temperatura, optando-se desta forma por calcular a temperatura média por (9).

$$T_m = \frac{T_4 + T_5}{2} = 862 \text{ K} \quad (9)$$

A temperatura  $T_4$  referente à temperatura superficial das resistências foi admitida como sendo de 1373K segundo (TEMPCO - Electric Heater Corporation, 2005) para resistências com comportamento *standard*.

A temperatura  $T_5$  foi estimada a partir da temperatura exterior do forno que por motivos de segurança tem de ser de aproximadamente 333K.

Determinado  $T_m$  é possível realizar a estimativa da energia absorvida pelo refractário. Esta estimativa é calculada através da soma das massas dos dois componentes, correspondendo esta a 20,496kg com um  $C_p$  de 1047J/(kg·K).

$$Q_{A5} = m \times C_p \times (T_m - T_0) = 1,22E + 07 \text{ J}$$

- Elevar temperatura da estrutura;

A estrutura (chapa lateral+inferior+tampa) é composta por vários componentes metálicos em liga de aço inox, sendo que o somatório das massas corresponde a 117 kg com uma variação do  $C_p$  segundo (8) representada na Tabela 25.

Tabela 25 - Estimativa do calor específico para ligas de aço inox entre  $T_0$  e  $T_6$

T [K]	$C_p$ [J/(kg·K)]
293	455
306	459
320	462
333	466

No que diz ao diferencial térmico, é atribuído o mesmo que para o refractário na alínea anterior desprezando-se desta forma a almofada de ar existente entre o refractário e a estrutura exterior.

$$Q_{A6} = m \times C_p \times (T_m - T_0) = 3,24E + 06 \text{ J}$$

Finda a análise energética para os vários componentes, na Tabela 26 é representado o balanço da energia absorvida pelo sistema.

Tabela 26 – Balanço da energia absorvida pelo sistema

Q <sub>A1</sub> [J] Energia para elevar Mg à T de Fusão	6,70E+05 J
Q <sub>L</sub> [J] Energia Latente de Fusão do Mg	3,10E+05 J
Q <sub>A2</sub> [J] Energia para elevar à Mg à T de Vazamento	2,48E+05 J
Q <sub>A3</sub> [J] Aquecimento cadinho	4,69E+06 J
Q <sub>A4</sub> [J] Aquecimento do Pedestal	6,83E+05 J
Q <sub>A5</sub> [J] Aquecimento do Isolamento Térmico	1,22E+07 J
Q <sub>A6</sub> [J] Aquecimento da Estrutura	3,24E+06 J

Por fim, pode-se calcular a energia total absorvida pelo sistema durante o seu arranque por (10).

$$q_{AT} = \frac{Q_{A1} + Q_L + Q_{A2} + Q_{A3} + Q_{A4} + Q_{A5} + Q_{A6}}{3600} \quad (10)$$

$$= 6,12E + 03 \text{ Wh}$$

### 3.4.1.2. Dissipação de energia

Para além da energia que é fornecida ao cadinho e restantes componentes constituintes do forno, é inevitável que não se verifique uma dissipação de energia para o exterior através dos fenómenos de transferência de calor, inicialmente por condução térmica e posterior convecção e radiação já na superfície exterior do forno em contacto com o ambiente.

Para realizar esta estimativa é necessário estimar as perdas térmicas das superfícies laterais, superior e inferior. Estas perdas serão associadas à radiação e convecção (superior).

- Dissipação lateral

Através de (11) pode-se calcular a transferência de calor associada à radiação. Para este cálculo são referenciados como parâmetros a área superficial exterior do equipamento ( $A$ ), o factor de dissipação superficial ( $F_{DS}$ ), emissividade do material ( $\varepsilon$ ) e por fim o tempo de processo ( $t_p$ ) que diz respeito à estimativa do tempo de operação média.

$$Q_D = A \times F_{DS} \times \varepsilon \times t_p \quad (11)$$

O  $F_{DS}$  é determinado através do Anexo L. Neste gráfico tendo como valores de entrada a temperatura superficial exterior da chapa lateral,  $T_6$  de 333K (140°F) e a curva de transferência de calor associada apenas à radiação, obtém-se um fluxo energético de aproximadamente  $155\text{W/m}^2$  ( $0,1\text{ W/in}^2$ ). A emissividade para a liga AISI 304 polida é de 0,17. O tempo de processo estipulado é de 1,5h e diz respeito ao espaço temporal a partir do qual a temperatura do forno uniformiza e o fluxo de dissipação energética é constante.

Lateralmente o forno tem uma área de  $0,90\text{m}^2$ , sendo que segundo (Watlow, 2003) a energia dissipada é a seguinte:

$$q_{DL} = A \times F_{DS} \times \varepsilon \times t_p = 36\text{Wh}$$

- Dissipação superior

A nível superior a análise da dissipação de calor é de grande importância, sendo que é nesta zona existem componentes sensíveis à temperatura como *o-ring's*. Estes são componentes que não podem atingir uma temperatura muito elevada, correndo o risco de se deteriorarem de forma anormal e consequentemente se verificar uma falta de estanquicidade. A área de permuta é de aproximadamente 0,50m<sup>2</sup>, e Para este cálculo adicionou-se um factor de correcção de 1,29 segundo (Watlow 2003)

$$q_{DS} = A \times F_{DS} \times \varepsilon \times t_p \times FC = 40 Wh$$

- Dissipação Inferior

O cálculo das perdas associadas à superfície inferior é em tudo semelhante ao ponto anterior, sendo que se a área desta superfície é de 0,40m<sup>2</sup> e o factor de correcção de 0,63 segundo (Watlow 2003).

$$q_{DI} = A \times F_{DS} \times \varepsilon \times t_p \times FC = 25 Wh$$

Findo a análise da energia dissipada através das várias superfícies em contacto com o ambiente exterior, pode-se calcular a energia total dissipada por (12)

$$q_{DT} = q_{DL} + q_{DS} + q_{DI} \tag{12}$$

Desta forma, somando as parcelas tem-se o seguinte valor.

$$q_{DT} = q_{DL} + q_{DS} + q_{DI} = 100 Wh$$

Como já referenciado, podem-se distinguir dois níveis de potências, arranque e operação.

### 3.2.1.3. Potência de arranque e operação

A potência de arranque é a que se desenvolve primeiro sendo responsável pelo aquecimento do material a vaziar e sistemas envolventes.

A potência de operação é responsável pela manutenção térmica do metal e sistemas envolventes variando de forma a conservar a temperatura ideal para vazamento.

Estes dois níveis distintos têm uma diferença de valores nominais, devendo-se isto às inércias térmicas do material a vaziar, assim como todo o conjunto de materiais do sistema envolvente (cadinho, refractários, estrutura). A partir deste instante não é necessário uma radiação tão intensiva por parte das resistências, diminuindo-se a intensidade de corrente e por seguinte a potência como atrás referido.

Desta forma o importante é estimar a potência de arranque (mais elevada), sendo que a potencia de operação deve ser obtida através das condições de serviço no terreno (através da experimentação)

A potência de arranque ( $P_A$ ) é calculada segundo a (13) onde o valor 2/3 se apresenta como um factor de aproximação ao valor real.

$$P_A = \left[ \frac{q_{AT}}{t_A} + \frac{2}{3} \times q_{DT} \right] \times (1 + F.S.) \quad (13)$$

Para estes cálculos é utilizado um factor de segurança de 20%, devendo-se a aplicação deste valor à necessidade de se assumirem algumas varáveis desconhecidas.

Por conseguinte, tendo em conta os parâmetros calculados nas alíneas anteriores a potência de arranque necessária ao equipamento forno de baixa pressão para vazamento de Mg é a seguinte:

$$P_A = \left[ \frac{q_{AT}}{t_A} + \frac{2}{3} \times Q_{DT} \right] \times (1 + F.S.) = 3754 W$$

### 3.4.2. Análise térmica

A massa refractária tem a função resistência térmica sendo que é imprescindível a utilização deste tipo de material em fornos de fundição.

Neste capítulo é representada a orientação para a selecção da espessura de refractário a adquirir.

Para o cálculo desta espessura teve-se que em primeiro lugar que definir o tipo de mecanismo térmico mais preponderante para esta análise. Desta reflexão definiu-se a condução transiente como a principal responsável pelas perdas térmicas.

Para o cálculo foi necessário simplificar a massa de refractário, considerando apenas um corpo, em vez de dois como desenvolvido para o equipamento, por forma a ser possível o seu tratamento computacional. No entanto as características térmicas do material (alumina-sílica) especificado no capítulo de selecção de materiais e dimensões gerais se mantiveram. Na Figura 78 é representada a massa de refractário. Como se pode visualizar este corpo foi redesenhado, por forma a criar uma malha computacional simples.



Figura 78 – Representação em corte da massa de refractário simplificado

Neste teste definiu-se todas as faces internas com 1173K para um tempo físico de 3600s. Esta é uma temperatura inferior aos 1373K definidas pelo fornecedor para as resistências, sendo que este diferencial de 200K é aceitável.

Como resultado deste estudo apresenta-se a Figura 79 como uma representação do fluxo térmico ao longo da espessura d refractário.

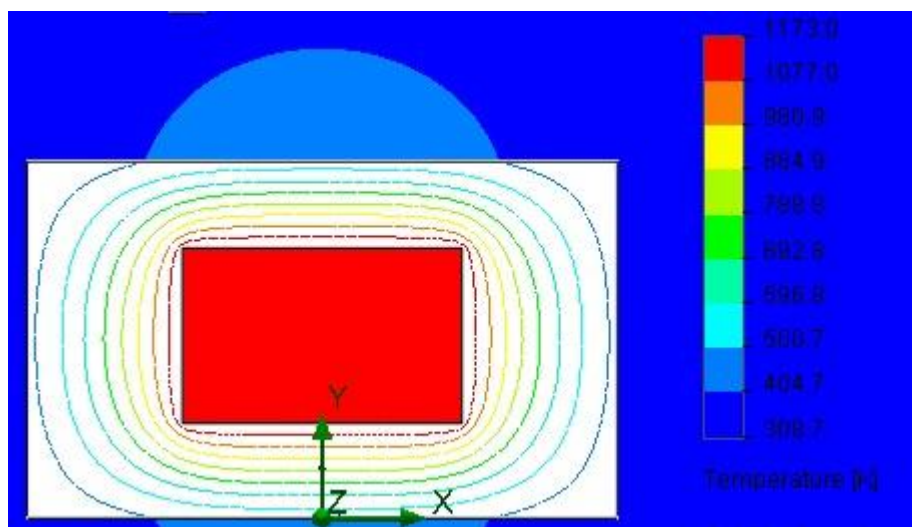


Figura 79 – Representação da propagação térmica ao longo da massa térmica (*Flow Simulation 2011*)

Nas Figura 80 e Figura 81 são representadas as evoluções das temperaturas superficiais máximas nas duas faces. Estas faces foram seleccionadas como resultados da sua criticidade para o equipamento.

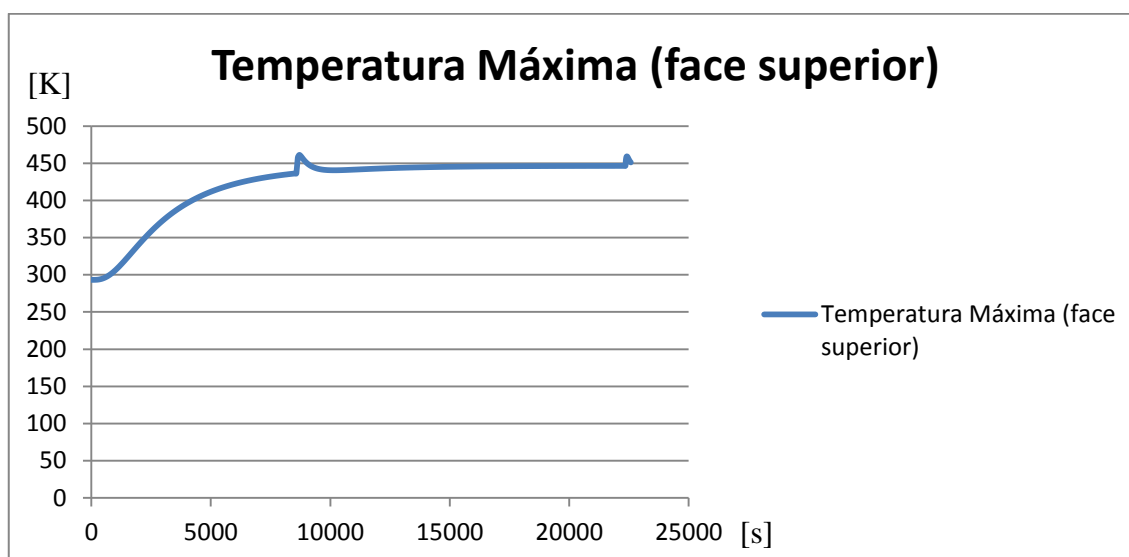


Figura 80 – Evolução térmica na superfície superior

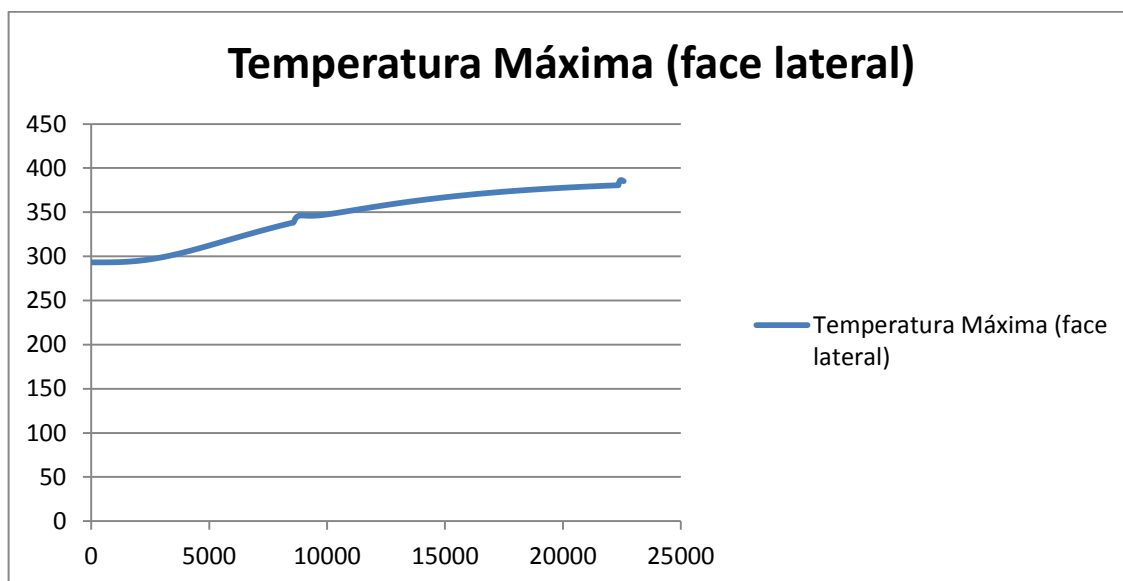


Figura 81 - Evolução térmica na superfície lateral

No Anexo M são referenciadas as opções computacionais que definiram os resultados apresentados. Como conclusão da análise térmica, pode-se concluir que a espessura de refractário permite operar o equipamento em segurança, mantendo as suas temperaturas superficiais não perigosas aos operadores.





## 4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Tendo aceitado o desafio de desenvolvimento de um projecto de forno de baixa pressão para ligas de Mg e Al, apresenta-se neste relatório técnico uma proposta de equipamento que responde a todos os requisitos específicos com soluções mecânicas simples.

É importante no entanto realçar que os objectivos estabelecidos inicialmente para o projecto foram alterados. Para além do desenvolvimento da etapa de projecto, estava delineada também a construção do equipamento, sendo que esta foi adiada devido à falta de fundos económicos por parte do DEM. No entanto é possível afirmar que neste relatório técnico se encontra a informação necessária para a construção do equipamento e iniciação dos testes.

As várias soluções foram desenvolvidas segundo critérios específicos, sendo que dos mais preponderantes será a de selecção de materiais que deverá ser respeitada aquando da construção do equipamento.

Devido à potencialidade de ocorrência de combustão de ligas de Mg durante a fundição, elevou-se o nível de segurança. Isto passa por implementar um sistema de insuflação de gases e realização de vácuo no próprio equipamento de fundição e câmara de vazamento. Como forma de minimizar os gastos eléctricos e ao mesmo tempo potenciar a segurança no interior do forno, a realização de vácuo nesta câmara demonstra-se como importante. No entanto, a realização de vácuo, insuflação de gases inertes e de protecção na câmara de vazamento, deverá ser alvo de estudo empírico, por forma verificar o nível de segurança. A alienação de qualquer um destes sistemas irá permitir um funcionamento do equipamento mais simplificado e de maiores cadências e económico.



## 5 Bibliografia

Aartad, K. (2004). *Protective Films on Molten Magnesium*. Norwegian University of Science and Technology, Department of Materials Technology.

Ácido fluorídrico. (n.d.). Retrieved Fevereiro 5, 2011, from Wikipédia: [http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido\\_fluor%C3%ADdrico](http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_fluor%C3%ADdrico)

Alloy Wire International Ltd. (2008). Resistance Wire.

Alloy Wire International Ltd. (n.d.). *Inconel 600\* Especificação*. Retrieved Fevereiro 22, 2011, from [http://www.alloywire.com/portuguese/inconel\\_alloy\\_600.html](http://www.alloywire.com/portuguese/inconel_alloy_600.html)

ASM Handbook. (1995). *Machining* (Vol. 16). Metals Handbook.

ASTM B666/B666M - 08. (2008). *Standard Practice for Identification Marking of Aluminum and Magnesium Products*.

ASTM International. (2007, Junho 1). ASTM B92/B92M: Standard Specification for Unalloyed Magnesium Ingot and Stick For Remelting. EUA.

Avedesian, M. (1999). *Magnesium and Magnesium Alloys*. ASM Specialty Handbook.

Canadian Thermix Inc. (2011, Abril 18). *Troubleshooting manual Installation, Care and use of crucibles*. Retrieved from [www.canadianthermix.com/crucibles\\_manual\\_09.pdf](http://www.canadianthermix.com/crucibles_manual_09.pdf)

Cashion, S. (1998). *The use of sulphur hexafluoride (SF6) for protecting molten magnesium*. The University of Queensland.

DIN 3771. (n.d.). *O-Rings International Sizing*.

- Douthett, J. (1993). Forming of Stainless Steel. In L. Semiatin, *ASM Handbook* (Vol. 14, p. 1651). ASM International.
- EKatherm. (2007, 09 14). Tubos para Fundição em Baixa Pressão.
- Engineering.com Library. (n.d.). *O-rings*. Retrieved 10 10, 2011, from <http://www.engineering.com/Library/ArticlesPage/tabid/85/articleType/ArticleView/articleId/132/O-rings.aspx>
- EPA, I. C. (2006). Alternatives to SF<sub>6</sub> for Magnesium Melt Protection.
- Eriks. (2004, 07 07). Technical documentation o-rings.
- Ferreira, J. (1999). *Tecnologia da fundição*. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Fruehling, J. W. (1970). *Protection Atmospheres for Molten Magnesium*. University of Michigan.
- Fu, P. L. (2006, Março 6). Low-pressure die casting of magnesium alloy AM50: Response to process parameters.
- Hegbom, T. (1997). *Integrating Electrical Heating Elements in Appliance Design*. Marcel Dekker, Inc.
- International Magnesium Association. (n.d.). *Magnesium Resources*. Retrieved 05 10, 2011, from Industry Statics: <http://www.intlmag.org/index.cfm>
- International Stainless Steel Forum (ISSF). (2009). A solução ferrítica, propriedades, vantagens e aplicações.

- Japan Magnesium Association. (2006). *SF6 reduction, Alternatives and Process improvement in the Japan Mg Industry*. 4ThInternational Conference on SF6 and the Environment.
- Kainer, K. (2003). *Magnesium, Proceedings of the 6th International Conference Magnesium Alloys and Their Applications*. Wiley-VCH.
- Karger, A. (2006). *Umwelt- und werkstoffgerechte Schutzsysteme für Magnesiumschmelzen*. Leibniz Universität Hannover Institut.
- Kubaschewski, O. e. (1953). *Oxidation of Metals and Alloys*. Butterworths Scientific Publications.
- Lockwood, F. (1984). *Encyclopedia of chemical technology, Volume 14, Magnesium and Magnesium alloys*. Wiley-Blackwell.
- Milbrath, D. (2004). 3M™Novec™ 612 Magnesium Protection Fluid.
- Mordike, B. e. (2001). *Magnesium, Properties - Applications - Potential*. Materials Science and Engineering.
- Mordike, L. e. (2000). *Magnesium Alloys and Their Properties*. Wiley-VCH.
- Morgo Magnesium Limited. (n.d.). *Production & mining*. Retrieved Maio 13, 2011, from [www.magnesiumsquare.com](http://www.magnesiumsquare.com)
- Noltina. (n.d.). *Produktkatalog Product catalogue*. Retrieved Fevereiro 28, 2011, from [http://www.intermetal.si/nolti\\_katalog\\_09.pdf](http://www.intermetal.si/nolti_katalog_09.pdf)
- Nor-Cal Products. (2011, 03 03). *Chambers & Weldmenments - Guide to Vacuum Chamber Design*, section 6.1.

- Norton, F. (1961). Transactions of the Eighth National Vacuum Symposium of the American Vacuum Society. (p. 8). Pergamon Press, Ltd.
- O'Hanlon, J. (2003). *A User's Guide to Vacuum Technology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Parker Hannifin Corporation. (n.d.). *Parker O-Ring Handbook*. Retrieved Maio 26, 2011, from [http://www.parker.com/literature/ORD%205700%20Parker\\_O-Ring\\_Handbook.pdf](http://www.parker.com/literature/ORD%205700%20Parker_O-Ring_Handbook.pdf)
- Reimers, H. (1934). *Method for inhibiting the oxidation of readily oxidizable metals US Patent 1,972,317*.
- Roth, A. (1966). *Vacuum Sealing Techniques*. Pergamon Press Ltd.
- Roth, A. (1990). *Vacuum technology*. Elsevier Science B. V.
- Schoonover, Inc. (n.d.). *Vacuum Furnaces*. Retrieved Março 15, 2011, from <http://www.schoonoverinc.com>
- Schwarz, W. e. (2008). *Treibhausgase zu den Themen Qualifikation und Zertifizierung von Unternehmen und Personal (Kälte- Klimabranche) und Verwendung von Schwefelhexafluorid in der NEMetallindustrie*. Publikationen des Umweltbundesamts.
- Schwarz, W. e. (2009). *Service contract to assess the feasibility of options to reduce emissions of SF6 from the EU non-ferrous metal industry and analyse their potential impacts*. Prepared for European Commission, DG Environment.
- Silva, A. R. (2004). *Desenho técnico moderno*. LIDEL - Edições técnicas, Lda.
- Simandl, G. S. (2007). *Magnesium - Raw Materials, Metal Extraction and Economics - Global Picture*. C.J. Andrew.

- Tavakoli, M. W. (2007). *Influence of the crucible bottom shape on the heat transport and fluid flow during the seeding process of oxide Czochralski crystal growth*. Retrieved Abril 13, 2011, from Wiley online library: [www.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/crat.200711014/pdf](http://www.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/crat.200711014/pdf)
- Tecnologia Mecânica, V. (1977). *Vicente Chiaverini*. McGraw-Hill Ltda.
- TEMPCO - Electric Heater Corporation. (2005). Ceramic Fiber Heaters.
- Tranell, G. S. (2007). Alternatives to SF<sub>6</sub>/SO<sub>2</sub> for magnesium melt protection – final report of the IMA-SINTEF.
- Watlow. (2003). Application Guide.
- Weissle, G. L. (1979). *Vacuum Physics and Technology*. London: Academic Press, Inc. Ltd.
- Xiong, S. e. (2009). *Protection behavior of fluorine-containing cover gases on molten magnesium alloys*. Beijing: Tsinghua University.
- ZIRCAR Ceramics, Inc. (n.d.). *Alumina-Silica Insulation Type AXL & AXHTM*. Retrieved Abril 13, 2011, from <http://www.zircarceramics.com/pages/rigidmaterials/specs/axl.htm>





## **6. ANEXOS**

**Anexo A – Letras de designação dos elementos de liga com maior quantidade percentual e sufixos de tratamento térmico para as ligas de magnésio (Avedesian, 1999)**

**Letras de designação dos elementos de liga com maior quantidade percentual**

<b>Letras de referência</b>	<b>Designação</b>
A	Alumínio
B	Bismuto
C	Cobre
D	Cádmio
E	Terras raras
F	Ferro
G	Magnésio
H	Tório
K	Zircónio
L	Lítio
M	Manganês
N	Níquel
P	Chumbo
Q	Prata
R	Crómio
S	Silício
T	Estanho
W	Ítrio
Z	Zinco

**Sufixo de tratamento térmico para as ligas de magnésio**

Sufixo		Tratamento térmico
F		Sem tratamento
O		Recozido
H	H1	Encruamento
	H2	Encruamento e recozimento parcial
	H3	Encruamento e estabilização
T4		Tratamento térmico de solubilização
T5		Tratamento Térmico de precipitação
T6		Tratamento Térmico de solubilização seguido de uma precipitação
T7		Tratamento Térmico de solubilização seguido de estabilização
T8		Tratamento Térmico de solubilização, a frio e precipitação artificial
T9		Tratamento Térmico de solubilização e trabalhado a frio
T10		Arrefecimento, precipitação artificial e trabalhado a frio

**Anexo B – Características das ligas de Magnésio (Avedesian, 1999)**

**Fundição em moldações permanentes e areia**

<b>Liga</b>	<b>Características</b>
AM100A-T61	Resistente à pressão, boa combinação de resistência mecânica e alongamento
AZ63A-T6	Boa resistência mecânica à temperatura ambiente, ductilidade e tenacidade.
AZ81A-T4	Boa fundibilidade, durabilidade, resistente à pressão.
AZ91C e E-T6	Liga de propósito geral, resistência mecânica moderada.
AZ92A-T6	Resistência à pressão, boa resistência mecânica.
EQ21A-T6	Resistência à pressão, Excelentes propriedades mecânicas para temperaturas elevadas durante um curto espaço de tempo.
EZ33A-T5	Boa fundibilidade e capacidade de amortecimento, resistência à pressão, resistência à deformação até 245°C.
HK31A-T6 <sup>(a)</sup>	Boa fundibilidade e resistência à pressão, resistência à deformação até 350°C.
HZ32A-T5 <sup>(a)</sup>	Boa fundibilidade, resistência à pressão, resistência à deformação equivalente ou melhor que a HK31A-T6 até 260°C.
K1A-F	Boa capacidade de amortecimento
QE22A-T6	Boa fundibilidade, resistência à pressão, elevada resistência à cedência até 200°C.
QH21A-T6 <sup>(a)</sup>	Boa fundibilidade, resistência à pressão, resistência à deformação e elevada resistência à cedência até 250°C.
WE43A-T6	Elevada resistência desde a temperatura ambiente até 290°C, boa resistência à corrosão.
WE54A-T6	Equivalente à WE43A-T6 mas perde ductilidade quando exposta a temperaturas superiores a 150°C.

**Fundição em moldações permanentes e areia (Continuação)**

<b>Liga</b>	<b>Características</b>
ZC63A-T6	Resistência à pressão, Mais resistente e mais apta para a fundição que a liga AZ91C.
ZE41A-T5	Resistência à pressão, resistência mecânica moderada a temperaturas elevadas, fundibilidade superior que a liga ZK51A.
ZE63A-T6	Especialmente aplicada para paredes finas resistentes, livre de porosidades.
ZH62A-T5 <sup>(a)</sup>	Elevada resistência à cedência à temperatura ambiente.
ZK51A-T5	Boa resistência mecânica e ductilidade à temperatura ambiente.
ZK61A-T5	Equivalente à liga ZK51A-T5 mas com resistência à cedência superior.
ZK61A-T6	Equivalente à liga ZK61A-T5 mas com resistência à cedência superior.

(a) Liga obsoleta, não facilmente disponível.

**Fundição por injecção**

<b>Liga</b>	<b>Características</b>
AE42-F	Boa resistência mecânica, boa resistência à deformação até temperaturas de 150°C.
AM20-F	Elevada ductilidade e resistência ao impacto.
AM50A·F	Excelente ductilidade e propriedades de absorção de energia.
AM60A e B-F <sup>(b)</sup>	Equivalente à liga AM50A-F mas com resistência mecânica ligeiramente superior.
AS21-F	Equivalente à liga AE42-F.
AS41A-F <sup>(c)</sup>	Equivalente à liga AS21-F mas com menor ductilidade e resistência à deformação, no entanto tem resistência mecânica e fundibilidade superior.
AZ91A, B e D-F <sup>(d)</sup>	Excelente fundibilidade e boa resistência mecânica.

(b) Propriedades de A e B são idênticas, mas a liga AM60B de fundição tem valores máximos de contaminação de ferro 0,005%, de níquel 0,002% e cobre 0,01%.

(c) Propriedades de A e XB são idênticas mas AS41B de fundição tem valores máximos de contaminação de ferro 0,0035%, de níquel 0,002% e cobre 0,02%.

(d) Propriedades de A, B e D são idênticas, excepto que é espectável que exista uma contaminação residual máxima de cobre de 0,3% na liga AZ91B, e a liga AZ91D de fundição tem valores máximos de contaminação de ferro 0,005%, de níquel 0,002% e cobre 0,03%.

**Forjamento**

<b>Liga</b>	<b>Características</b>
AZ31B-F	Boa forjabilidade, resistência mecânica média, pode ser forjada através do martelo de forja, liga raramente utilizada.
AZ61A-F	Resistência mecânica superior que a liga AZ31B-F.
AZ80A-T5	Resistência mecânica superior que a liga AZ61A-F.
AZ80A-T6	Melhor resistência à deformação que a liga AZ80A-T5.
M1A-F	Boa resistência à corrosão, resistência mecânica entre baixa e média, pode ser forjada através do martelo de forja, liga raramente utilizada.
ZK31-T5	Elevada resistência mecânica, soldabilidade média.
ZK60A-T5	Resistência mecânica similar à liga AZ80A-T5 mas com ductilidade superior.
ZK61-T5	Equivalente à liga AZ60A-T5.
ZM21-F	Boa forjabilidade, resistência mecânica média, boa capacidade de amortecimento.



**Extrusão**

<b>Liga</b>	<b>Características</b>
AZ10A-F	Baixo custo, resistência mecânica média.
AZ31B e C-F	Resistência mecânica média.
AZ61A-F	Custo médio, boa resistência mecânica.
AZ80A-T5	Resistência mecânica superior que a liga AZ61A-F
M1A-F	Resistência mecânica variável de baixa a média, boa resistência à corrosão e capacidade de amortecimento.
ZC71-T6	Custo médio, boa resistência mecânica e ductilidade.
ZK21A-F	Resistência mecânica moderada e boa soldabilidade.
ZK31-T5	Resistência mecânica elevada e soldabilidade moderada.
ZK40A-TS	Elevada resistência mecânica, maior apetência para a extrusão que a liga ZK60A, não tem apetência para a solda.
ZK60A-T5	Elevada resistência mecânica, não tem apetência para a soldabilidade.
ZM21-F	Boa formabilidade e capacidade de amortecimento, resistência mecânica moderada.

**Folhas de magnésio (chapa)**

<b>Liga</b>	<b>Características</b>
AZ31B-H24	Resistência mecânica moderada.
ZM21-0	Boa formabilidade e capacidade de amortecimento.
ZM21-H24	Resistência mecânica moderada.

### Anexo C – Composição nominal química, propriedades mecânicas e físicas das ligas de Mg à temperatura ambiente (Avedesian, 1999)

#### Composição nominal química e propriedades mecânicas das ligas de fundição em moldações permanentes e areia

Liga	Composição							Resistência à tração		Tensão limite à cedência				Alongamento em 50mm (2in.), %		Tensão de corte		Dureza, HR <sup>(c)</sup>
	Al	Mn <sup>(a)</sup>	Tb	Zn	Zr	Outros <sup>(b)</sup>	MPa	ksi	Tensão		Compressão		Carga	MPa	ksi	MPa	ksi	
									MPa	ksi	MPa	ksi						
AM100A-T61	10,0	0,10	...	...	...	...	275	40	150	22	150	22	...	...	...	...	...	69
AZ63A-T6	6,0	0,15	...	3,0	...	...	275	40	130	19	130	19	360	52	145	21	73	
AZ81A-T4	7,6	0,13	...	0,7	...	...	275	40	83	12	83	12	305	44	125	18	55	
AZ91C e E-T6 <sup>(d)</sup>	8,7	0,13	...	0,7	...	...	275	40	145	21	145	21	360	52	145	21	66	
AZ92A-T6	9,0	0,10	...	2,0	...	...	275	40	150	22	150	22	450	65	150	22	84	
EQ21A-T6	...	...	...	...	0,7	1,5 Ag; 2,1 Di	235	34	195	28	195	28	...	...	...	...	65-85	
EZ33A-T5	...	...	...	2,7	0,6	3,3 RE	160	23	110	16	110	16	275	40	145	21	50	
HK31A-T6	...	...	3,3	...	0,7	...	220	32	105	15	105	15	275	40	145	21	55	
HZ32A-T5	...	...	3,3	2,1	0,7	...	185	27	90	13	90	13	255	37	140	20	57	
K1A-F	...	...	...	...	0,7	...	180	26	55	8	...	...	125	18	55	8	...	
QE22A-T6	...	...	...	...	0,7	2,5 Ag; 2,1 Di	260	38	195	28	195	28	...	...	...	...	80	

(a) Mínimo; (b) RE, terras raras; Di, didímio (uma mistura de terras raras, essencialmente neodímio e praseodímio); (c) Carga de 500kg, esfera de 10mm diâmetro.

(d) Propriedades de C e D são idênticas, mas a liga AZ91E de fundição tem 0,17% Mn e um máximo de elementos contaminadores de 0,005% Fe, 0,0010% Ni, e 0,015% Cu

**Composição nominal química e propriedades mecânicas para as ligas de fundição em moldações permanentes e areia (Continuação)**

Liga	Composição					Resistência à tração		Tensão limite à cedência				Alongamento em 50mm (2in.), %		Tensão de corte		Dureza, HR <sup>(c)</sup>	
	Al	Mn <sup>(a)</sup>	Tb	Zn	Zr	Outros <sup>(b)</sup>	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa		ksi
QH21A-T6	...	...	1	...	0,7	2,5 Ag; 1,0 Di	275	40	205	30	...	...	...	...	...	...	...
WE43A-T6	...	...	...	...	0,7	4,0 Y; 3,4 RE	250	36	165	24	...	...	...	...	...	...	75-95
WE54A-T6	...	...	...	...	0,7	5,2 Y; 3,0 RE	250	36	172	25	172	25	...	...	...	...	75-95
ZC63A-T6	...	0,25	...	6,0	...	2,7 Cu	210	30	125	18	...	...	...	...	...	...	55-65
ZE41A-T5	...	...	...	4,2	0,7	1,2 RE	205	30	140	20	140	20	350	51	160	23	62
ZE63A-T6	...	...	...	5,8	0,7	2,6 RE	300	44	190	28	195	28	...	...	...	...	60-85
ZH62A-T5	...	...	1,8	5,7	0,7	...	240	35	170	25	170	25	340	49	165	24	70
ZK51A-T5	...	...	...	4,6	0,7	...	205	30	165	24	165	24	325	47	160	23	65
ZK61A-T5	...	...	...	6,0	0,7	...	310	45	185	27	185	27	...	...	170	25	68
ZK61A-T6	...	...	...	6,0	0,7	...	310	45	195	28	195	28	...	...	180	26	70

(a) Mínimo

(b) RE, terras raras; Di, didímio (uma mistura de terras raras, essencialmente neodímio e praseodímio)

(c) Carga de 500kg, esfera de 10mm diâmetro

### Composição nominal química e propriedades mecânicas para as ligas de fundição por injeção

Liga	Composição						Resistência à tração		Tensão limite à cedência				Alongamento em 50mm (2in.), %		Tensão de corte		Dureza, HR <sup>(c)</sup>
	Al	Mn <sup>(a)</sup>	Tb	Zn	Zr	Outros <sup>(b)</sup>	MPa	ksi	Tensão		Compressão		MPa	ksi	MPa	ksi	
									MPa	ksi	MPa	ksi					
AE42-F	4,0	0,1	...	...	...	2,5 RE	230	34	145	21	145	21	...	...	...	...	60
AM20-F	2,1	0,1	...	...	...	...	210	31	90	13	90	13	...	...	...	...	45
AM50A-F	4,9	0,26	...	...	...	...	230	33	125	18	125	18	...	...	...	...	60
AM60A e B-F <sup>(e)</sup>	6,0	0,13	...	...	...	...	240	35	130	19	130	19	...	...	...	...	65
AS21-F	2,2	0,1	...	...	...	1,0 Si	220	32	120	17	120	17	...	...	...	...	55
AS41A-F <sup>(f)</sup>	4,2	0,20	...	...	...	1,0 Si	240	35	140	20	140	20	...	...	...	...	60
AZ91A, B e D-F <sup>(g)</sup>	9,0	0,13	...	0,7	...	...	250	36	160	23	160	23	...	...	140	20	70

(a) Mínimo

(b) RE, terras raras; Di, didímio (uma mistura de terras raras, essencialmente neodímio e praseodímio)

(c) Carga de 500kg, esfera de 10mm diâmetro

(e) Propriedades de A e B são idênticas, mas a liga AM60B de fundição tem um máximo de elementos contaminadores de 0,005% Fe, 0,002% Ni, e 0,010% Cu

(f) Propriedades de A e XB são idênticas, mas a liga AS41B de fundição tem um máximo de elementos contaminadores de 0,0035% Fe, 0,002% Ni, e 0,002% Cu

(g) Propriedades de A, B e D são idênticas, excepto que a liga AZ91B tem Cu numa quantidade residual máxima de 0,30% e a liga AZ91D de fundição tem um máximo de elementos contaminadores de 0,005% Fe, 0,002% Ni, e 0,030% Cu

**Composição nominal química e propriedades mecânicas para as ligas de forjamento**

Liga	Composição						Resistência à tração		Tensão limite à cedência				Alongamento em 50mm (2in.), %		Tensão de corte		Dureza, HR <sup>(c)</sup>
	Al	Mn <sup>(a)</sup>	Tb	Zn	Zr	Outros <sup>(b)</sup>	MPa	ksi	Tensão		Compressão		MPa	ksi	MPa	ksi	
									MPa	ksi	MPa	ksi					
AZ31B-F	3,0	0,20	...	1,0	...	...	260	38	170	25	...	...	...	130	19	50	
AZ61A-F	6,6	0,15	...	1,0	...	...	295	43	150	26	125	18	...	145	21	55	
AZ80A-T5	8,5	0,12	...	0,5	...	...	345	50	250	36	195	28	...	160	23	72	
AZ80A-T6	8,5	0,12	...	0,5	...	...	345	50	250	36	170	25	...	172	25	75	
M1A-F	...	1,2	...	...	...	...	250	36	160	23	...	...	...	110	16	47	
ZK31-T5	...	...	...	3,0	0,6	...	290	42	210	30	...	...	...	...	...	...	
ZK60A-T5	...	...	...	5,5	0,45 <sup>(a)</sup>	...	305	44	215	31	160	23	285	165	24	65	
ZK61-T5	...	...	...	6	0,8	...	275	40	160	32	...	...	...	...	...	...	
ZM21-F	...	0,5	...	2,0	...	...	200	29	125	18	...	...	...	...	...	...	

(a) Mínimo

(b) RE, terras raras; Di, didímio (uma mistura de terras raras, essencialmente neodímio e praseodímio)

(c) Carga de 500kg, esfera de 10mm diâmetro

**Composição nominal química e propriedades mecânicas para as ligas de extrusão**

Liga	Composição						Resistência à tracção		Tensão limite à cedência						Alongamento em 50mm (2in.), %		Tensão de corte		Dureza, HR <sup>(c)</sup>
	Al	Mn <sup>(a)</sup>	Tb	Zn	Zr	Outros <sup>(b)</sup>	MPa	ksi	Tensão		Compressão		Carga		MPa	ksi	MPa	ksi	
									MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi					
AZ10A-F	1,2	0,2	...	0,4	...	...	240	35	145	21	69	10	...	...	...	10	...	...	...
AZ31B e C-F	3,0	0,20	...	1,0	...	...	255	37	200	29	97	14	230	33	12	130	19	49	...
AZ61A-F	6,5	0,15	...	1,0	...	...	305	44	205	30	130	19	285	41	16	140	20	60	...
AZ80A-T5	8,5	0,12	...	0,5	...	...	380	55	275	40	240	35	...	...	7	165	24	80	...
M1A-F	...	1,2	...	...	...	...	255	37	180	26	83	12	195	28	12	125	18	44	...
ZC71-T6	...	0,5	...	6,5	...	1,25 Cu	295	43	324	47	...	...	...	...	3	...	...	70-80	...
ZK21A-F	...	...	...	2,3	0,45 <sup>(h)</sup>	...	260	38	195	28	135	20	...	...	4	...	...	...	...
ZK31-T5	...	...	...	3,0	0,6	...	295	43	210	30	...	...	...	...	7	...	...	...	...
ZK40A-TS	...	...	...	4,0	0,45 <sup>(h)</sup>	...	275	40	255	37	140	20	...	...	4	...	...	...	...
ZK60A-T5	...	...	...	5,5	0,45 <sup>(h)</sup>	...	350	51	285	41	250	36	405	59	11	180	26	82	...
ZM21-F	...	0,5	...	2,0	...	...	235	34	155	22	...	...	...	...	8	...	...	...	...

(a) Mínimo

(b) RE, terras raras; Di, didímio (uma mistura de terras raras, essencialmente neodímio e praseodímio)

(c) Carga de 500kg, esfera de 10mm diâmetro

(h) Propriedades de B e C são idênticas, mas a liga AZ31C tem um mínimo de 0,15% Mn, e um máximo de 0,1% Cu e 0,03% Ni

**Composição nominal química e propriedades mecânicas para as ligas de folhas de magnésio (chapa)**

Liga	Composição					Resistência à tração		Tensão limite à cedência				Alongamento em 50mm (2in.), %	Tensão de corte		Dureza, HR <sup>(c)</sup>		
	Al	Mn <sup>(a)</sup>	Tb	Zn	Zr	Outros <sup>(b)</sup>	MPa	ksi	Tensão	Compressão	Carga		MPa	ksi			
AZ31B-H24	3,0	0,20	...	1,0	...	...	290	42	220	32	150	26	325	47	160	23	73
ZM21-0	...	0,5	...	2,0	...	...	240	35	120	17	...	...	...	...	...	...	...
ZM21-H24	...	0,5	...	2,0	...	...	250	36	165	24	...	...	...	...	...	...	...

(a) Mínimo

(b) RE, terras raras; Di, didímio (uma mistura de terras raras, essencialmente neodímio e praseodímio)

(c) Carga de 500kg, esfera de 10mm diâmetro

## Características físicas das ligas de Magnésio

Ligas	Características Físicas <sup>(a)</sup>										
	$\delta$	T <sub>L</sub>	T <sub>s</sub>	TIF	TI	$\alpha$	C	L <sub>f</sub>	k	r	
AM50A	1,77	620	435			26	1,02	370	65	130	
AM60A, AM60B	1,8	615	565	435		26	1,0	370	61		
AM100A	1,81	595	465	427		25					
AS1A, AS41B	1,776	620	570			2,61	1,01	413	68		
AZ63A	1,82	610	455	360	559	27,2	1,05	373	59,2	122	
AZ81A	1,80	602	472	421	543	27,2			51,1	128	
AZ91A, AZ91B, AZ91C, AZ91D, AZ91E	1,81	598	468	420	532	27,2	0,8	373			
AZ92A	1,83	595	445	400	532	27,2	1,05	373	52,2	140	
EQ21A	1,81	640	540	26,7		26,7	1	374	113	68,5	
EZ33A	1,80	640	545	26,8		26,8	1,04	373	99,5	70	

(a) Consultar lista de siglas e abreviaturas



## Características físicas das ligas de Magnésio (continuação)

Ligas	Características Físicas <sup>(a)</sup>										
	$\delta$	T <sub>L</sub>	T <sub>s</sub>	TIF	TI	$\alpha$	C	L <sub>f</sub>	k	r	
K1A	1,74	650	650			27		360	122	56	
QE22A	1,82	640	535			26,7	1	373	113		
WE43A	1,84	640	550				0,966		51,3	148	
WE54A	1,85	640	550						52	173	
ZC63A	1,87	635	465			27	0,960		122	54	
ZE41A	1,84	640	530						123,1	56	
ZE63A	1,87	635	510			27,1	0,96		109	56	
ZK51A	1,83	640	550	550	552	27,1	1,02	318	110	62	
ZK61A	1,83	635	520			27					

(a) Consultar lista de siglas e abreviaturas

## Anexo D – Aplicações gerais e características de fabricação de ligas de magnésio de fundição (Avedesian, 1999)

### Aplicações gerais

Liga	Aplicações (utilizações típicas)
AM50A	Liga para fundição de jantes e outros componentes automóvel que requeiram boa ductilidade e resistência combinada com uma resistência à cedência e tracção moderadas.
AM60A, AM60B	Liga para fundição para jantes e outros componentes automóvel que requeiram boa ductilidade e resistência combinada com uma resistência à cedência e tracção moderadas. AM60A é utilizada apenas para ambientes não-salinos. Ambas as ligas AM60A e AM60B têm uma ductilidade e tenacidade superior que a AZ91 mas resistência ligeiramente menor.
AM100A	Esta é uma liga utilizada em moldes de areia e permanentes sob pressão para fins comerciais e militares que já não é largamente empregada. Aplicada em estruturas com boa combinação de resistência à cedência, tracção e alongamento.
AS1A, AS41B	Componentes estruturais para automóveis obtidas por processos de injeção para temperaturas de serviço até 175°C. Tem uma resistência à fluência superior que as ligas AZ91A , AZ91B, AZ91D e AM60A até 175°C. Tem boa resistência à cedência e tracção e alongamento. A liga AS41B apresenta-se com uma resistência a ambientes salinos excelente.
AZ63A	Esta é uma liga utilizada em moldes de areia e permanentes sob pressão para fins comerciais e militares aplicada em estruturas de componentes que requeiram boa resistência, ductilidade e tenacidade. Esta liga tem sido largamente substituída pela AZ91.
AZ81A	Esta é uma liga utilizada em moldes de areia e permanentes sob pressão para fins comerciais e militares que requeiram boa resistência e excelente ductilidade e tenacidade.

**Aplicações gerais (continuação)**

<b>Liga</b>	<b>Aplicações (utilizações típicas)</b>
AZ91A, AZ91B, AZ91C, AZ91D, AZ91E	As ligas AZ91A, AZ91B e AZ91D que têm a mesma composição nominal excepto para o ferro, cobre e níquel, são ligas para fundição por molde permanente. A liga AZ91D é uma liga de alta pureza com excelente resistência a ambientes salinos, sendo a liga de magnésio mais aplicada para aplicações de fundição de injeção para moldes permanentes. As ligas AZ91A e AZ91B podem ser feitas de metais secundários, reduzindo o custo da liga. Estas tendem a ser utilizadas para aplicações onde não é necessária uma resistência à corrosão máxima. A AZ91E é uma liga de alta pureza com excelentes propriedades de resistência à corrosão utilizada em moldes de areia e moldes permanentes com elevada resistência à tracção e uma resistência à cedência moderada. AZ91C é utilizada em moldes de areia e permanente quando não é requerida uma resistência à corrosão máxima.
AZ92A	Esta é uma liga utilizada em moldes de areia e permanentes sob pressão para fins comerciais e militares com elevada resistência à tracção e boa resistência à cedência.
EQ21A	Esta é uma liga utilizada em moldes de areia e permanentes sob pressão para fins comerciais e militares utilizada em soluções para tratamentos térmico tipo T6 com elevada tensão de cedência até 200°C. Liga similar à QE22A mas com uma quantidade menor de prata e conseqüente menor custo. Esta é uma liga com excelentes propriedades mecânicas comportamento e soldabilidade
EZ33A	Esta é uma liga utilizada em moldes de areia e permanentes sob pressão para fins comerciais e militares relativamente livre de microporosidade, utilizada para tratamentos térmicos tipo T5 para aplicações que requeiram boas resistências até temperaturas de 260°C.
K1A	Esta liga é utilizada sem necessidade de tratamentos (tipo F) para elevadas capacidades de absorção energética. Esta liga é ligeiramente melhor a nível de propriedades mecânicas para soluções fabricadas através de moldes permanentes do que em moldes de areia.

**Aplicações gerais (continuação)**

<b>Liga</b>	<b>Aplicações (utilizações típicas)</b>
QE22A	Esta é uma liga utilizada em moldes de areia e permanentes para fins comerciais e militares utilizada em soluções com tratamento tipo T6 com elevada resistência à cedência a temperaturas de 200°C. Esta é uma liga com excelentes propriedades mecânicas comportamento e soldabilidade.
WE43A	Utilizada para fins militares e aeroespaciais em componentes fabricados por moldes de areia para condições de tratamento térmico tipo T6. As peças retêm as suas propriedades para temperaturas elevadas ( $\leq 250^{\circ}\text{C}$ ) por períodos extensos de tempo ( $> 5000\text{h}$ ) e é uma liga com boa soldabilidade e
WE54A	Utilizada para fins comerciais em componentes fabricados em moldes de areia para condições de tratamento térmico tipo T6. As peças retêm as suas propriedades mesmo para temperaturas elevadas ( $300^{\circ}\text{C}$ ) por períodos de tempo relativamente curtos (1000h), com apetência para a solda.
ZC63A	Utilizada para fins militares e aeroespaciais em componentes fabricados por moldes de areia para condições de tratamento térmico tipo T6. Tem propriedades superiores a nível da apetência para a fundibilidade que a liga AZ91C. Pode ser soldada.
ZE41A	Utilizada para fins comerciais e aeroespaciais para moldes de areia para condições de precipitação artificial.
ZE63A	Utilizada para fins militares e aeroespaciais em componentes fabricados por moldes de areia e cera perdida para condições de tratamento térmico tipo T6. Esta liga apresenta excelente apetência para a fundibilidade, sendo especialmente útil para aplicações de paredes finas com necessidade de elevadas resistências e livre de porosidade. Para esta liga e para o aumento das suas propriedades mecânicas é requerido um tratamento especial térmico em hidrogénio que resulta em limitações para a espessura de parede no molde.

**Aplicações gerais (continuação)**

<b>Liga</b>	<b>Aplicações (utilizações típicas)</b>
ZK51A	Utilizada para fins militares e aeroespaciais em componentes fabricados por moldes de areia para condições de tratamento térmico tipo T5 com resistência à cedência e ductilidade elevadas. Esta liga é sugerida para peças sob elevadas tensões que são pequenas ou relativamente simples a nível de design.
ZK61A	Utilizada para fins aeroespaciais em componentes com elevadas tensões e de secção uniforme. Esta é uma liga relativamente cara. Peças complexas estão sujeitas a microporosidade e fissuração devida à retracção. Não é muito apta à soldabilidade. Pode ser utilizada para tratamentos térmicos T5 mas usualmente é utilizada em soluções com tratamento térmico sob condições T6 para o desenvolvimento total das suas propriedades.

**Características de fabricação**

<b>Liga</b>	<b>Características de fabricação</b>	
	<b>Temperatura de vazamento [°C]</b>	<b>Soldabilidade</b>
AM50A	655 a 690	Não soldável
AM60A, AM60B	650 a 680	Não soldável
AM100A	Molde de areia – 735 a 840; Moldes permanentes – 650 a 815	Muito boa capacidade para solda a arco protegido a gás com haste AM100A
AS1A, AS41B	655 a 685	...
AZ63A	705 a 845	Capacidade fraca para solda a arco protegido a gás com haste AZ63A (preferida) ou AZ92A
AZ81A	705 a 845	Muito boa capacidade para solda a arco protegido a gás com haste AZ92A
AZ91A, AZ91B, AZ91C, AZ91D, AZ91E	AZ91C e AZ91E: molde de areia – 705 a 845; Molde permanente – 650 a 815 AZ91A, AZ91B e AZ91D: Fundição injectada – 640 a 675	AZ91C e AZ91E: facilidade de solda a arco protegido a gás com haste AZ91C ou AZ91A, com necessidade de alívio de tensões; AZ91A, AZ91D não soldável
AZ92A	Molde em areia – 705 a 845; Molde permanente – 650 a 815	Boa capacidade para solda a arco protegido a gás com haste AZ92A, com necessidade de alívio de tensões

**Características de fabricação (Continuação)**

<b>Liga</b>	<b>Características de fabricação</b>	
	<b>Temperatura de vazamento [°C]</b>	<b>Soldabilidade</b>
EQ21A	Molde em areia – 750 a 820	Solda a arco protegido a gás com haste de composição de base metálica
EZ33A	Molde em areia e permanente – 750 a 820	Excelente capacidade para solda a arco protegido a gás com haste EZ33A; Não é necessário pré-aquecimento mas pode ser utilizado; necessidade de tratamento térmico posterior
K1A	Molde em areia – 750 a 820	Facilidade de solda
QE22A	Molde em areia e permanente – 750 a 820	Boa capacidade para solda a arco protegido a gás com haste de composição de base metálica
WE43A	Molde em areia – 750 a 820	Solda a arco protegido a gás com haste de composição de base metálica
WE54A	Molde em areia – 750 a 820	Solda a arco protegido a gás com haste de composição de base metálica
ZC63A	...	Solda a arco protegido a gás com haste de composição de base metálica

**Características de fabricação (Continuação)**

Liga	Características de fabricação	
	Temperatura de vazamento [°C]	Soldabilidade
ZE41A	Molde em areia – 750 a 820	Boa capacidade de solda a arco protegido a gás com haste de composição de base metálica; Necessidade de finalizar todo o processo de solda antes de tratamento com hidrogénio; Necessidade de alívio de tensões a 345°C
ZE63A	Molde em areia – 750 a 820	Muito boa capacidade para solda a arco protegido a gás com haste ZE63A; Necessidade de finalizar todo o processo de solda antes de tratamento com hidrogénio
ZK51A	Molde em areia – 750 a 820	Capacidade fraca para solda a arco protegido a gás com haste EZ33A (preferida) ou ZK51A; Não é necessário pré-aquecimento mas pode ser utilizado; necessidade de tratamento térmico posterior
ZK61A	Molde em areia – 705 a 815	De difícil solda; Adição de tório ou terras raras diminui a porosidade e aumentam a soldabilidade



### Anexo E – Guia de codificação de componentes

Os vários componentes são identificados segundo uma orientação de tecnologia de grupo. Estes são agrupados e codificados através vários parâmetros chave, para uma codificação desenvolvida para este projecto específico. A codificação é composta por uma série de 2+8 parâmetros. Os primeiros dois algoritmos correspondem à sua identificação numérica e os restantes 8 aos seus vários parâmetros listados de seguida:

- Forma de aquisição
- Função
- Classe geométrica e dimensão
- Superfície externa
- Superfície interna
- Processo de fabrico principal
- Acabamento superficial
- Processo de montagem, procedimento principal

No Anexo F são listados os vários componentes utilizados, associados às suas particulares específicas inseridas no seu código, bem como material e quantificação. Para além desta tabela, no entanto no capítulo de selecção de materiais este tema é esclarecido de forma mais aprofundada.

### Guia de codificação de componentes

Forma de aquisição		Função				Classe geométrica e dimensões				Superfície externa				
Fabricado	OFA	1	Estrutural	1	Rotacional	D < 180mm	1	Sem elementos de forma (Lisa)	1					
	Officinas externa	2		D ≥ 180mm		2	Furo de face		2					
Comprado	3	3	Estanquicidade	3	Não rotacional	A < 100mm	3	Entalhe funcional	3					
		4		A > 100mm		4	Furo de face a face		4					
		4		Segurança		4	Relevo		5					

Superfície interna		Processo de fabrico principal							
Sem elementos de forma (Lisa)	1	Não requisitado	1	Maquinagem	1	Fresamento	1	Aparafusamento	1
Furo de face	2		2		2		2		Soldadura
Furo de face a face	3	Corte	3	Torneamento	3	Face externa	3	Colado	3
Entalhe funcional	4		4		4		4		Face interna
Conjugação	5	Fundição	5	Calandragem	5	Ambas	5	Encaixe	5
			6		6		6		Conjugação de processos
			7	Molde perdido por gravidade	7				

Acabamento superficial		Processo de montagem, procedimento principal			
Não requisitado	1	Requisitado	1	Face externa	1
			2		2
Requisitado	3	Face interna	3	Ambas	3
			4		4

### Anexo F – Lista de componentes

Nº item	Codificação	Descrição	Material	Qtd.
1	12	KFF12U-02_KF Ferrule Nut	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
2	12	KFF12U-02_KF Ferrule	PUR	1
3	122211713	Cadinho	Stainless Steel (ferritic)	1
4	232214113	Refractário primário	Alumina- Sílica	1
5	332114213	Pedestal	Stainless Steel (ferritic)	1
6	414211113	Placa refractária inferior	Alumina Sílica	1
7	534211113	Assento refractário	Ceramic Porcelain	1
8	611211412	Base estrutural	AISI 304	1
9	721211412	Chapa metálica exterior forno	AISI 304	1
10	834133113	Placa refractária/cadinho	Alumina de elevada densidade	1
11	922131712	Gito	Stainless Steel (ferritic)	1
12	1034211113	Refractário secundário	Alumina- Sílica	1

**Lista de componentes (Continuação)**

<b>Nº item</b>	<b>Codificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Material</b>	<b>Qtd.</b>
13	1113255211	Porta forno	Stainless Steel (ferritic)	1
14	1214241222	Pista de oring interior	AISI 304	1
15	1323233422	Tampa superior-secção inferior	AISI 304	1
16	1423233412	Junta de compressão exterior	AISI 304	1
17	1523233422	Tampa superior-secção superior	AISI 304	1
18	1623211222	Tampa superior-acoplamento	AISI 304	1
19	1713253222	Anel de Aperto de tampa de forno	AISI 304	1
20	1922433741	Meia moldação direita	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	1
21	2022433741	Meia moldação esquerda	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	1
22	2114411515	Depósito de retenção de Mg	Stainless Steel (ferritic)	1
23	2524111512	Tubo de segurança de	AISI 304	1
24	2721241522	Chapa metálica exterior caixa	AISI 304	1

**Lista de componentes (Continuação)**

<b>Nº item</b>	<b>Codificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Material</b>	<b>Qtd.</b>
25	2823233431	Porta de caixa de vazamento	AISI 304	1
26	2934211113	Anel refractário superior	Alumina-Sílica	1
27	3034211113	Placa refractária superior	Alumina-Sílica	1
28	3114233614	Cantoneira de escoamento de Mg	Stainless Steel	1
29	3214141314	Veio de transporte da coquilha	AISI 304	1
30	3614111212	Tampão de segurança	Zinc AC41A Alloy, As Cast	1
31	3711133214	Chapa metálica de	Stainless Steel	1
32	3823233532	Anel de Aperto de tampa de forno	AISI 304	1
33	4214141314	Veio de aperto da coquilha	Alloy Steel	1
34	4314433214	Placa de compressão de coquilha	AISI 316 Sheet (SS)	1
35	4434211113	Anel de barreira ao fluxo térmico	Alumina-Sílica	1
36	4534211113	Anel de refractário superior	Alumina-Sílica	1
37	4723241222	Pista de o-ring exterior	AISI 304	1

**Lista de componentes (Continuação)**

<b>Nº item</b>	<b>Codificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Material</b>	<b>Qtd.</b>
38	4811124312	Alojamento de rolamento	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	1
39	4911133211	Tampa de alojamento de rolamento	AISI 304	1
40	5013133331	Disco de compressão axial de o-ring	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
41	5113133332	Camisa de veio roscada	AISI 304	1
42	5213132444	Anel separador de o-rings	AISI 304	1
43	5314411512	Guia anti-rotação de coquilha	AISI 304	1
44	5414124232	Base de assento de guia de coquilha	AISI 304	1
45	5514133431	Disco de fixação de suporte de insuflação	AISI 304	1
46	5614133331	Fixação de guia	AISI 304	1
47	5712144212	Guia/accionador de haste de insuflação	AISI 304	1
48	5814333431	Haste de insuflação 1	AISI 304	1

**Lista de componentes (Continuação)**

<b>Nº item</b>	<b>Codificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Material</b>	<b>Qtd.</b>
49	5914333411	Haste de insuflação2	AISI 304	1
50	6024411512	Circuito de insuflação de gases	AISI 304	1
51	6111111314	Espaçador de hastes	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
52	0604-01S	Acessório de conexão fluido (H2O)	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	3
53	10-400	Bico injector_10-400	Brass	1
54	1209-02S	Curva 1209-02S	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
55	F12U-02	F12U-02	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
55	Hexagon Nut ISO -			25
56	ISO 10673- 5.5-N			1
57	ISO 4015 - M8 x 35 x 22-S			10

**Lista de componentes (Continuação)**

<b>Nº item</b>	<b>Codificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Material</b>	<b>Qtd.</b>
58	ISO 4017 - M8 x 40-S			15
59	ISO 4018 - M6 x 12- WN Hexagon Flange			1
60	KFG2E1075- 00	Conexão	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	2
61	KFG2E1209- 00	Conexão	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
62	Nut ISO - 4161 - M6 - N			
63	O-ring 300x5.3	O-ring DIN 3771 - 300x5.3	BUTYL	1
64	O-ring DIN 3771 -	O-ring tampa de forno	Silicon	1
65	O-ring DIN 3771 -			1
66	O-ring DIN 3771 -	O-ring dinâmico	Silicon	2

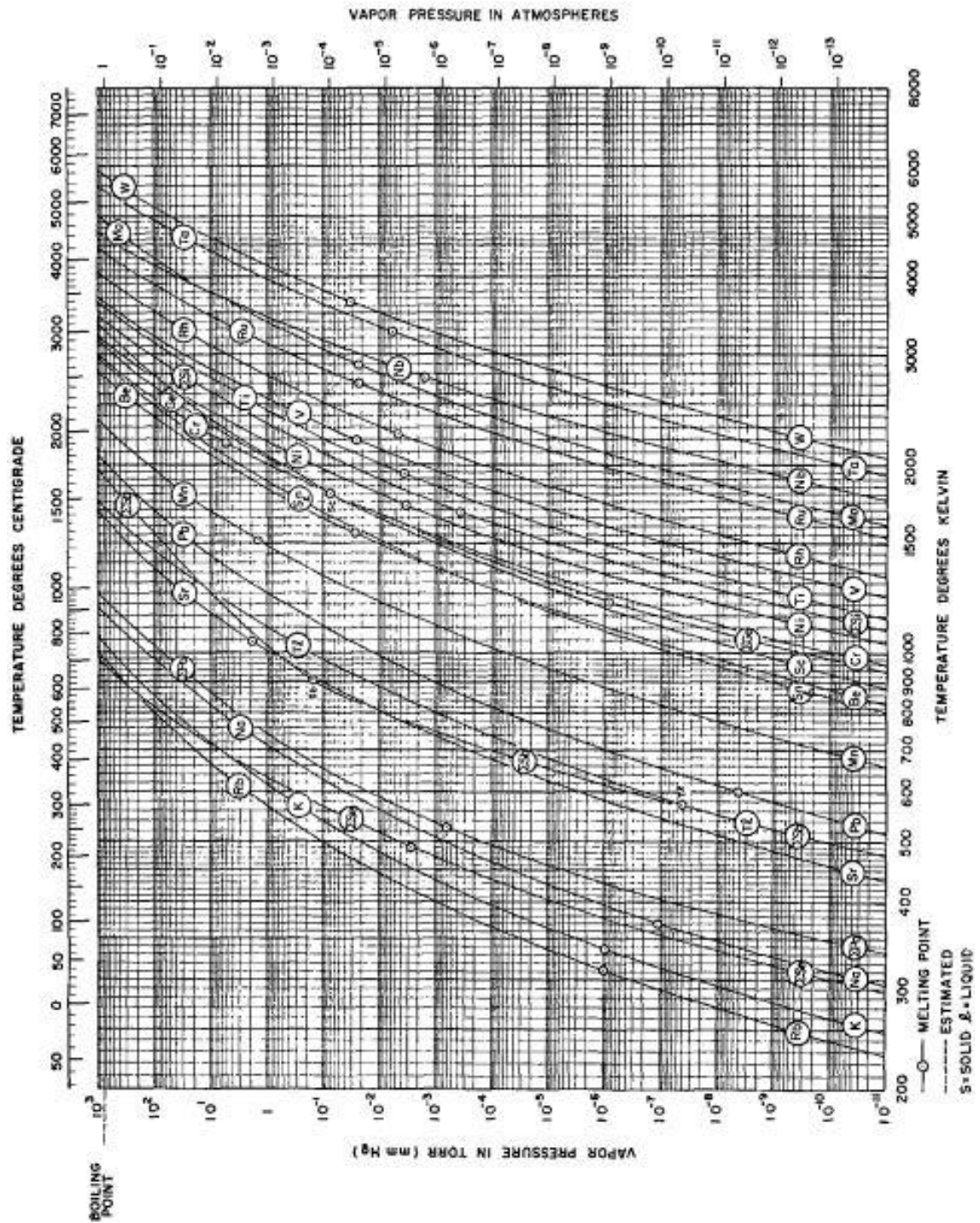


### Lista de componentes (Continuação)

Nº item	Codificação	Descrição	Material	Qtd.
67	O-ring DIN 3771 - 243X7	O-ring tampa de caixa de	VITON	1
68	O-ring DIN 3771 - 330x7	O-ring tampa de caixa de	BUTYL	1
69	SKF - AXK 0720 - 8,DE,AC,8			1
70	SKF - AXK 2035 - 24,DE,AC,24			2
71	Spring plunger RS	Spring Plunger	Cast Stainless	4
72	Tubo 10-7.5	Circuito de gases de	AISI 316 Sheet (SS)	1
73	Tubo 12-08 PUR 001	Tubo	PUR	1
75	5712144212	Guia/accionador de haste deinsuflação	AISI 304	1
76	2022433741	Meia moldação esquerda	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	1
77	1922433741	Meia moldação direita	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	1
78	2823233431	Porta de caixa de vazamento	AISI 304	1
79	ISO 4015 - M8 x 35 x 22-S			10



Folha B



**Anexo H – Aptidão das ligas de aço inoxidável para vários processos de  
conformação (Douthett, 1993)**

Steel $\alpha$	0.2%yield strength, 6.89·MPa (1 ksi) $\alpha$	Suitability for: $\alpha$							
		Blanking $\alpha$	Piercing $\alpha$	Press-brake forming $\alpha$	Deep drawing $\alpha$	Spinning $\alpha$	Roll forming $\alpha$	Coining $\alpha$	Embossing $\alpha$
<b>Austenitic steels<math>\alpha</math></b>									
201 $\alpha$	55 $\alpha$	B $\alpha$	C $\alpha$	B $\alpha$	A-B $\alpha$	C-D $\alpha$	B $\alpha$	B-C $\alpha$	B-C $\alpha$
202 $\alpha$	55 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A $\alpha$	A $\alpha$	B-C $\alpha$	A $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$
301 $\alpha$	40 $\alpha$	B $\alpha$	C $\alpha$	B $\alpha$	A-B $\alpha$	C-D $\alpha$	B $\alpha$	B-C $\alpha$	B-C $\alpha$
302 $\alpha$	37 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A $\alpha$	A $\alpha$	B-C $\alpha$	A $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$
302B $\alpha$	40 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	B-C $\alpha$	C $\alpha$	C $\alpha$	C $\alpha$	B-C $\alpha$
303, 303- (Se) $\alpha$	35 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	D(a) $\alpha$	D $\alpha$	D $\alpha$	D $\alpha$	C-D $\alpha$	C $\alpha$
304 $\alpha$	35 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A $\alpha$	A $\alpha$	B $\alpha$	A $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$
304L $\alpha$	30 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A $\alpha$	A $\alpha$	B $\alpha$	A $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$
305 $\alpha$	37 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A $\alpha$	B $\alpha$	A $\alpha$	A $\alpha$	A-B $\alpha$	A-B $\alpha$
308 $\alpha$	35 $\alpha$	B $\alpha$	C $\alpha$	B(a) $\alpha$	D $\alpha$	D $\alpha$	C $\alpha$	D $\alpha$	D $\alpha$
309, 309S $\alpha$	40 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A(a) $\alpha$	B $\alpha$	C $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$
310, 310S $\alpha$	40 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A(a) $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$
314 $\alpha$	50 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A(a) $\alpha$	B-C $\alpha$	C $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	B-C $\alpha$
316 $\alpha$	35 $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A(a) $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$	A $\alpha$	B $\alpha$	B $\alpha$

**Aptidão das ligas de aço inoxidável para vários processos de conformação**  
(Continuação)

316L <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	A(a) <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>
317 <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	A(a) <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B-C <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>
321, 347, 348 <sup>a</sup>	35 <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B-C <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>
<b>Martensitic steels<sup>a</sup></b>										
403, 410 <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A-B <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>
414 <sup>a</sup>	95 <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	A(a) <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>
416, 416 <sup>a</sup> (Se) <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	A-B <sup>a</sup>	C(a) <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>
420 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B-C <sup>a</sup>	C(a) <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>
431 <sup>a</sup>	95 <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	C(a) <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>
440A <sup>a</sup>	60 <sup>a</sup>	B-C <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	C(a) <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>
440B <sup>a</sup>	62 <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>
440C <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>
<b>Ferritic steels<sup>a</sup></b>										
405 <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A-B <sup>a</sup>	A(a) <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>
409 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A-B <sup>a</sup>	A(b) <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>
430 <sup>a</sup>	45 <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A-B <sup>a</sup>	A(a) <sup>a</sup>	A-B <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>
430F, 430F <sup>a</sup> (Se) <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	A-B <sup>a</sup>	B-C(a) <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	C-D <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>
442 <sup>a</sup>	... <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	A-B <sup>a</sup>	A(a) <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B-C <sup>a</sup>	B-C <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>
446 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	A(a) <sup>a</sup>	B-C <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>	B <sup>a</sup>

a)– Devem ser evitadas dobragens acentuadas

A – Excelente; B – Bom; C – Pobre; D – Não recomendado

**Anexo I – Características químicas, físicas e mecânicas da alumina de alta densidade (ZIRCAR Ceramics, Inc.)**

Composição típica	AXHTM
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	59
SiO <sub>2</sub> [%]	41
Orgânicos [%]	0
Densidade aparente [kg/m <sup>3</sup> ]	260
Temperatura de serviço máxima [°C]	1427
Contração linear [%]	
24h a 1000°C	...
24h a 1200°C	0,75
Condutividade térmica [W/K]	
400°C	0.08
800°C	0.14
1100°C	0.26
Resistência à flexão [Mpa]	0,14
Resistência à compressão [Mpa]	0,03
Durómetro, ASTM 02240, (PTC tipo A, Modelo 306L)	≥15

## Anexo J – Características químicas, físicas e mecânicas da alumina de elevada densidade

### ALFRAX 101

#### Description

Product type	:	Dense, shaped refractory
Principal raw material		Fused alumina
Nature of bond	:	Sintered alumina
Maximum Service Temperature	:	1800°C

#### Typical Chemical Properties

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:	98.7 %
SiO <sub>2</sub>	:	0.1 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:	0.1 %
CaO	:	0.1 %
Alkalis	:	0.25 %
Others	:	<0.5 %

#### Typical Properties

Bulk density	3.00	g.cm-3
Apparent porosity	22	%
Modulus of rupture at 20°C	9	N.mm-2
Modulus of rupture at 1350°C	3	N.mm-2
Thermal conductivity at 1000°C	2.7	W.m-1 K-1
Thermal expansion 20-1000°C	0.7	%
Mean specific heat 20-1000°C	1150	J.kg-1 K-1
Abrasion resistance - BS1902	N/A	cm3
Refractoriness under load (T0.5)	1490	°C
Refractoriness under load (T1.0)	1550	°C
Cold crushing strength	75	N.mm-2

**Anexo K – Comparação das propriedades dos elastómeros comumente utilizados (Parker Hannifin Corporation)**

Tipo de polímero	Resistência à abrasão	Resistência a ácidos	Resistência química	Resistência ao frio	Propriedades dinâmicas	Propriedades eléctricas	Resistência à chama	Resistência ao calor	Impermeabilidade	Resistência a óleos	Resistência ao ozono	Resistência definida	Resistência a fissuras	Tensão máxima de tracção	Resistência à água/vapor	Resistência a factores ambientais
Tetrafluoroetileno e propileno	BE	E	E	P	B	E	E	E	B	E	E	PR	PR	RB	BE	E
Butadieno	E	RB	RB	B	R	B	P	R	R	P	P	B	BE	E	RB	R
Butilo	RB	B	E	B	R	B	P	B	E	P	BE	RB	B	B	B	BE
Polipropileno Clorado	B	R	RB	PR	B	B	BE	B	B	RB	E	R	RB	B	R	E
Polipropileno clorossulfonado	B	B	E	RB	R	R	B	B	B	R	E	R	B	R	R	E
Epicloridrina	B	RB	B	BE	B	R	RB	RB	BE	E	E	PR	B	B	R	E
Acrílico de etileno	R	R	RB	B	R	R	P	E	E	R	E	B	R	B	PR	E
Etileno-propileno	BE	B	E	BE	BE	B	P	B	B	P	E	BE	BE	BE	E	E
Fluorocarbono	B	E	E	PR	BE	R	E	E	B	E	E	E	R	BE	R	E
Fluorosilicone	P	RB	E	BE	P	E	B	E	P	B	E	B	P	R	R	E
Isopreno	E	RB	RB	B	R	B	P	R	R	P	P	B	BE	E	RB	R

P - Pobre; R - Razoável; B - Bom; E- Excelente

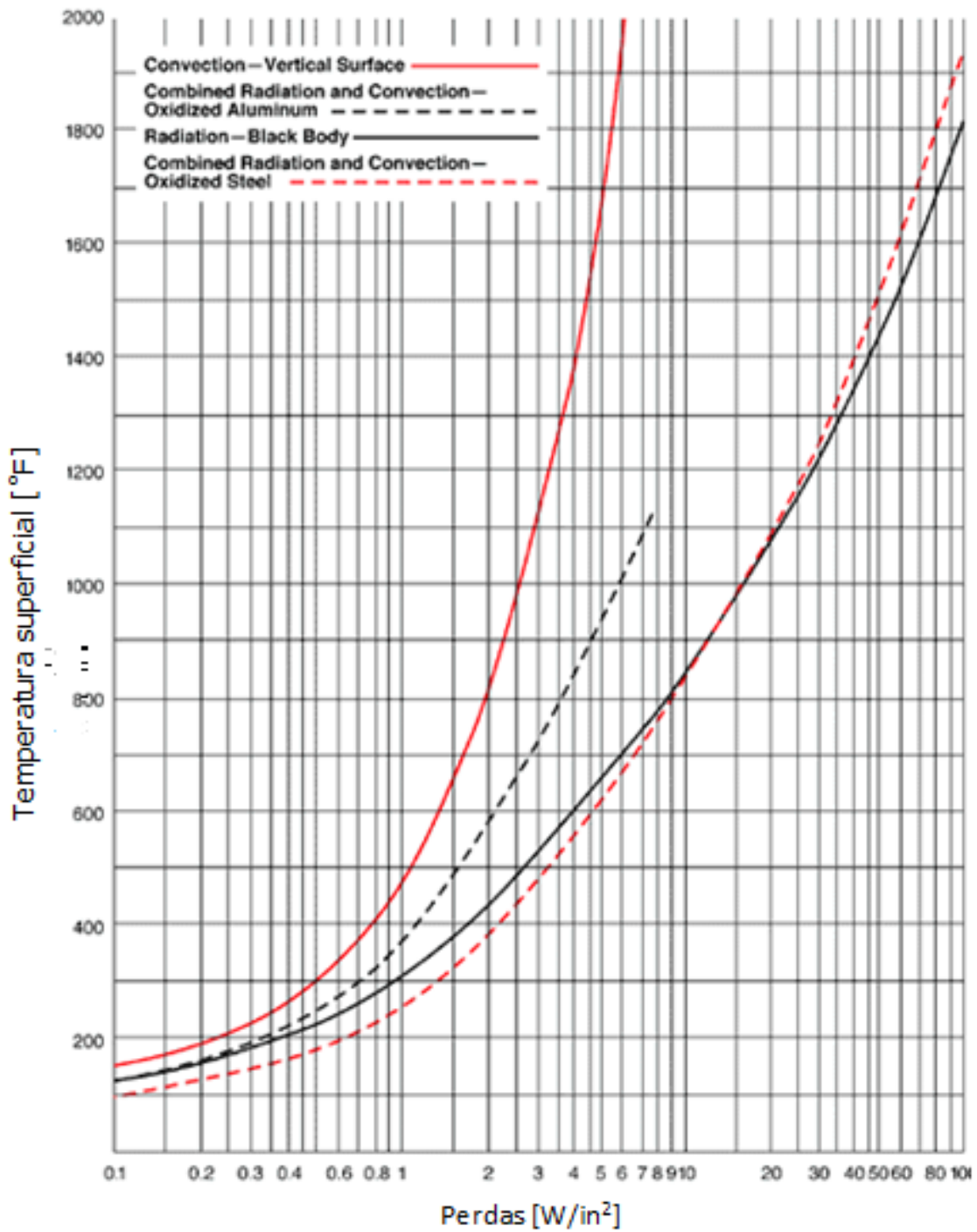


### Comparação das propriedades dos elastómeros comumente utilizados (Continuação)

Tipo de polímero	Resistência à abrasão	Resistência a ácidos	Resistência química	Resistência ao frio	Propriedades dinâmicas	Propriedades eléctricas	Resistência à chama	Resistência ao calor	Impermeabilidade	Resistência a óleos	Resistência ao ozono	Resistência definida	Resistência a fissuras	Tensão máxima de tracção	Resistência à água/vapor	Resistência a factores ambientais
Borracha natural	E	RB	RB	B	E	B	P	R	R	P	P	B	BE	E	RB	R
Neopreno	B	RB	RB	RB	R	R	B	B	B	RB	BE	R	RB	B	R	E
Nítrica hidrogenada	B	E	RB	B	BE	R	P	E	B	E	B	BE	RB	E	E	B
Nitrilo	B	R	RB	B	BE	R	P	B	B	E	P	BE	RB	BE	RB	R
Fluoroelastómero perfluorados	P	E	E	PR	R	E	E	E	B	E	E	B	PR	RB	BE	E
Poliacrilato	B	P	P	P	R	R	P	E	E	E	E	R	RB	R	P	E
Polissulfeto	P	P	B	B	R	R	P	P	E	E	E	P	P	R	R	E
poliuretano	E	P	RB	B	E	RB	P	R	B	B	E	R	BE	E	P	E
Butadieno estireno	B	R	RB	B	B	B	P	RB	R	P	P	B	RB	BE	RB	R
Silicone	P	RB	BE	E	P	E	R	E	P	RB	E	BE	P	P	R	E

P - Pobre; R – Razoável; B – Bom; E- Excelente

Anexo L – Perdas térmicas superficiais para materiais não isolados (Watlow, 2003)



## Anexo M – Relatório de análise computacional

### INPUT DATA

#### Initial Mesh Settings

Automatic initial mesh: On  
 Result resolution level: 5  
 Advanced narrow channel refinement: On  
 Refinement in solid region: Off

#### *Geometry Resolution*

Evaluation of minimum gap size: Manual  
 Minimum gap size: 0.025 m  
 Evaluation of minimum wall thickness: Manual  
 Minimum wall thickness: 0.008 m

#### Computational Domain

##### *Size*

X min	-1.036 m
X max	1.036 m
Y min	-0.658 m
Y max	0.927 m
Z min	-0.068 m
Z max	0.068 m

#### Physical Features

Heat conduction in solids: On  
 Heat conduction in solids only: Off  
 Radiation: On  
 Time dependent: On  
 Gravitational effects: Off  
 Flow type: Laminar and turbulent  
 High Mach number flow: Off  
 Humidity: Off  
 Default roughness: 2.0 micrometer

## Anexo M – Relatório de análise computacional (Continuação)

### *Radiation*

Default wall radiative surface: Blackbody wall

Radiation model: Ray Tracing

### *Environment radiation*

Environment temperature	293.2 K
Spectrum	Blackbody

### Ambient Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325 Pa Temperature: 293.2 K
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Solid parameters	Default material: <u>Alumina-Silica</u> Initial solid temperature: 293.2 K Radiation Transparency: Opaque
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.000 % Length: 5.417e-04 m

### Material Settings

#### *Fluids*

Air

#### *Solids*

Alumina-Sílica

Alumina-Silica

**Anexo M – Relatório de análise computacional (Continuação)**

## Fluid Subdomains

## Fluid Subdomain 1

Thermodynamic Parameters	Temperature: 293.2 K Density: 1.0 kg/m <sup>3</sup>
Velocity Parameters	Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters type:	Turbulence intensity and length
Intensity	2.000 %
Length	5.417e-04 m
Flow type	Laminar and Turbulent
Humidity	Off
Default fluid type	Gas
Fluids	<u>Air</u>
Faces	Face<3> Face<2> Face<1>
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	X

## Solid Materials

## Alumina-Sílica Solid Material 1

Components	Revolve1
Solid substance	<u>Alumina-Sílica</u>
Radiation Transparency	Opaque

**Anexo M – Relatório de análise computacional (Continuação)**

## Boundary Conditions

## Real Wall 1

Type	Real wall
Faces	Face <1> Face <1> Face <1>
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	X
Wall temperature	1173.0 K

## Radiative Surfaces

## Radiative Surface 1

Faces	Face<1> Face<2> Face<3>
Type	<u>Brick, fireclay</u>

## Calculation Control Options

*Finish Conditions*

Finish conditions	If one is satisfied
Maximum calculation time	3600 s

**Anexo M – Relatório de análise computacional (Continuação)***Solver Refinement*

Refinement level	6
Refinement criterion	1.500
Unrefinement criterion	0.150
Adaptive refinement in fluid	On
Use global parameter variation	Off
Adaptive refinement in solid	On
Approximate maximum cells	750000
Refinement strategy	Periodic
Units	Travels
Relaxation interval	0.200
Periodic refinement options	Start: 2.000 Period: 1.000

*Results Saving*

Save before refinement	On
Periodic saving	Units: Physical time Period: 60.0 s

*Advanced Control Options*

## Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled
------------------------	----------

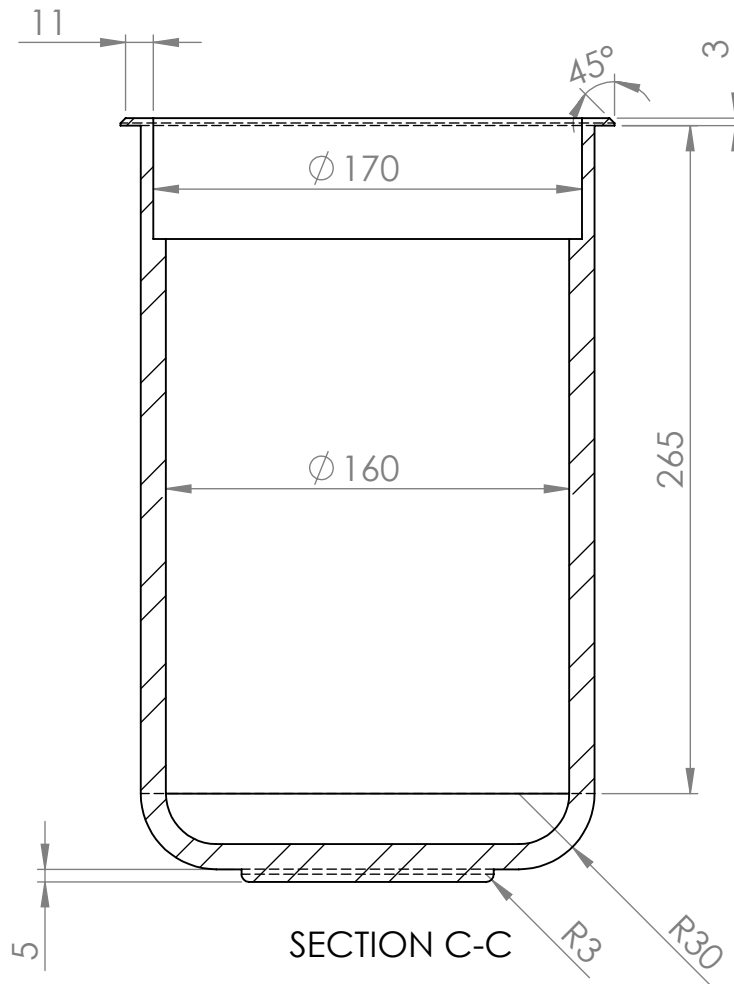
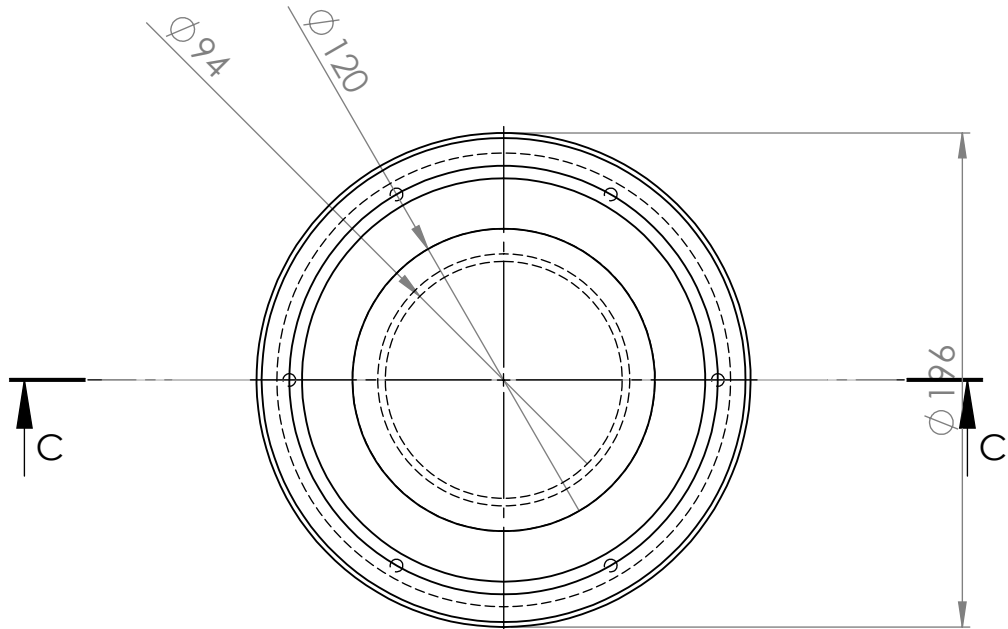
Manual time step (Freezing): Off

Manual time step: Off

View factor resolution level: 3

**Anexo N – Desenhos técnicos**





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

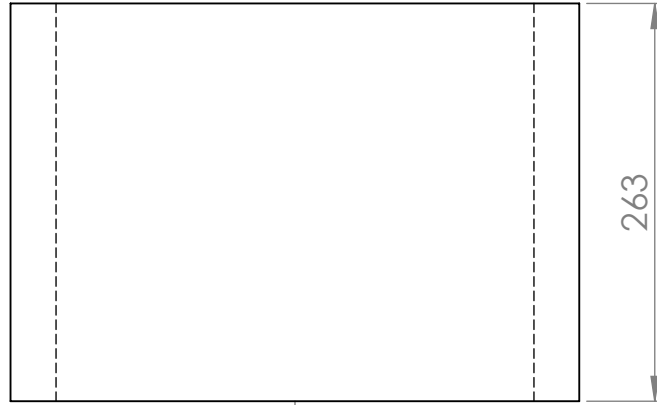
DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

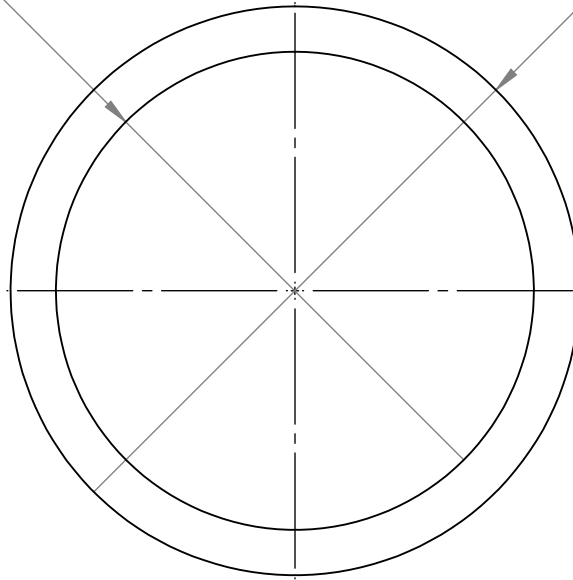
	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			Stainless Steel (ferritic)		
			WEIGHT: 12943.79		

TITLE:		<h1>Cadinho</h1>	
DWG NO.		<h2>0122211713</h2>	
		A4	
SCALE: 1:3		SHEET 1 OF 1	



Ø316

Ø376



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
					Alumina-Silica
				WEIGHT:	

TITLE:

Refractário primário de resistências embebida

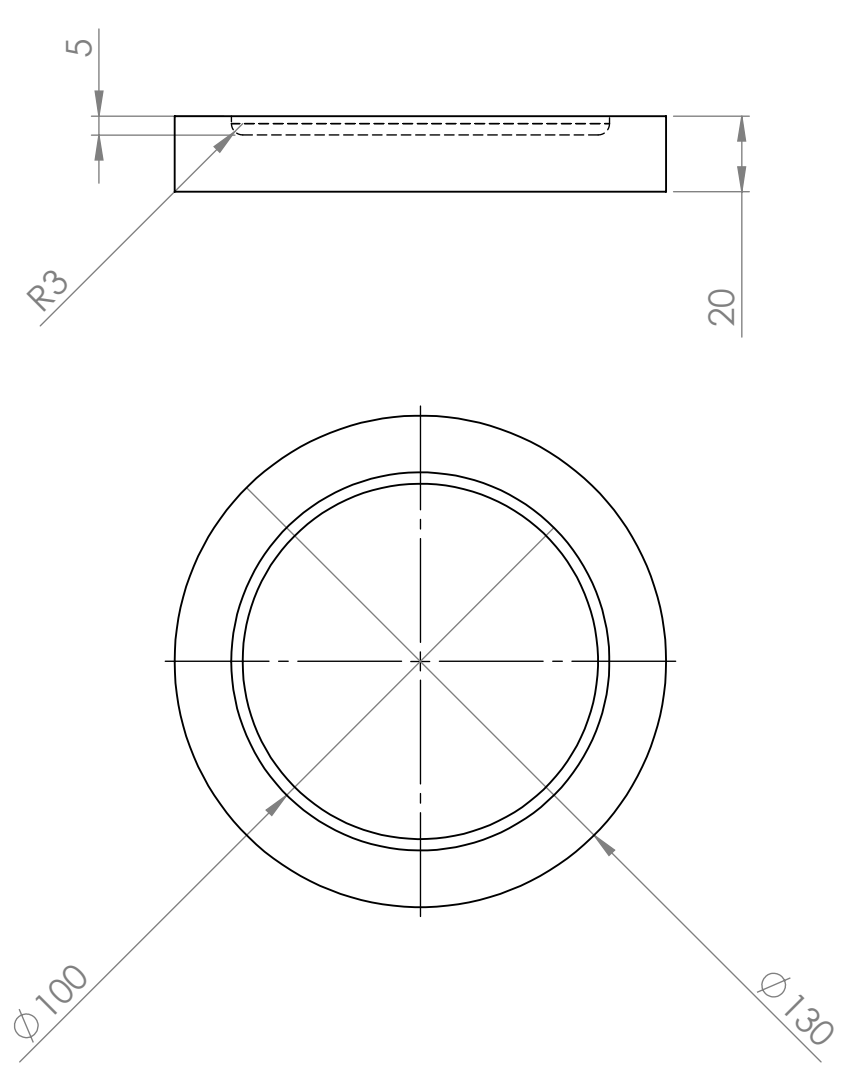
DWG NO.

0232214113

A4

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

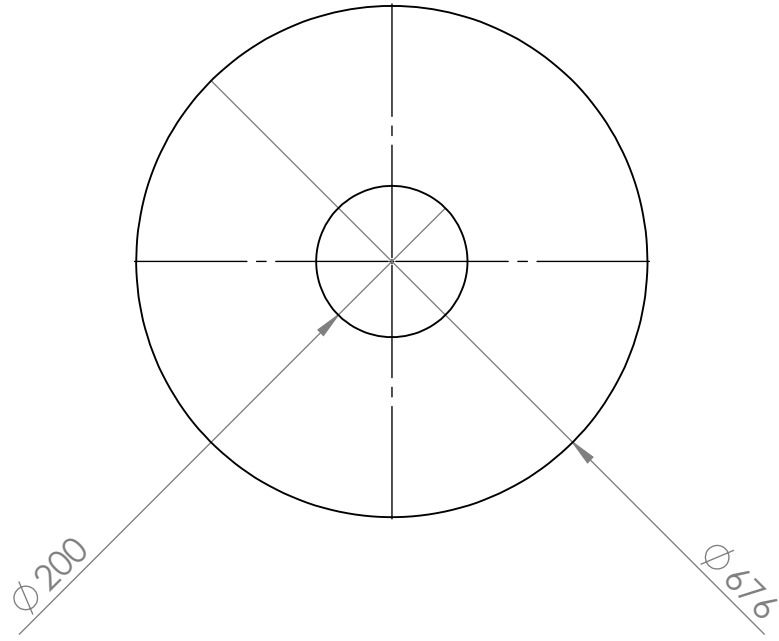
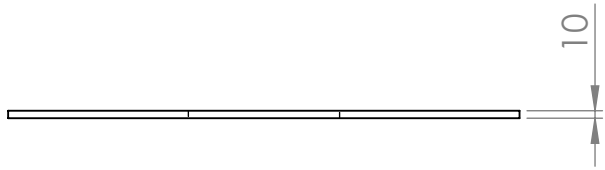
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

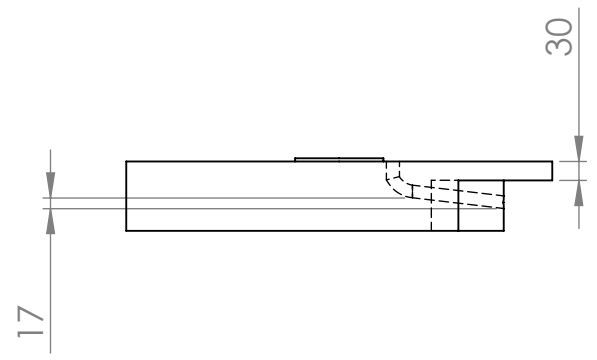
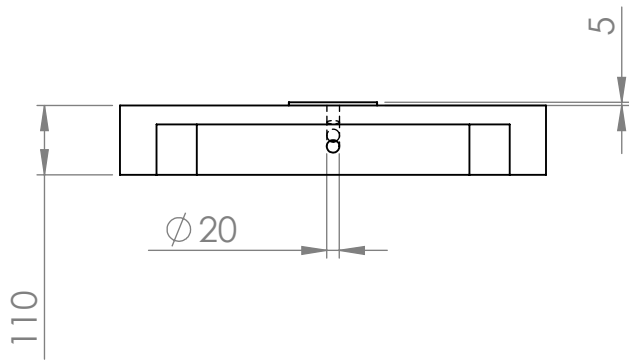
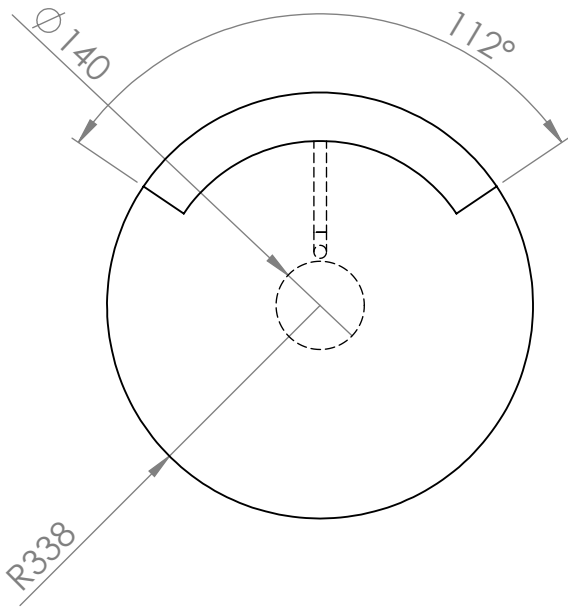
REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL: Stainless Steel (ferritic)		
			WEIGHT:		

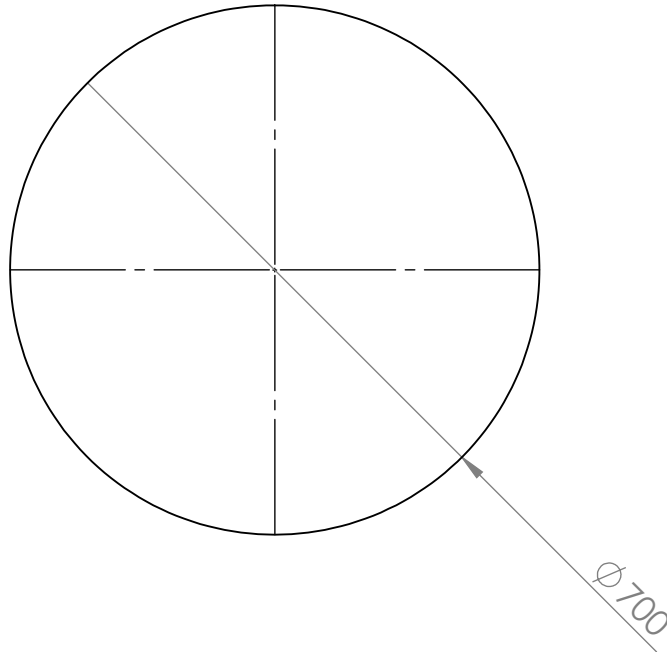
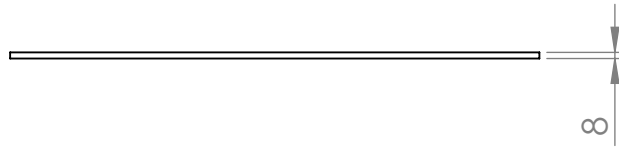
TITLE:  Pedestal		DWG NO.  0332114213	A4
SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D						Placa refractária inferior			
APPV'D									
MFG						DWG NO.		0414211113	
Q.A				MATERIAL:				A4	
				Alumina Sílica		SCALE:1:10		SHEET 1 OF 1	
				WEIGHT:					



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Assento refractário			
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL: Ceramic Porcelain		DWG NO. 0534211113		A4	
						WEIGHT:		SCALE:1:12		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:

Base estrutural

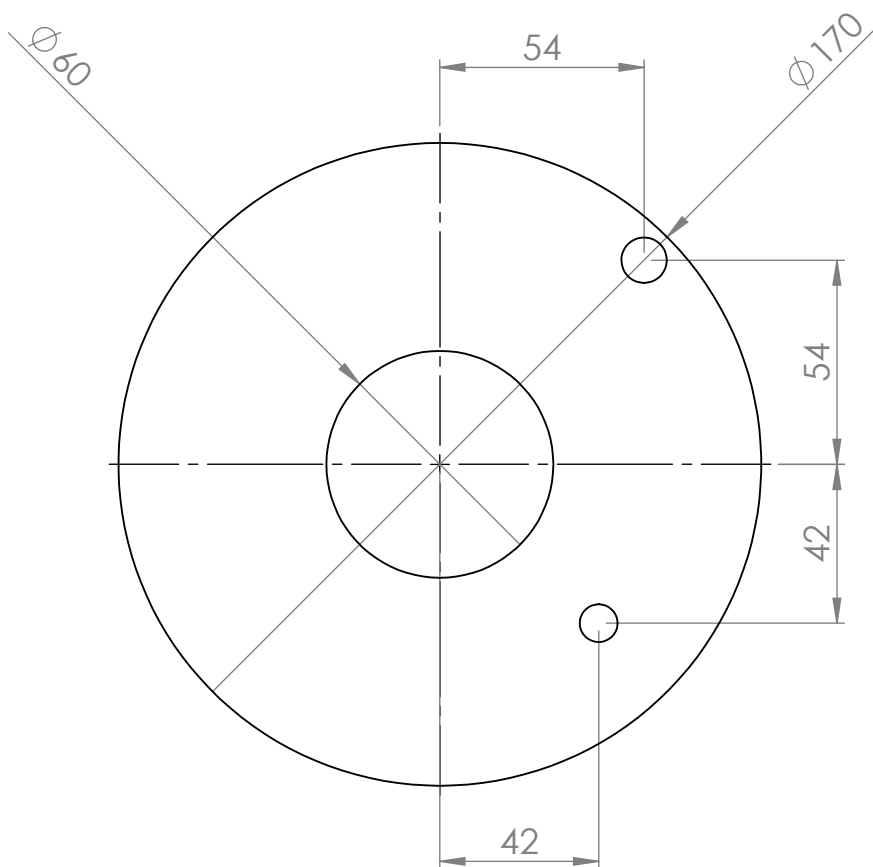
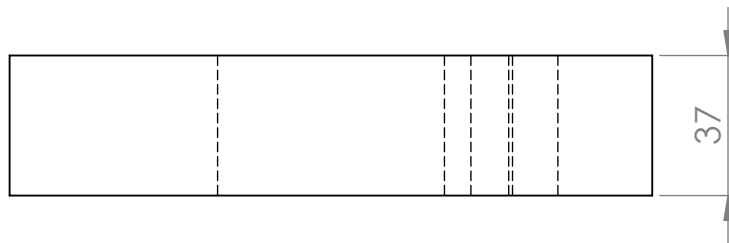
DWG NO.

0611211412

A4

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			Alumina de elevada densidade		
			WEIGHT:		

TITLE:

Placa refractária/cadinho

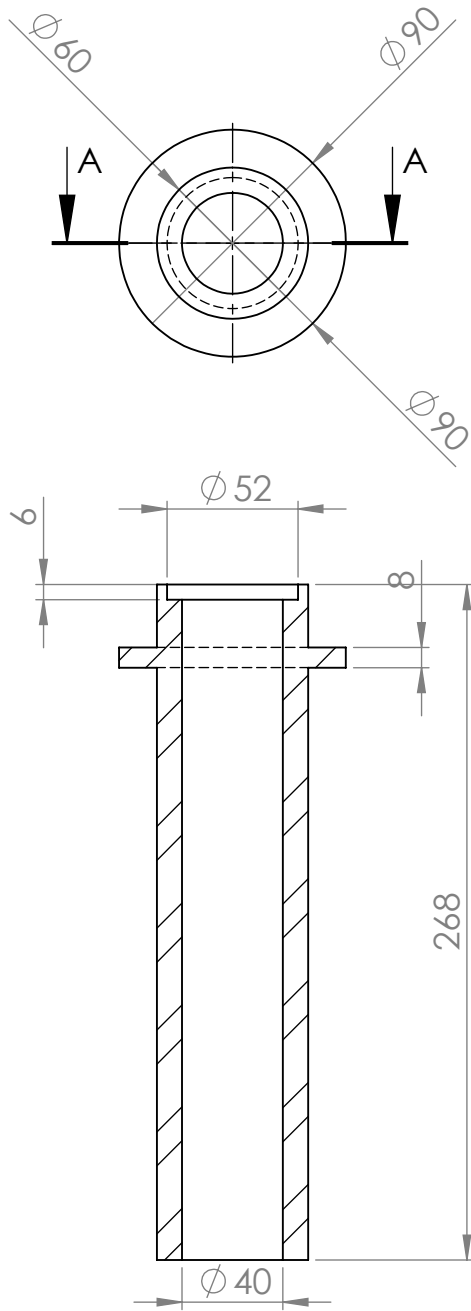
DWG NO.

0834133113

A4

SCALE:1:2

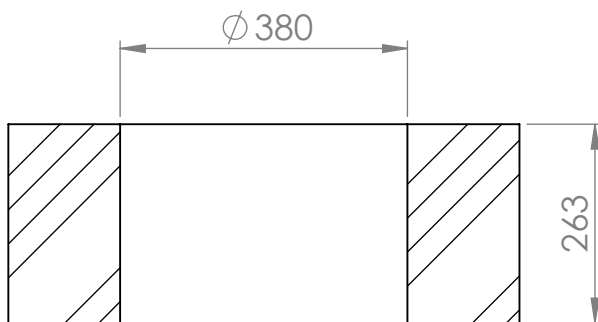
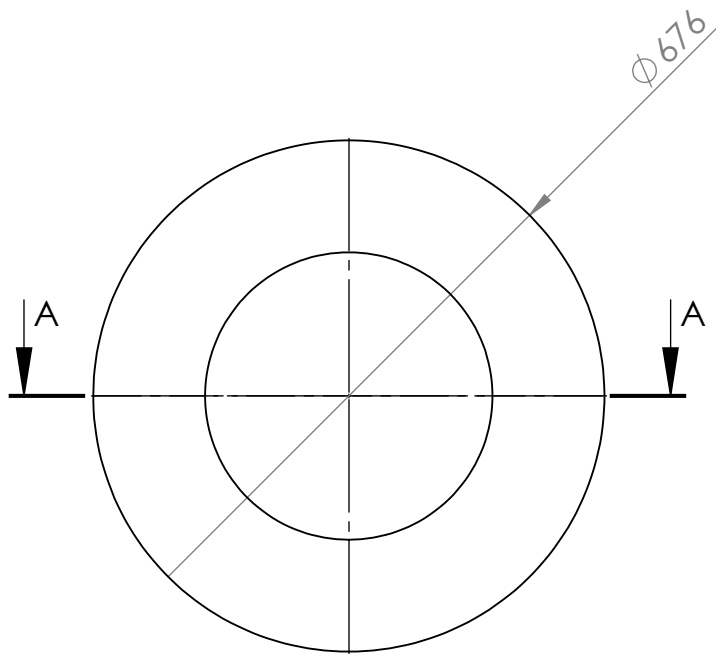
SHEET 1 OF 1



SECTION A-A  
SCALE 1 : 3

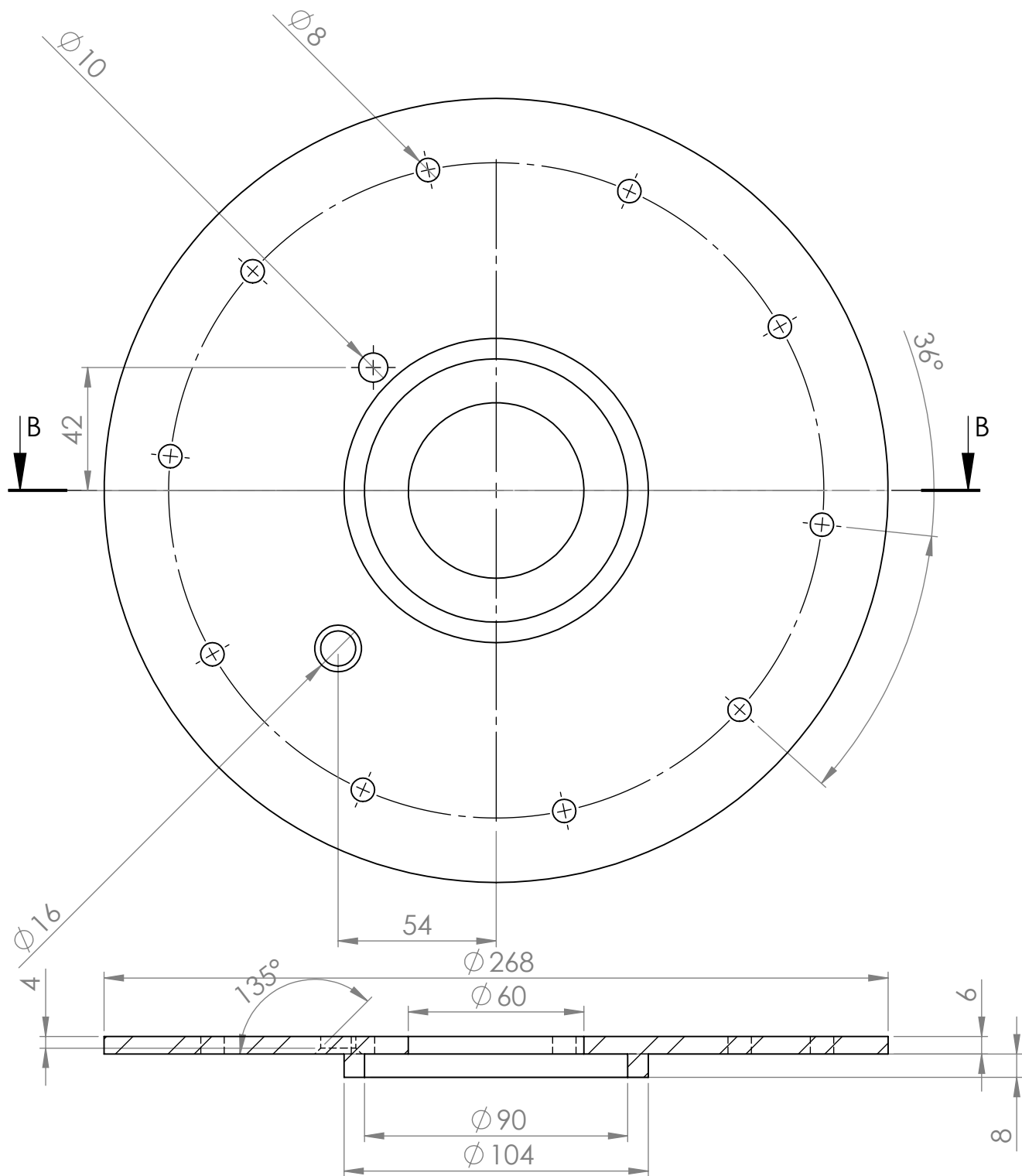
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Gito			
CHK'D				SIGNATURE		DATE		DWG NO. 0922131712			
APPV'D				SIGNATURE		DATE		A4			
MFG				SIGNATURE		DATE		SCALE:1:3			
Q.A				SIGNATURE		DATE		SHEET 1 OF 1			
MATERIAL: Stainless Steel (ferritic)						WEIGHT:					





SECTION A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Refractário secundário			
CHK'D				SIGNATURE		DATE		DWG NO. 1034211113			
APPV'D				SIGNATURE		DATE		SCALE:1:10			
MFG				SIGNATURE		DATE		SHEET 1 OF 1			
Q.A				SIGNATURE		DATE		MATERIAL: Alumina-Sílica		A4	
WEIGHT:				SIGNATURE		DATE					



SECTION B-B  
SCALE 1 : 2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

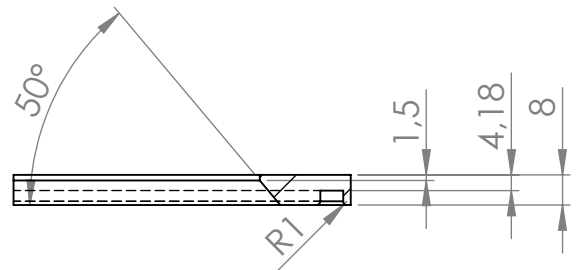
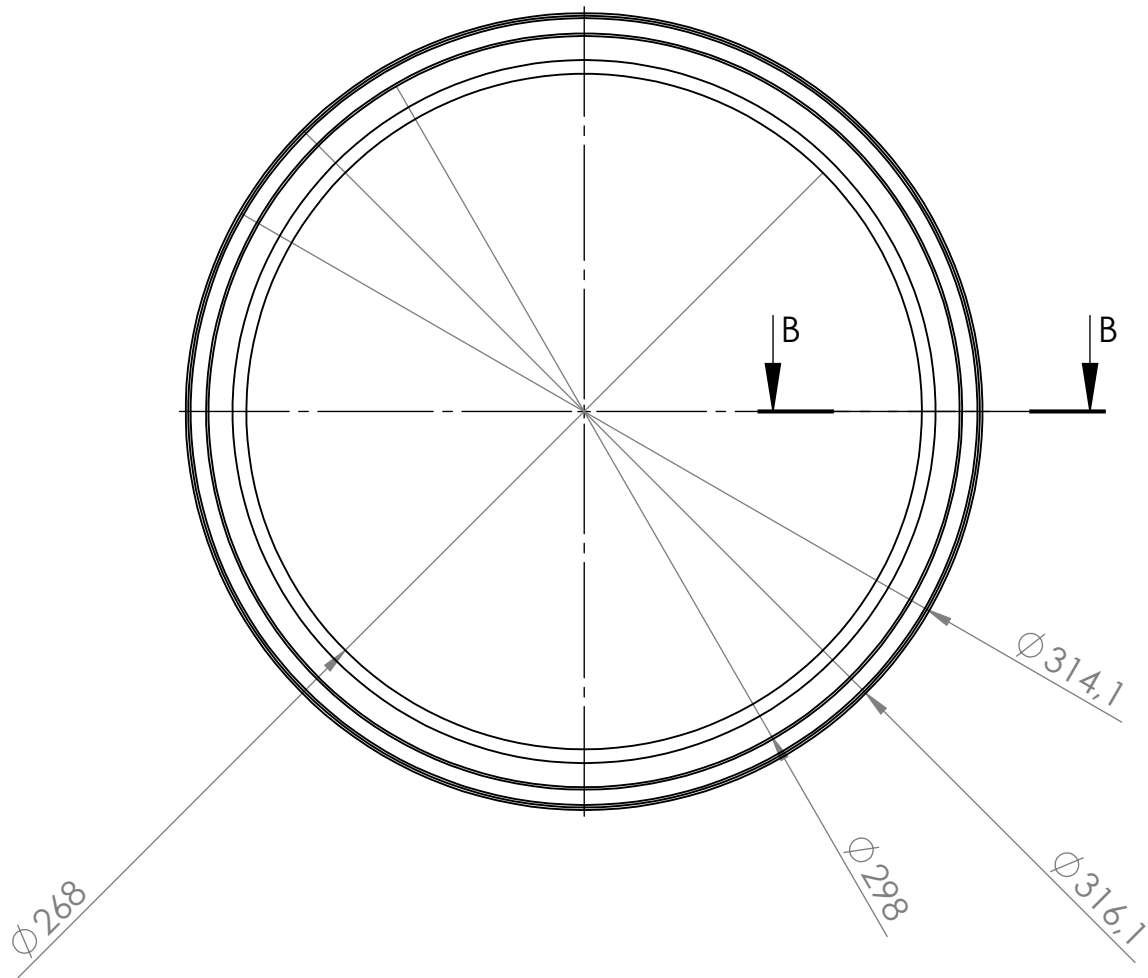
DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

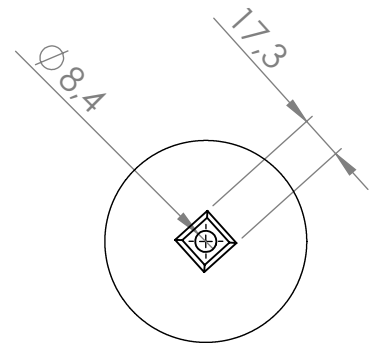
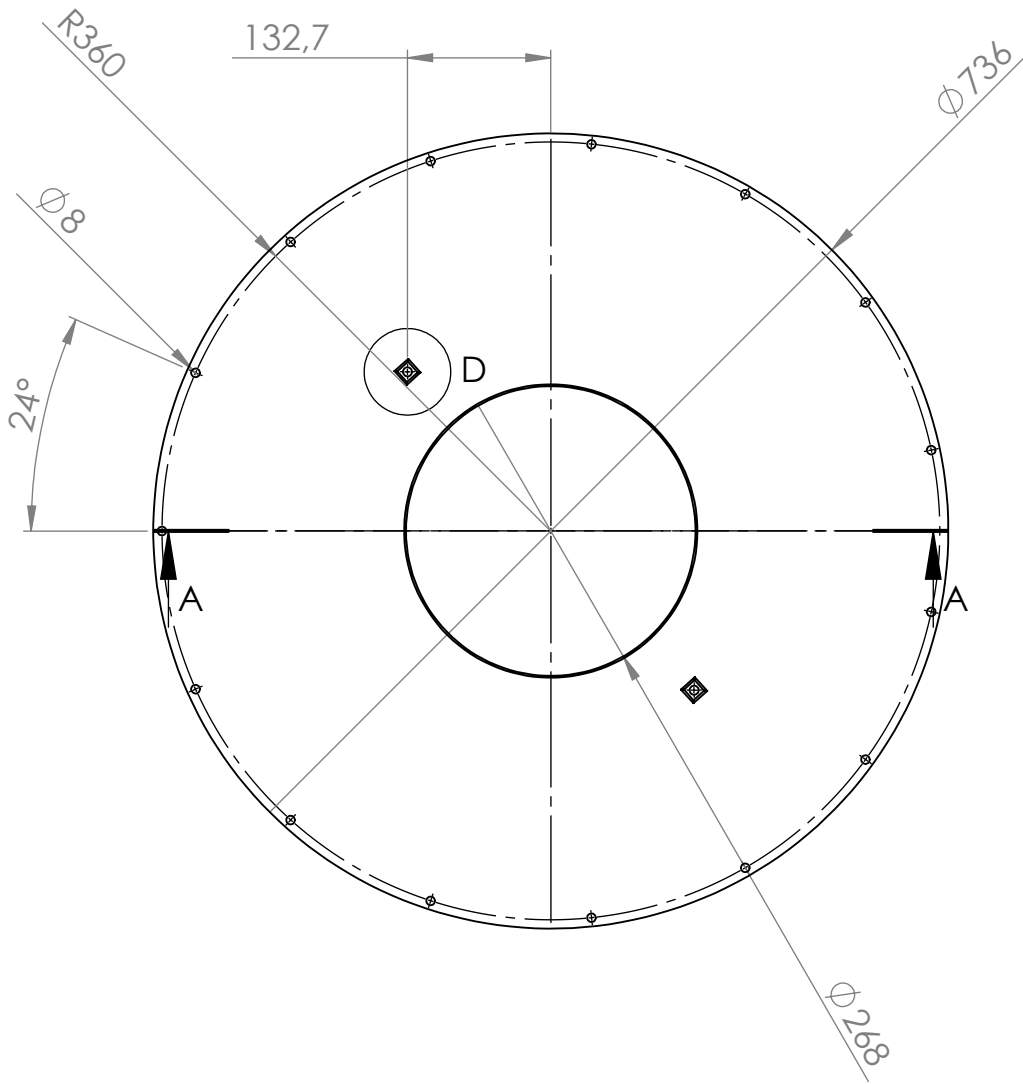
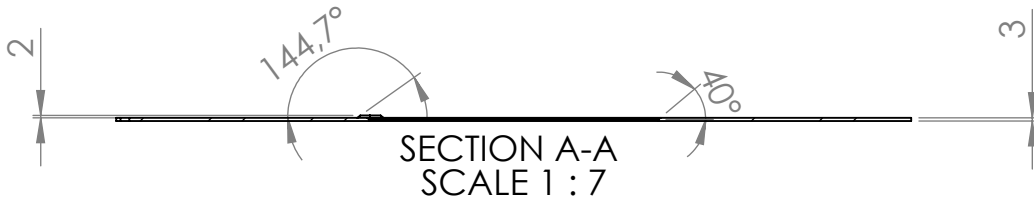
NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			Stainless Steel (ferritic)		
			WEIGHT:		

TITLE:		Porta forno	
DWG NO.	1113255211	A4	
SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1		



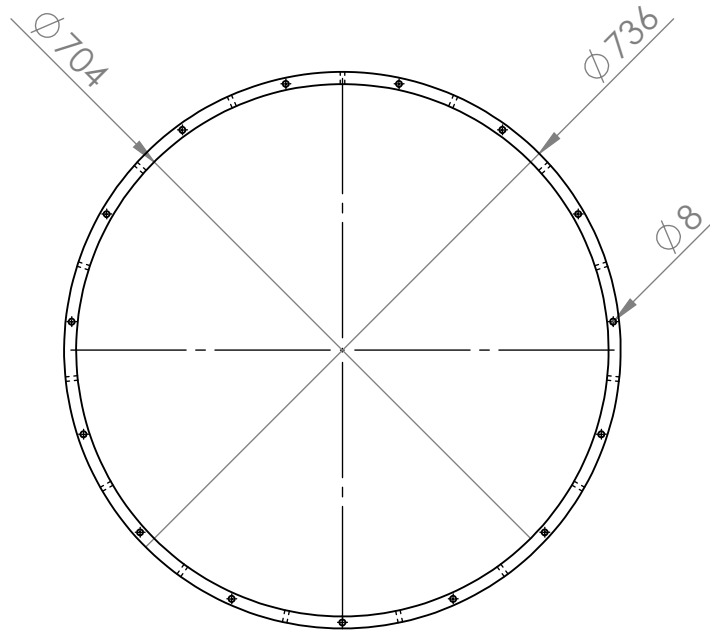
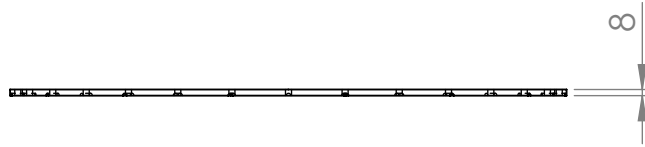
SECTION B-B  
SCALE 1 : 2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Pista de oring interior			
CHK'D								DWG NO. 1214241222			
APPV'D											
MFG								A4			
Q.A											
				MATERIAL:  AISI 304				SCALE:1:3		SHEET 1 OF 1	
				WEIGHT:							

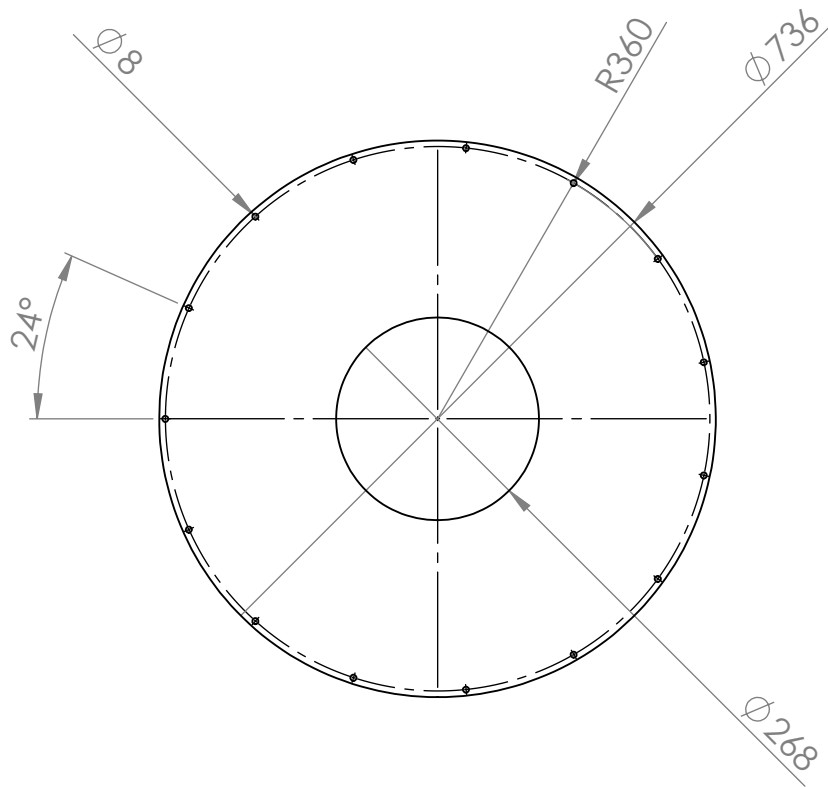


DETAIL D  
SCALE 1 : 3

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Tampa superior-secção inferior			
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL:  AISI 304		DWG NO.  1323233422		A4	
						WEIGHT:		SCALE:1:7		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:  Junta de compressão exterior			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:  AISI 304		DWG NO.  1423233412		A4	
				WEIGHT:		SCALE:1:20		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

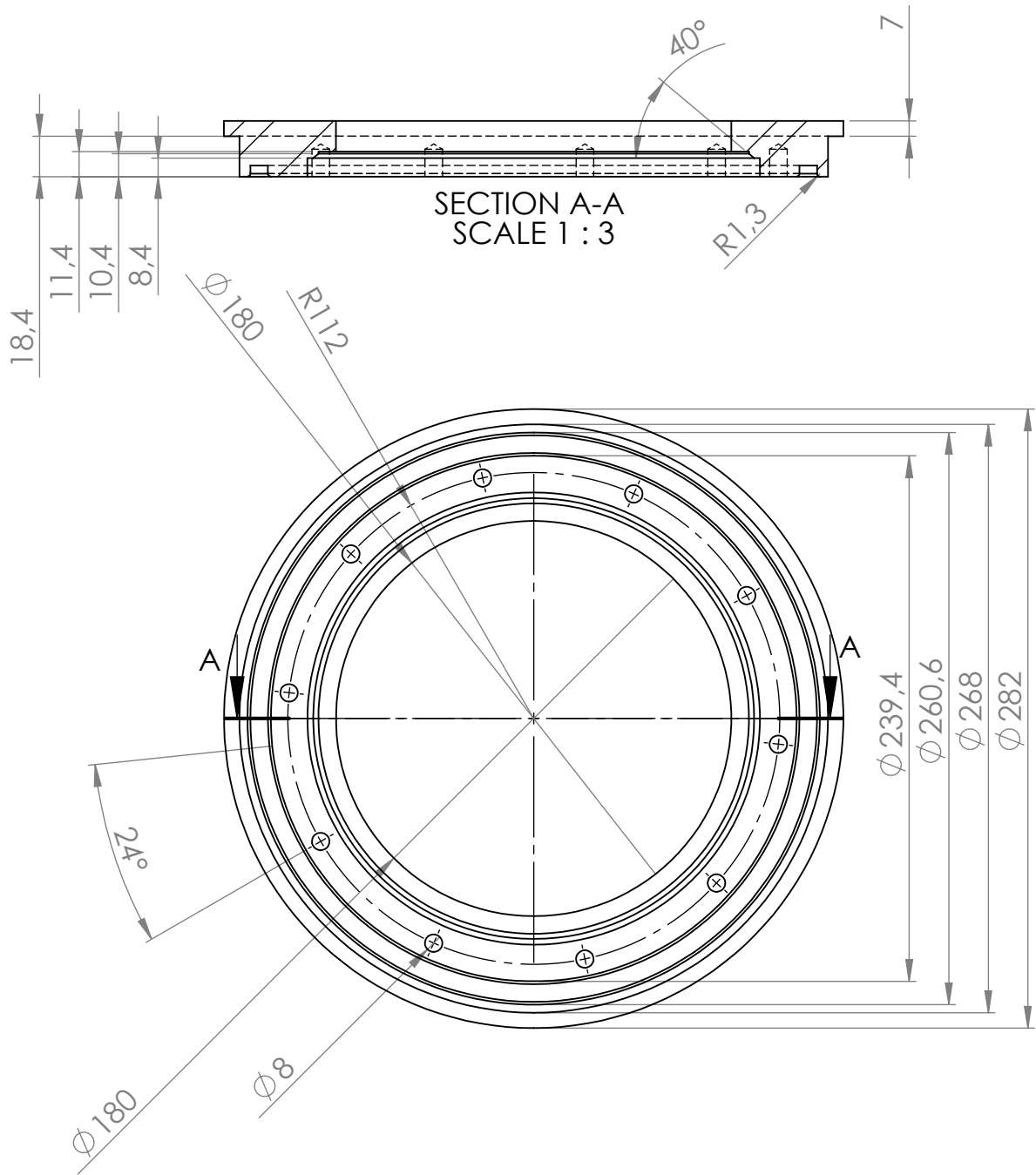
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:		Tampa superior-secção superior	
DWG NO.	1523233422	A4	
SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

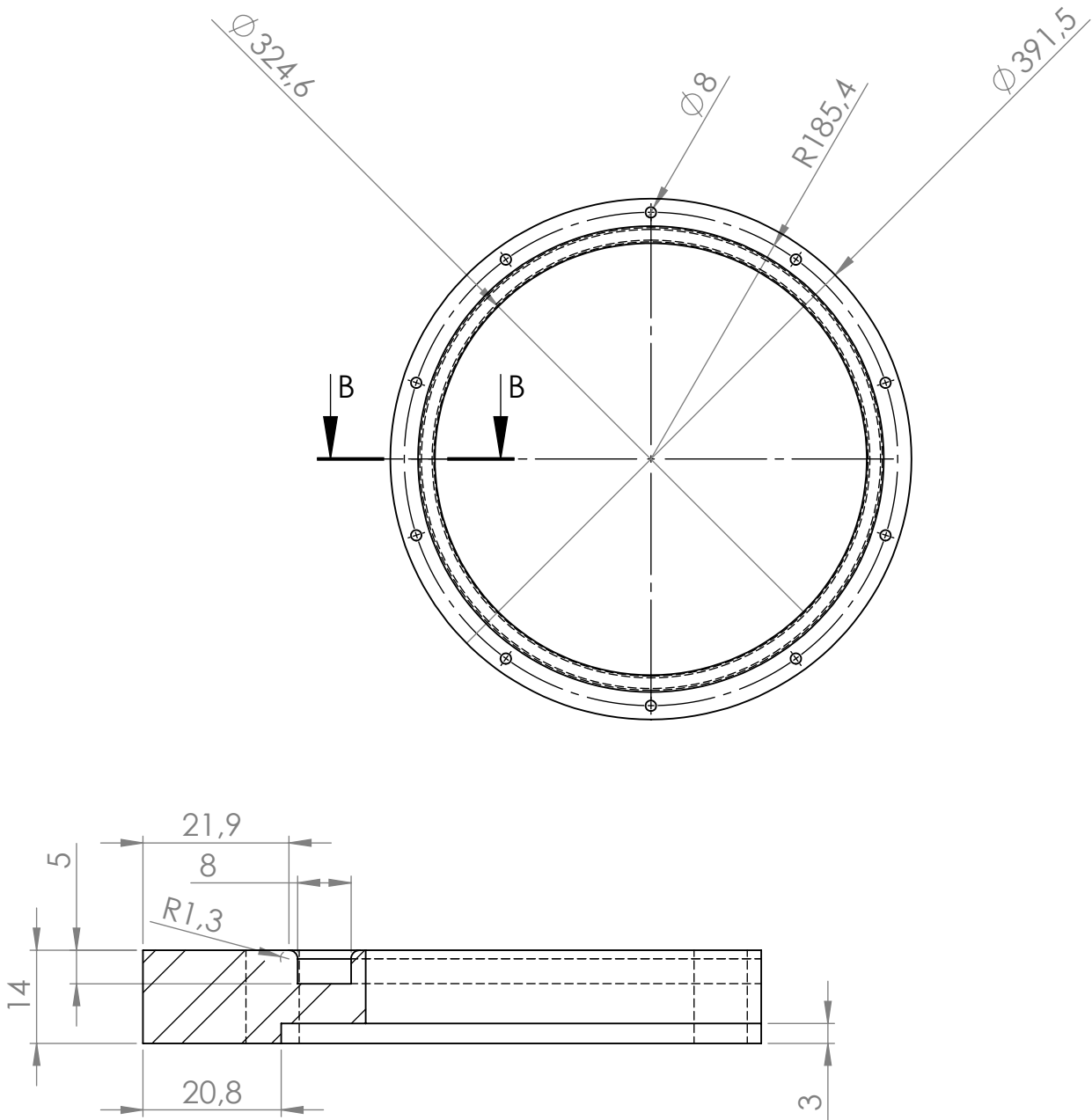
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			AISI 304		
			WEIGHT:		

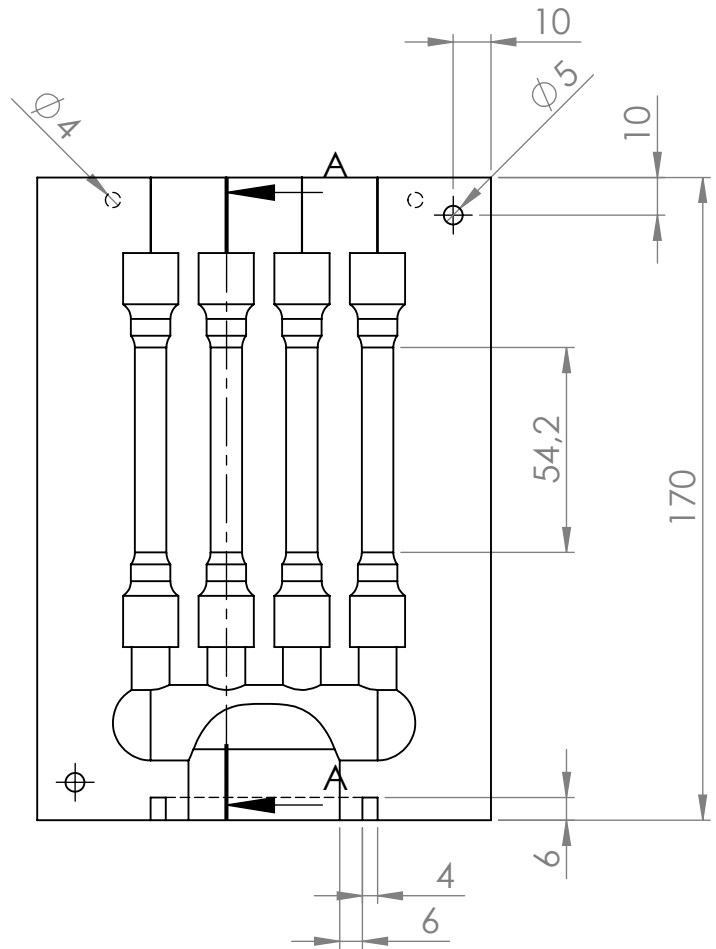
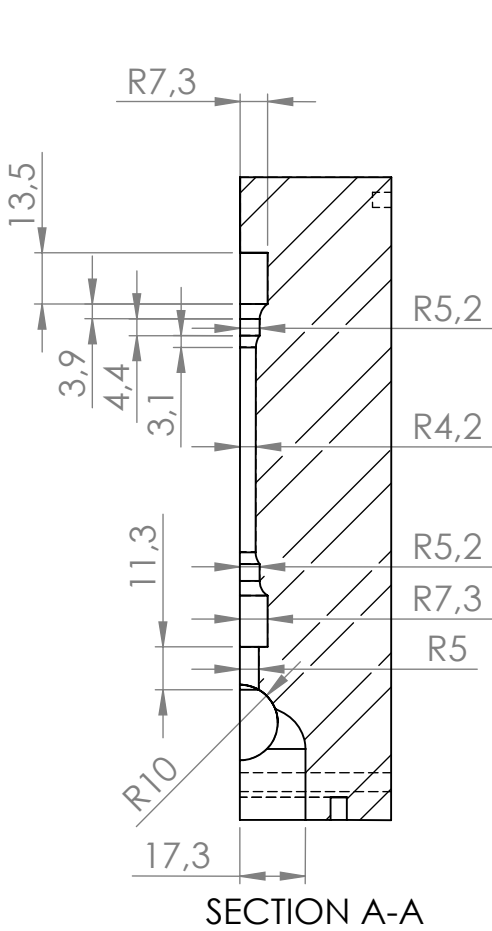
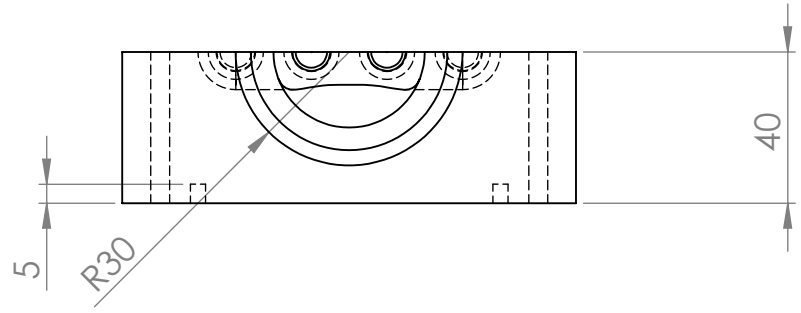
TITLE:		Tampa superior-acoplamento porta forno	
DWG NO.	1623211222	A4	
SCALE:1:3	SHEET 1 OF 1		



SECTION B-B  
SCALE 1 : 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Anel de Aperto de tampa de forno			
CHK'D				SIGNATURE		DATE		DWG NO. 1713253222			
APPV'D				SIGNATURE		DATE		A4			
MFG				SIGNATURE		DATE		SCALE:1:5			
Q.A				SIGNATURE		DATE		SHEET 1 OF 1			
				MATERIAL:  AISI 304		WEIGHT:					





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

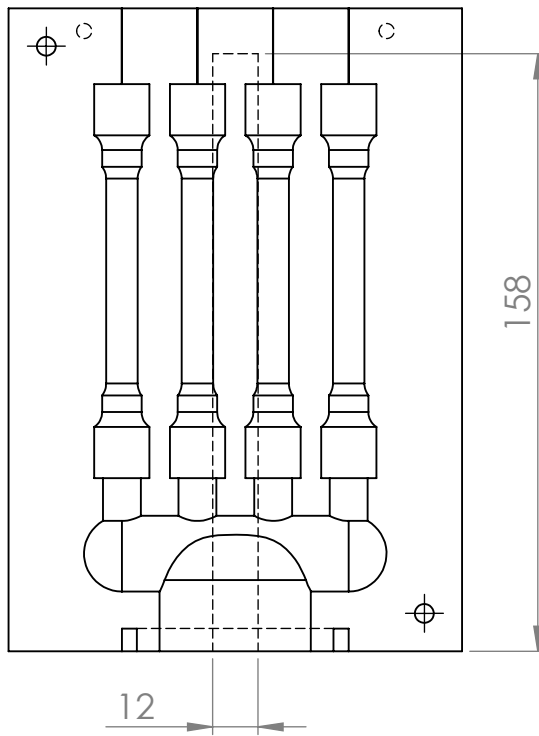
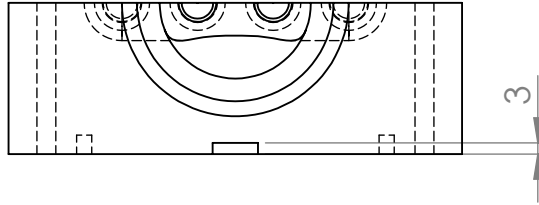
DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL: 1023 Carbon Steel Sheet (SS)		
			WEIGHT:		

TITLE: <b>Meia moldação direita</b>	
DWG NO. <b>1922433741</b>	<b>A4</b>
SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

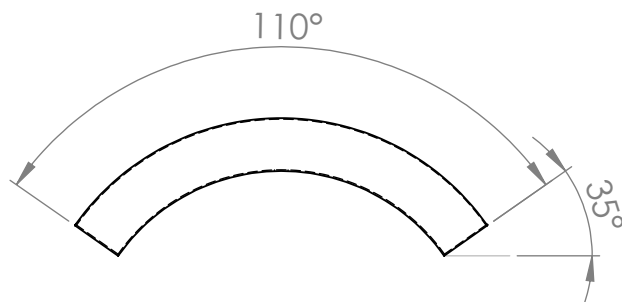
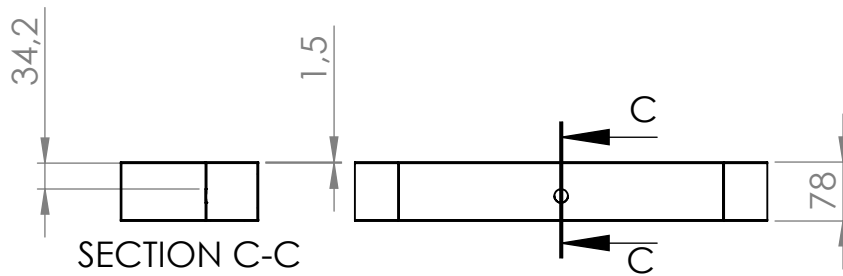
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				1023 Carbon Steel Sheet (SS)	
				WEIGHT:	

TITLE:		Meia moldação esquerda	
DWG NO.	2022433741	A4	
SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				Stainless Steel (ferritic)	
				WEIGHT:	

TITLE:

Depósito de retenção  
de Mg

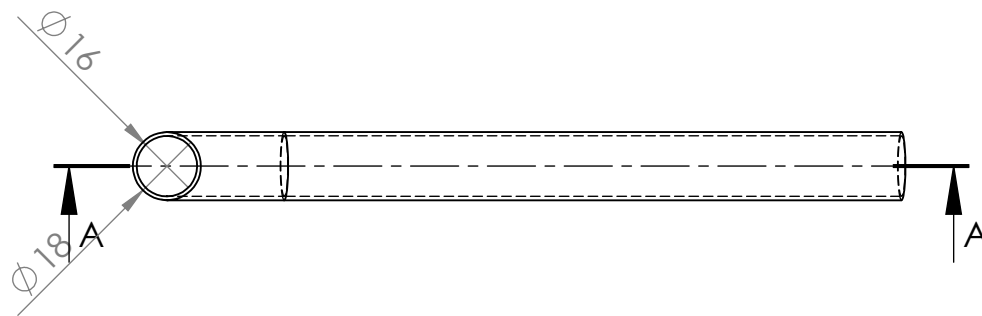
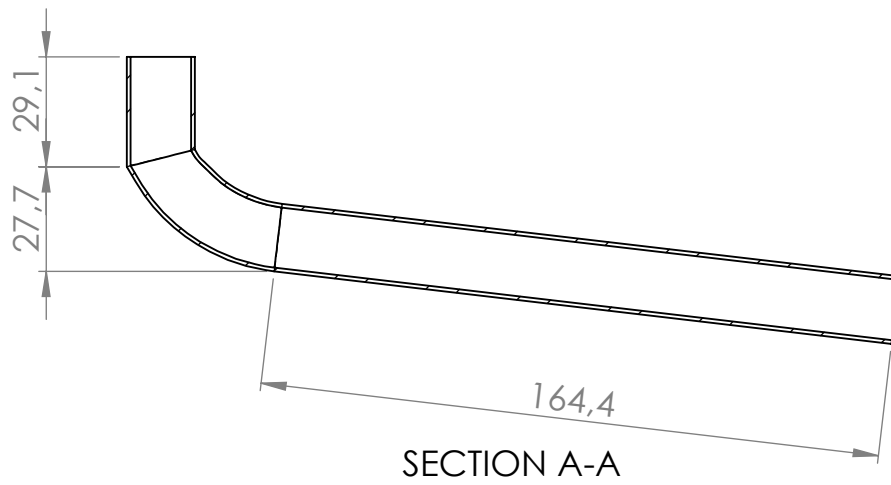
DWG NO.

2114411515

A4

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

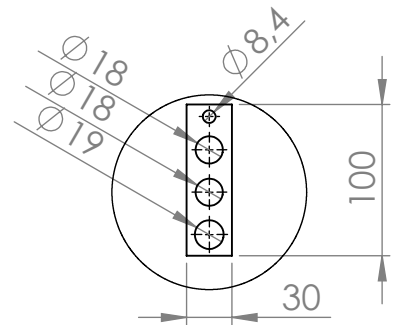
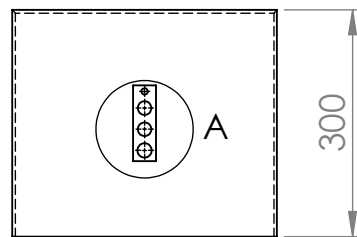
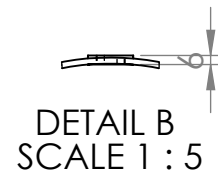
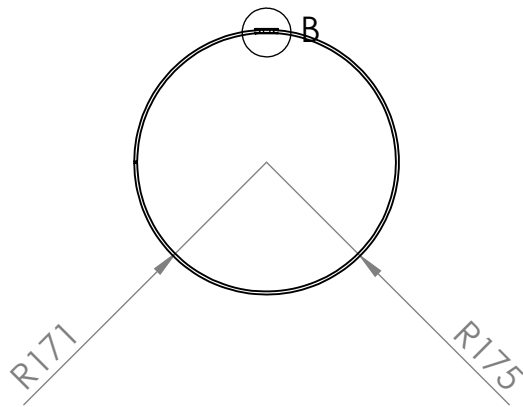
DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:	Tubo de segurança de escoamento de Mg	
DWG NO.	2524111512	A4
SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

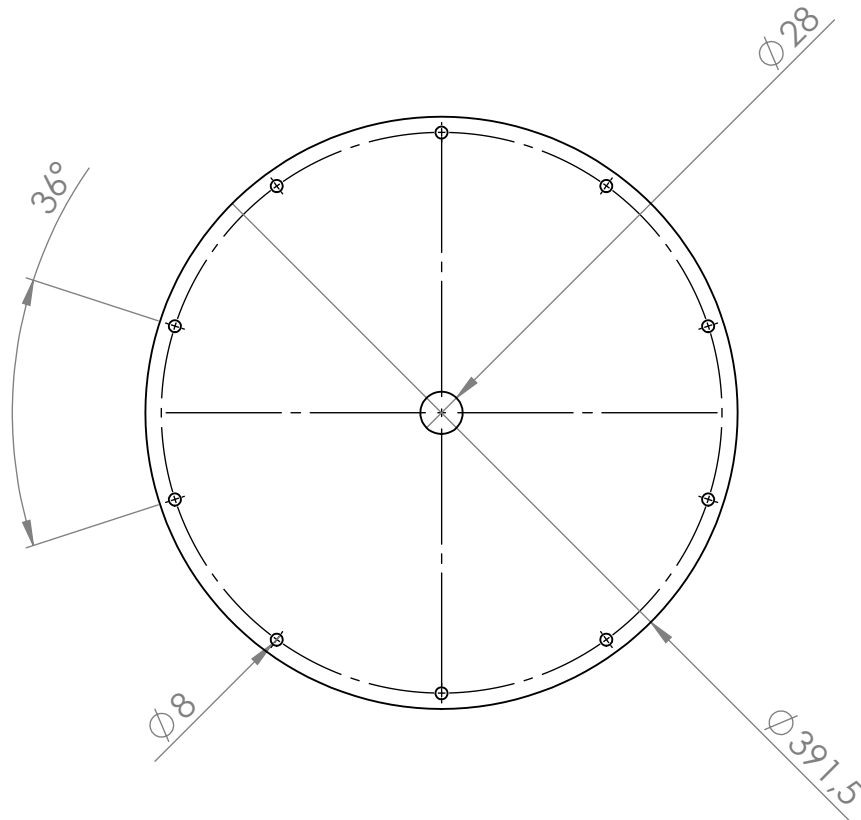
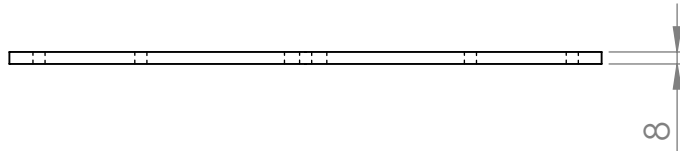
DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:	
Chapa metálica exterior caixa vazamento	
DWG NO.	2721241522
	A4
SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

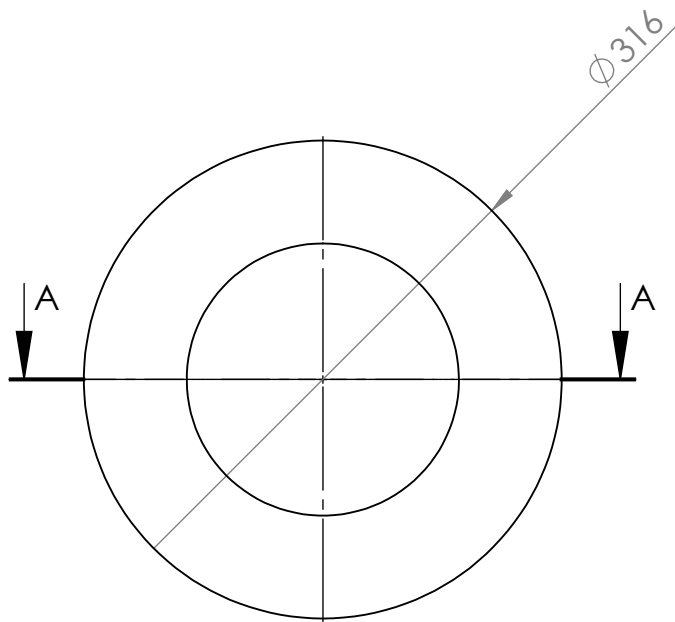
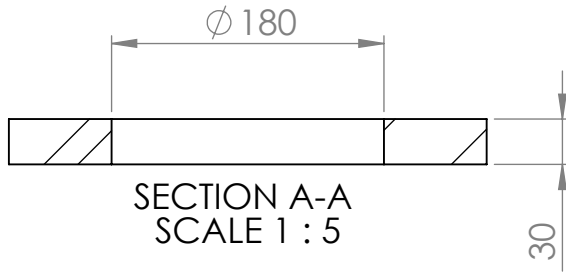
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			AISI 304		
			WEIGHT:		

TITLE:		Porta de caixa de vazamento	
DWG NO.	2823233431	A4	
SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				Alumina-Silica	
				WEIGHT:	

TITLE:

Anel refractário superior resistências/cadinho

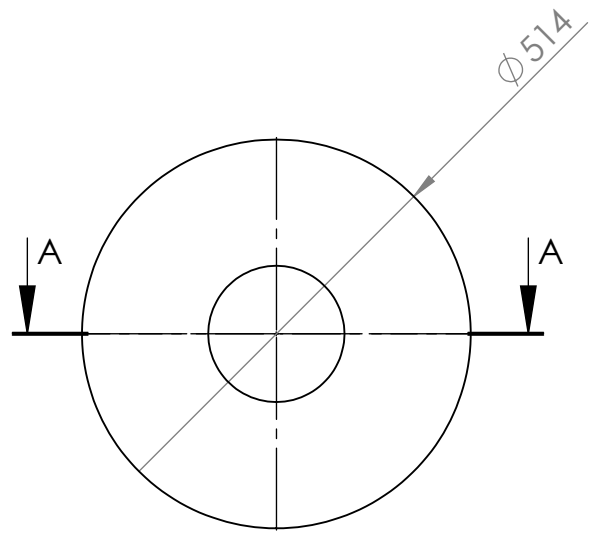
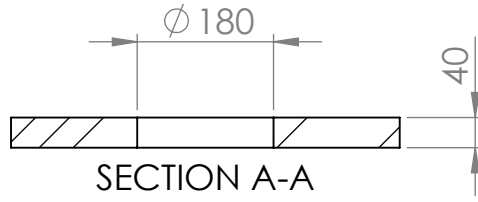
DWG NO.

2934211113

A4

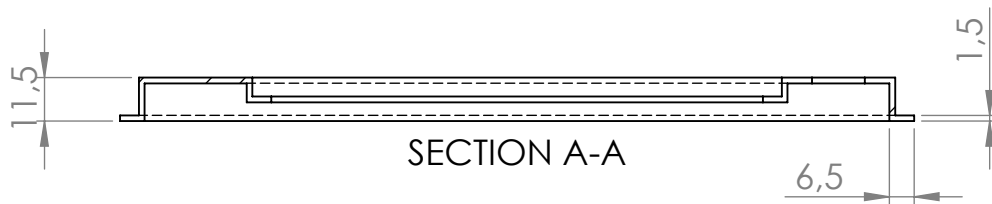
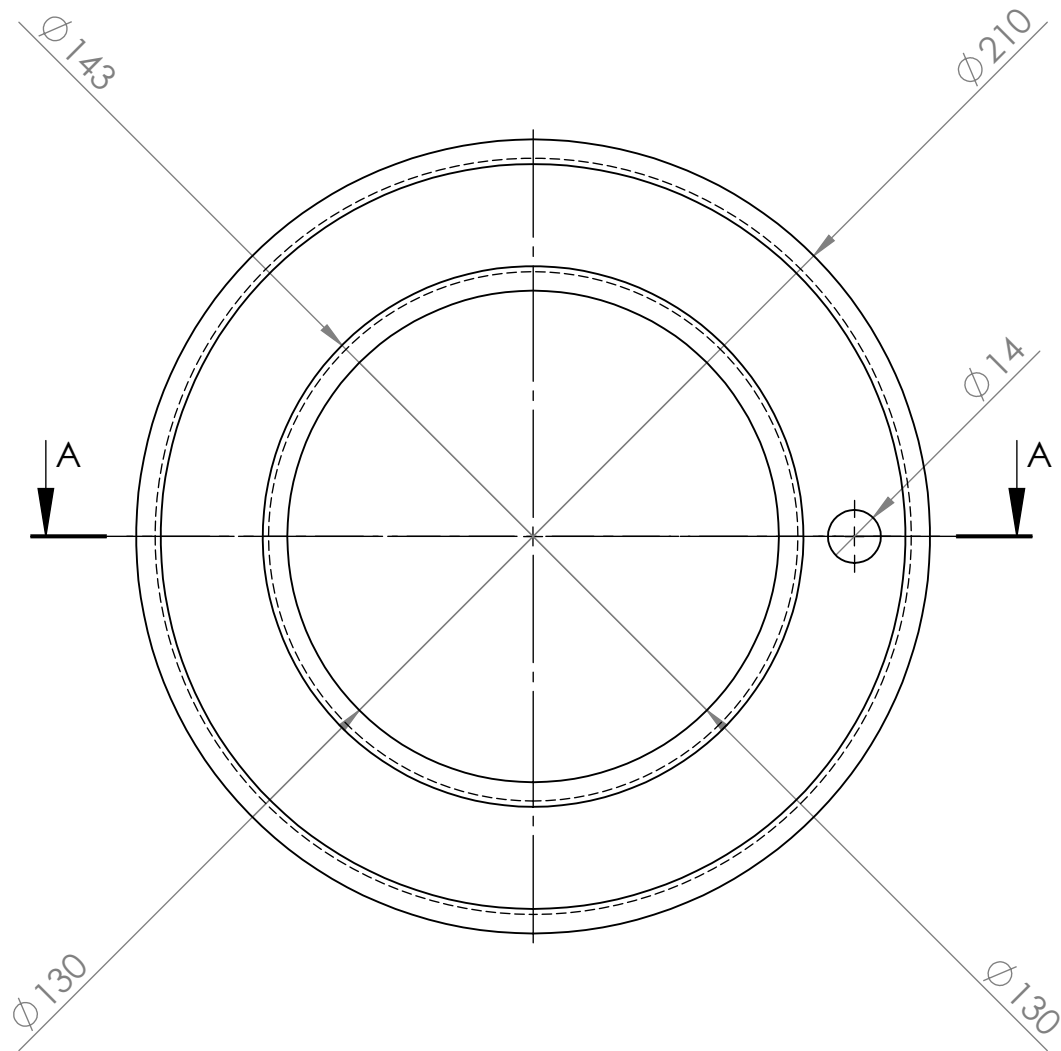
SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:  Placa refractária superior			
DRAWN									
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL: Alumina-Sílica		DWG NO. 3034211113		A4	
				WEIGHT:		SCALE:1:10		SHEET 1 OF 1	





SECTION A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

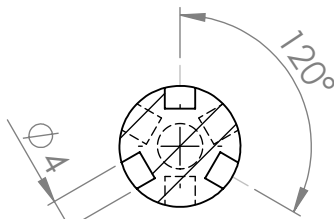
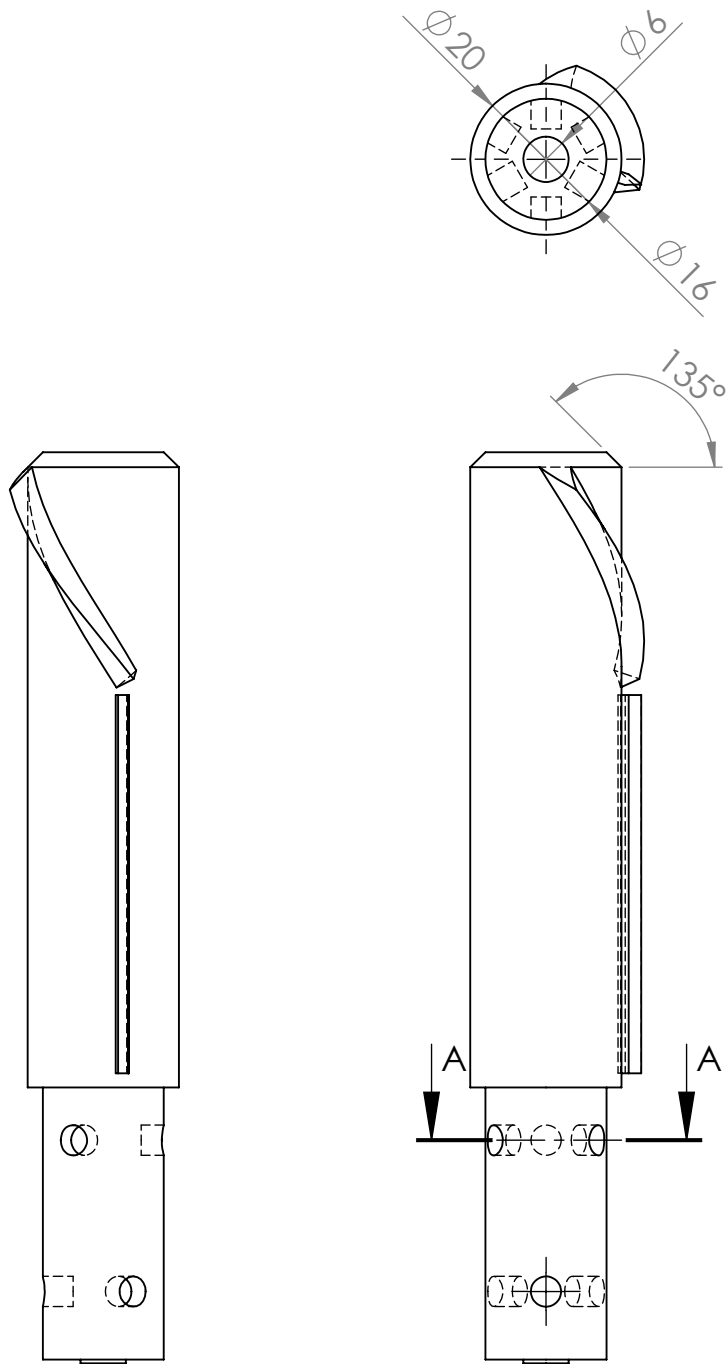
DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL: Stainless Steel (ferritic)		
			WEIGHT:		

TITLE: <b>Cantoneira de escoamento de Mg</b>		DWG NO. <b>3114233614</b>	A4
		SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1



SECTION A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

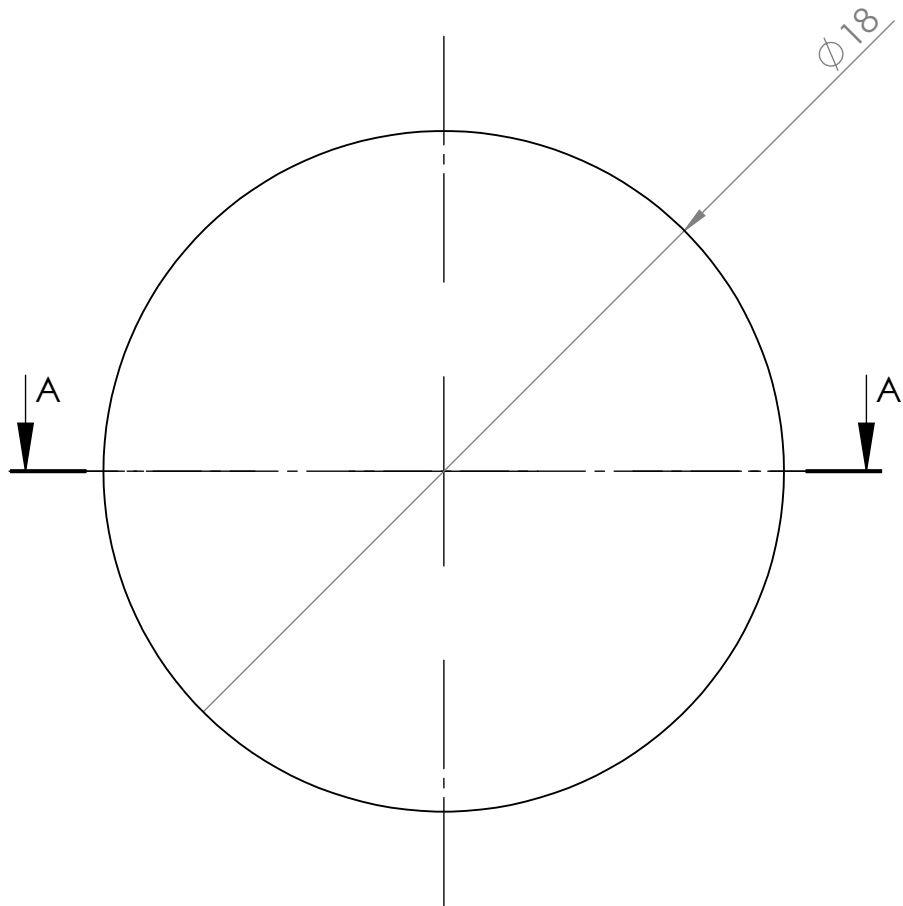
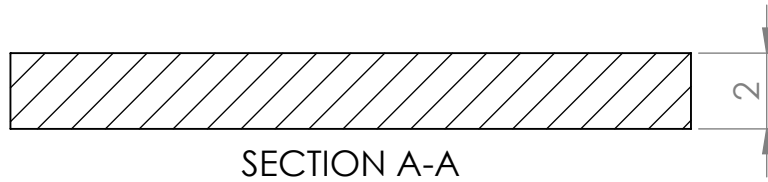
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

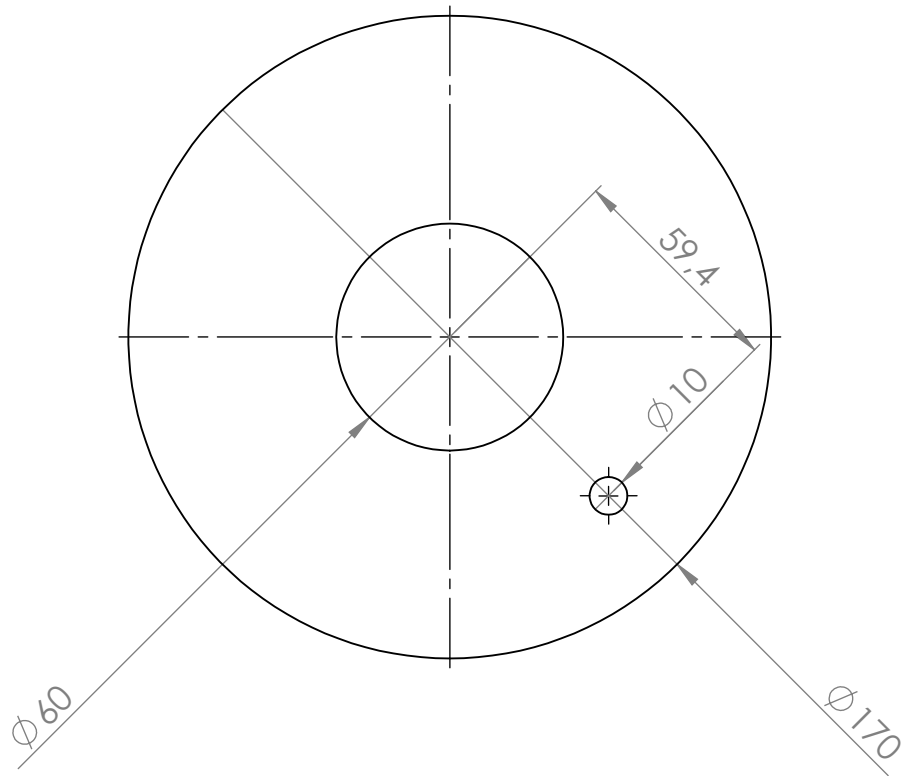
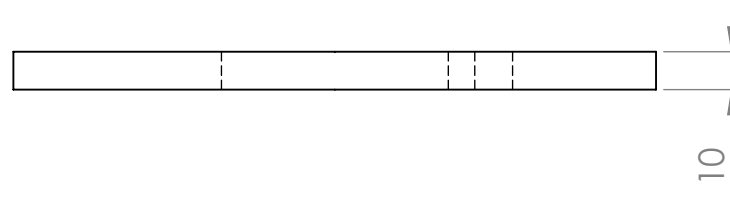
REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			AISI 304		
			WEIGHT:		

TITLE:		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Veio de transporte da coquilha e pistola de insuflação					
DWG NO.	3214141314			A4	
SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:  Tampão de segurança			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL: Zinc AC41A Alloy, As Cast		DWG NO. 3614111212		A4	
				WEIGHT:		SCALE:5:1		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				Stainless Steel (ferritic)	
				WEIGHT:	

TITLE:

Chapa metálica de sustentação do refractário

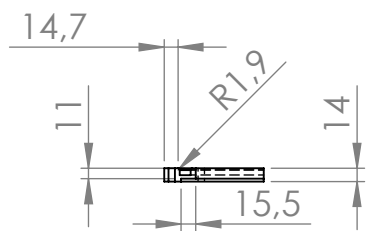
DWG NO.

3711133214

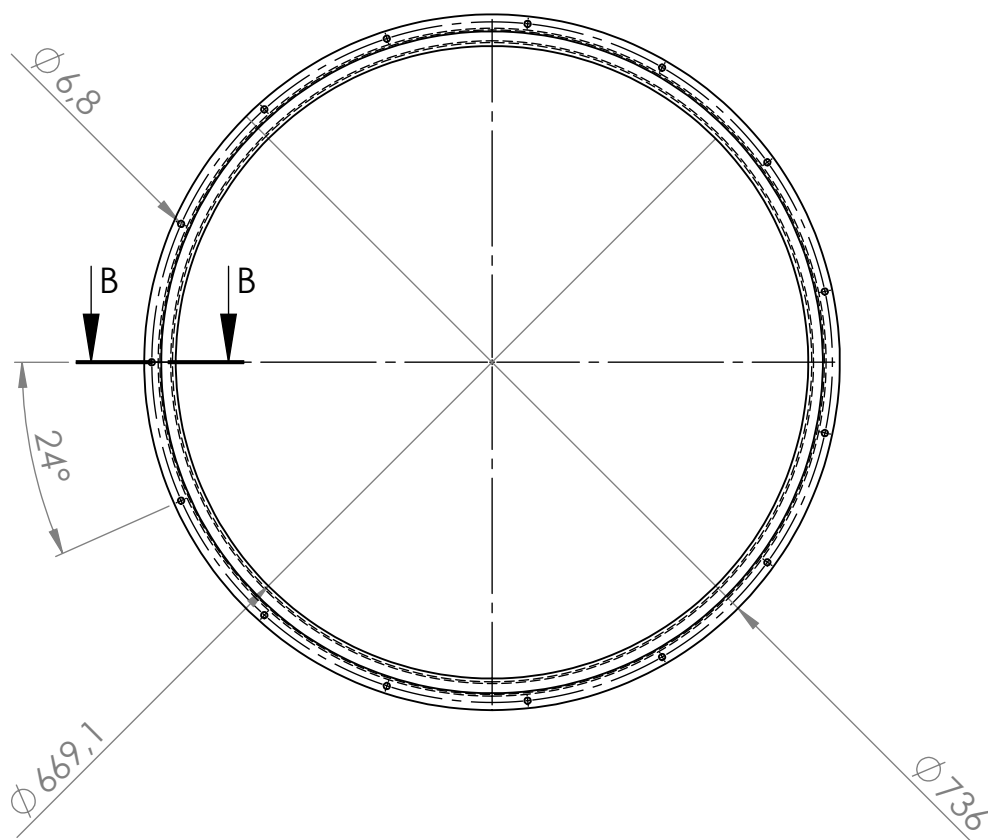
A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



SECTION B-B  
SCALE 1 : 8



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

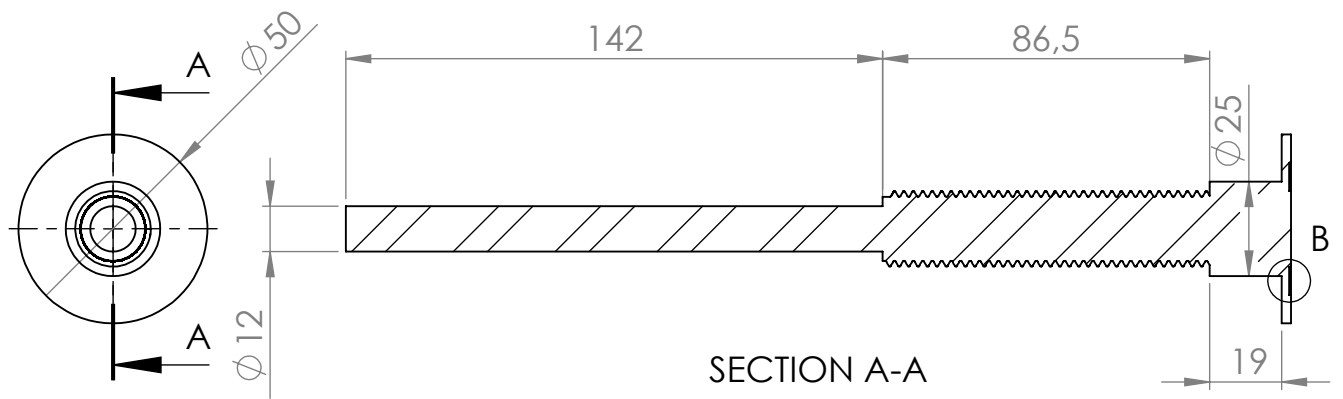
DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

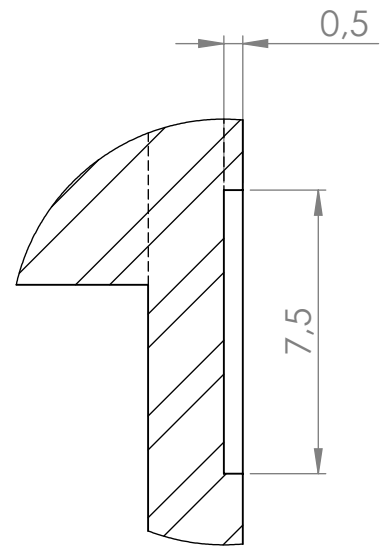
REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:		Anel de Aperto de tampa de forno	
DWG NO.			
MATERIAL:		AISI 304	
WEIGHT:		SCALE:1:8	
SHEET 1 OF 1		A4	

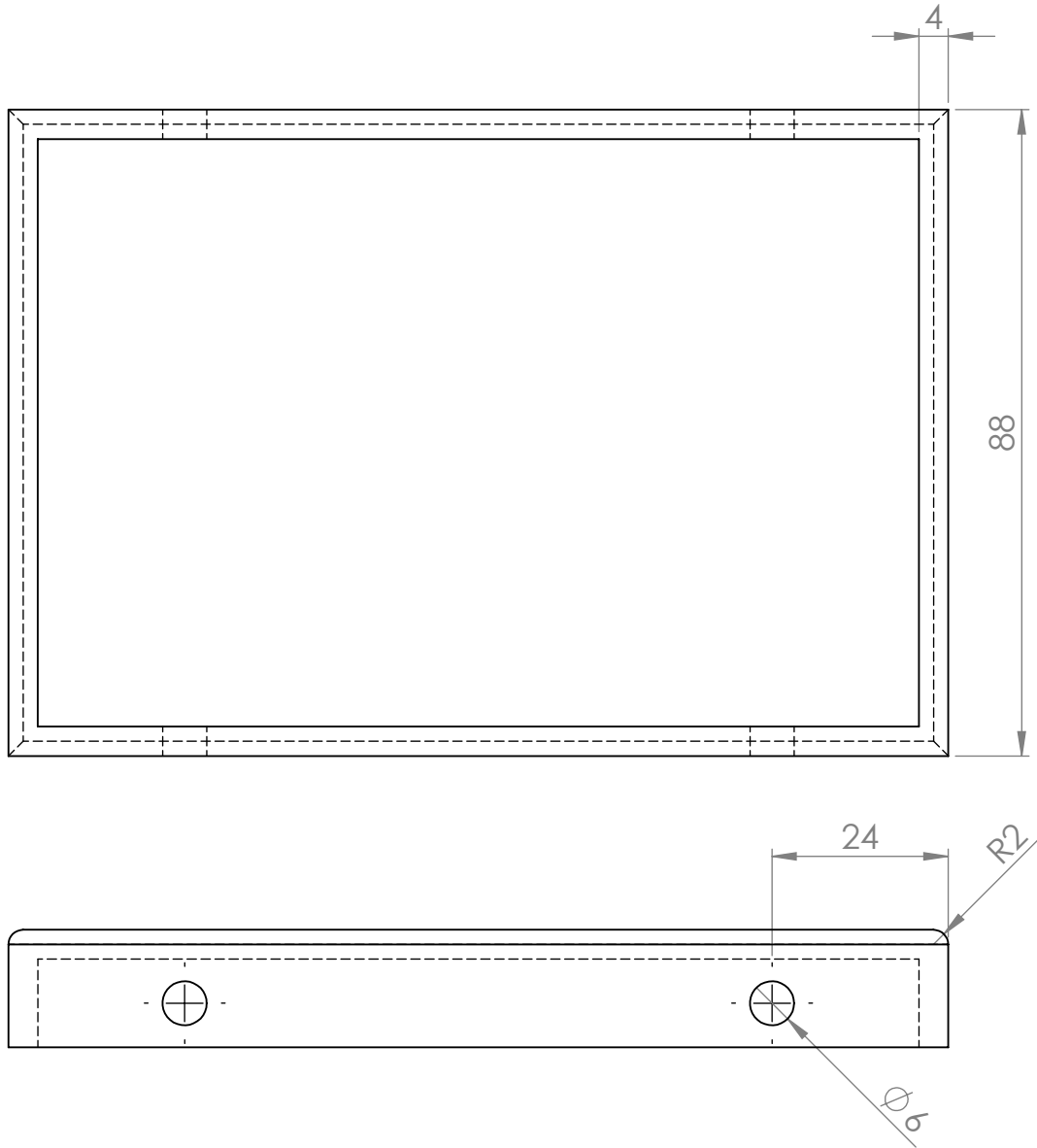


SECTION A-A



DETAIL B  
SCALE 5 : 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Veio de aberto da coquilha			
CHK'D				SIGNATURE		DATE		DWG NO. 4214141314			
APPV'D				SIGNATURE		DATE		A4			
MFG				SIGNATURE		DATE		SCALE:1:2			
Q.A				SIGNATURE		DATE		SHEET 1 OF 1			
MATERIAL: Alloy Steel				WEIGHT:		SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

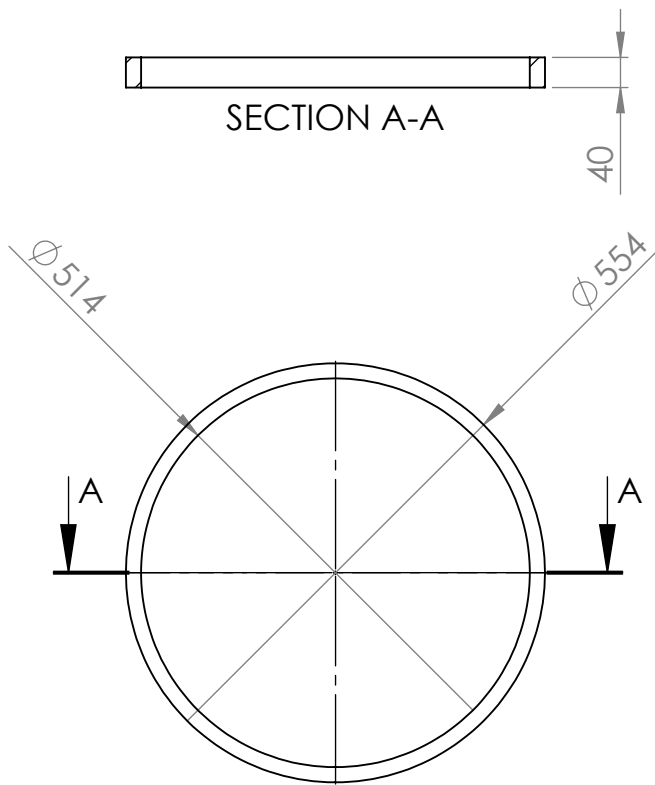
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			AISI 316 Stainless Steel Sheet (S)		
			WEIGHT:		

TITLE:		Placa de compressão de coquilha	
DWG NO.	4314433214	A4	
SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

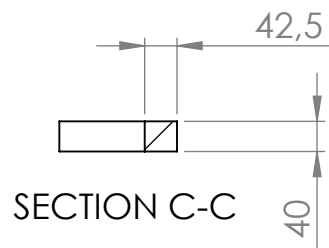
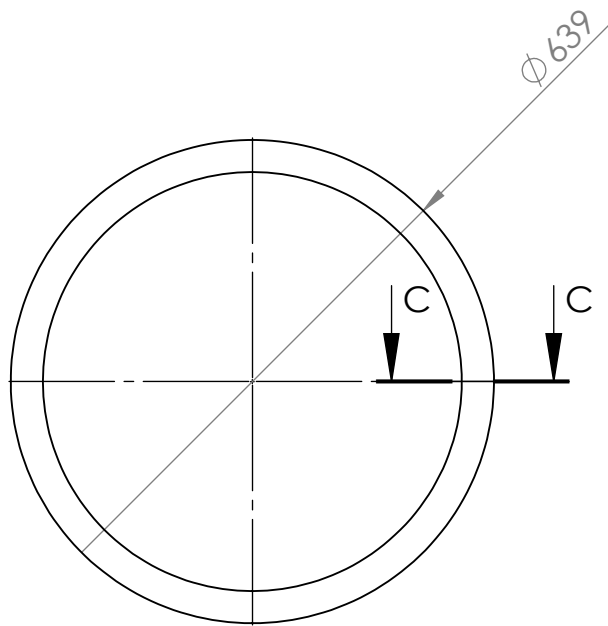
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				Alumina-Silica	
				WEIGHT:	

TITLE:		Anel de barreira ao fluxo térmico	
DWG NO.	4434211113	A4	
SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1		





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

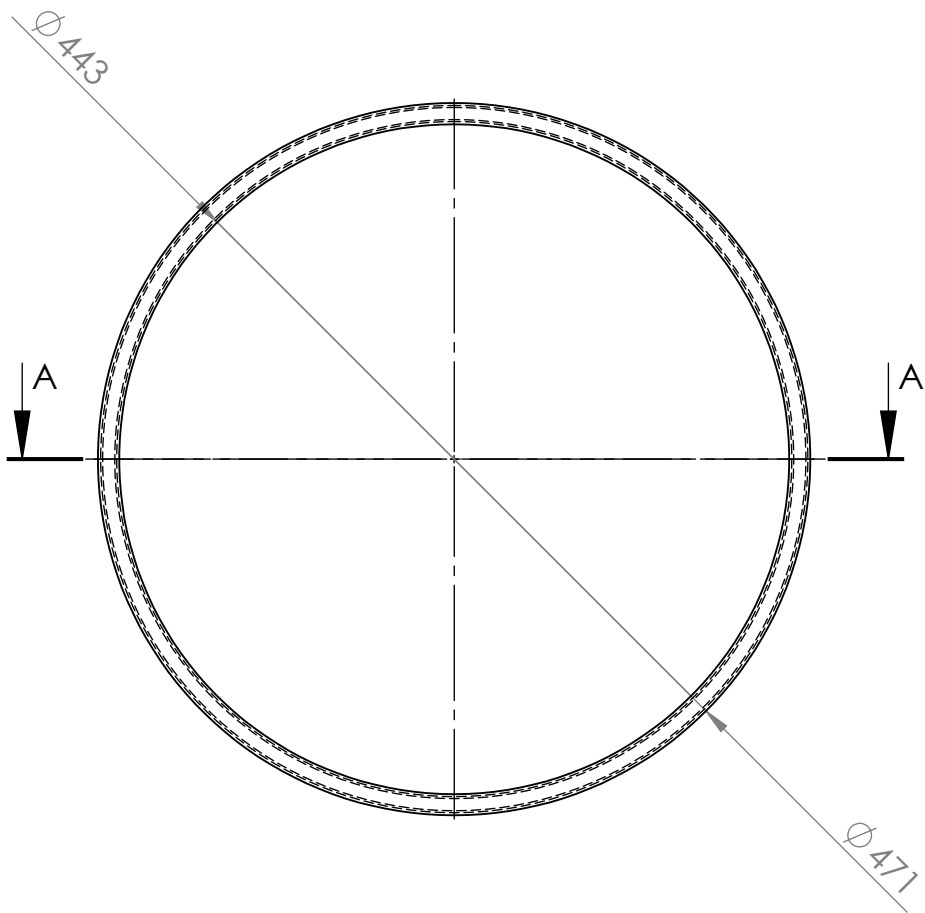
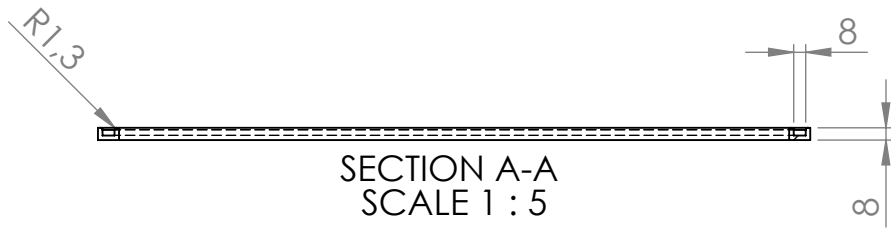
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
					Alumina-Silica
				WEIGHT:	

TITLE:		Anel de refractário superior	
DWG NO.	4534211113	A4	
SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

Pista de o-ring exterior

DWG NO.

4723241222

A4

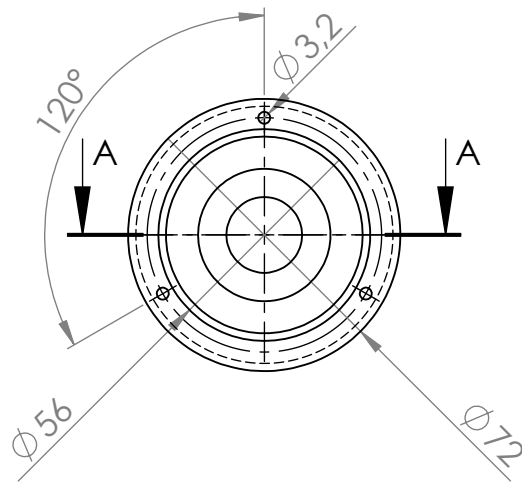
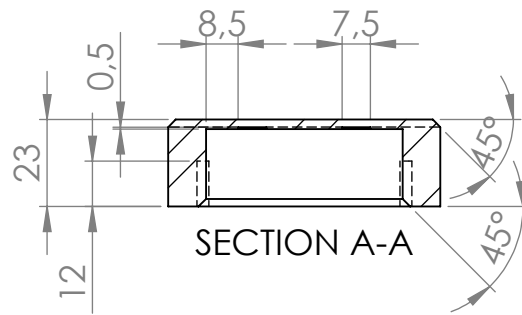
MATERIAL:

AISI 304

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1

WEIGHT:



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

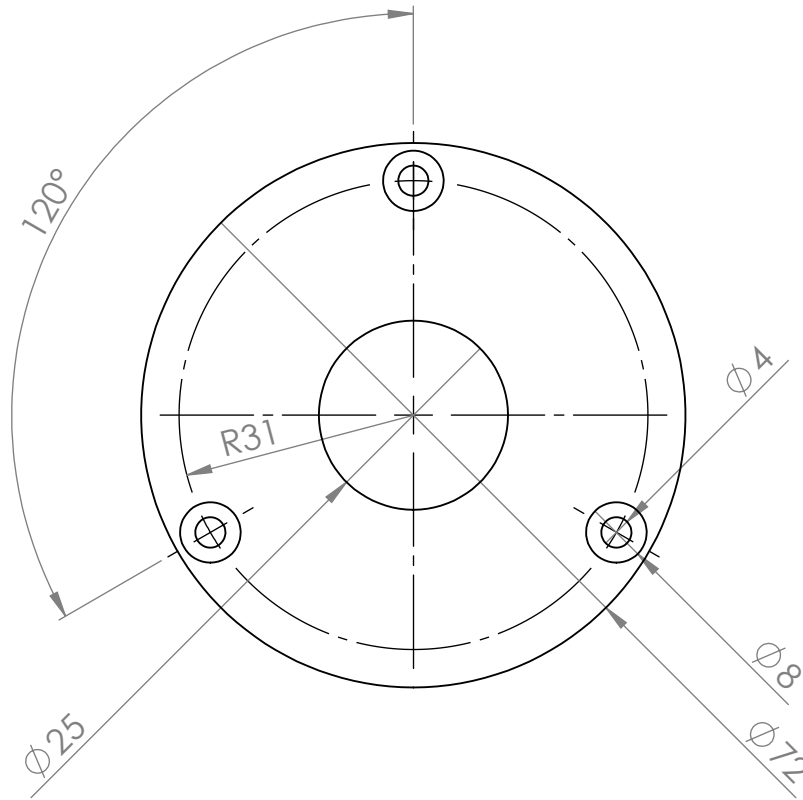
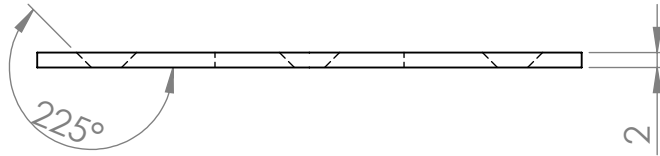
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			1023 Carbon Steel Sheet (SS)		
			WEIGHT:		

TITLE:		Alojamento de rolamento	
DWG NO.			
SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:

Tampa de alojamiento de rolamentos

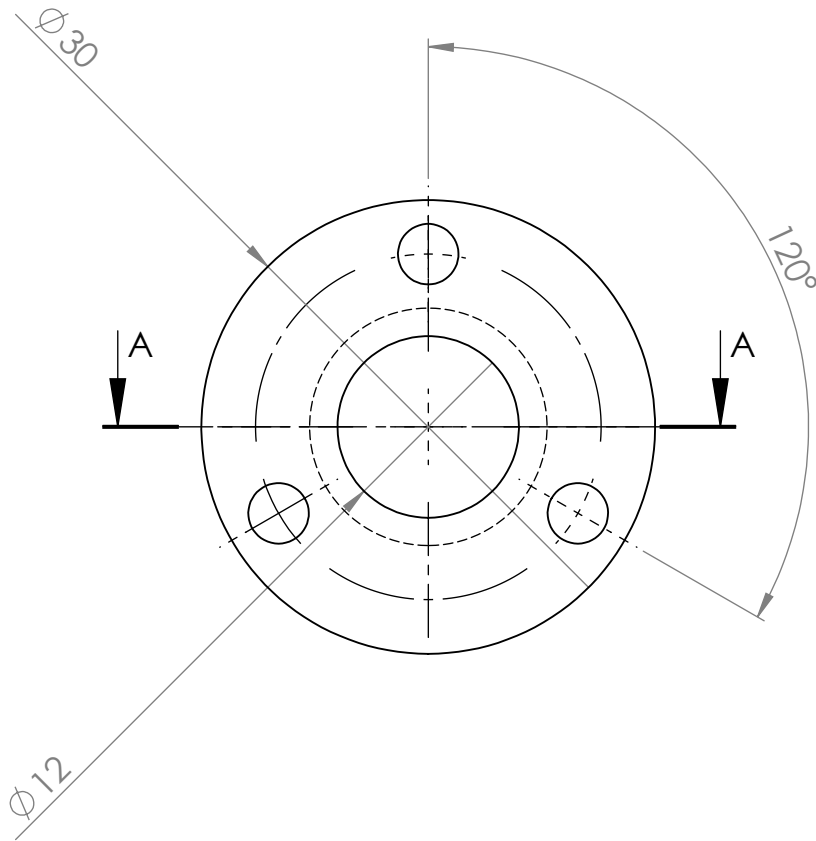
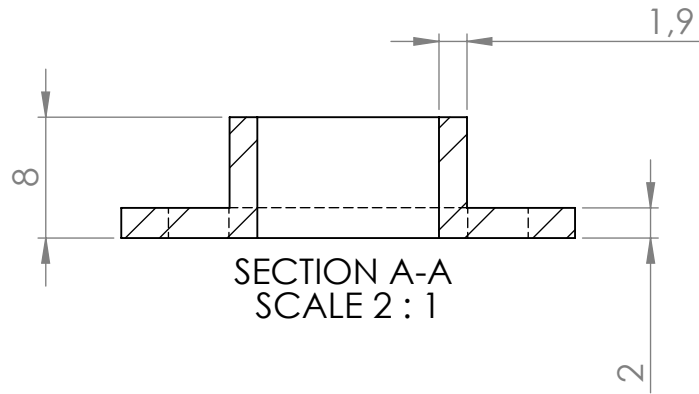
DWG NO.

4911133211

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)		
			WEIGHT:		

TITLE:

Disco de compressão axial de o-rings

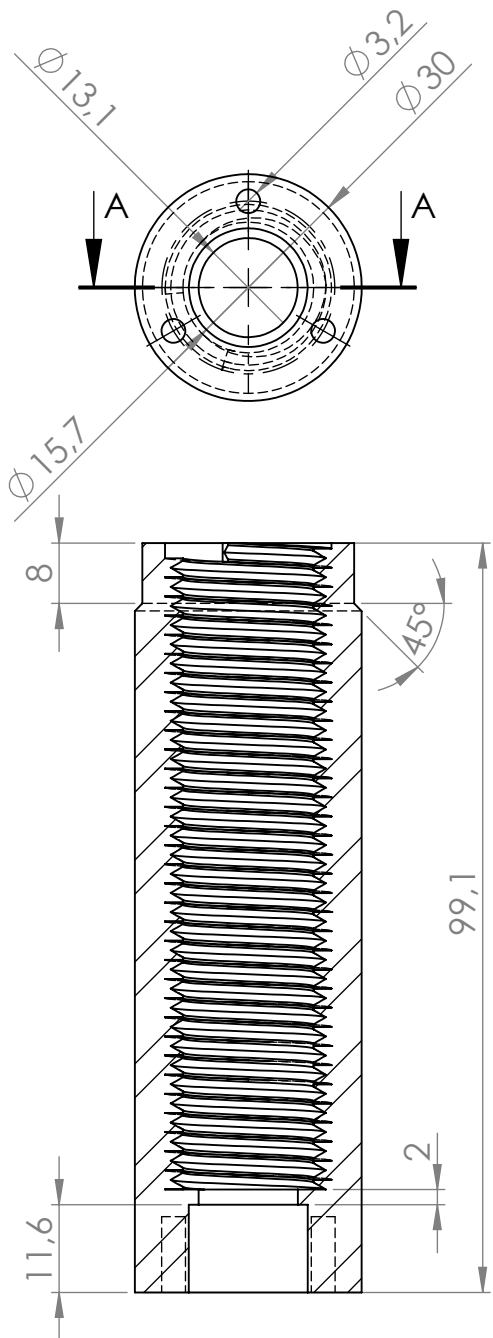
DWG NO.

5013133331

A4

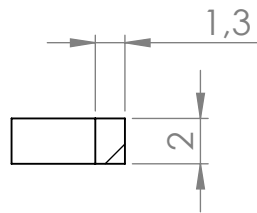
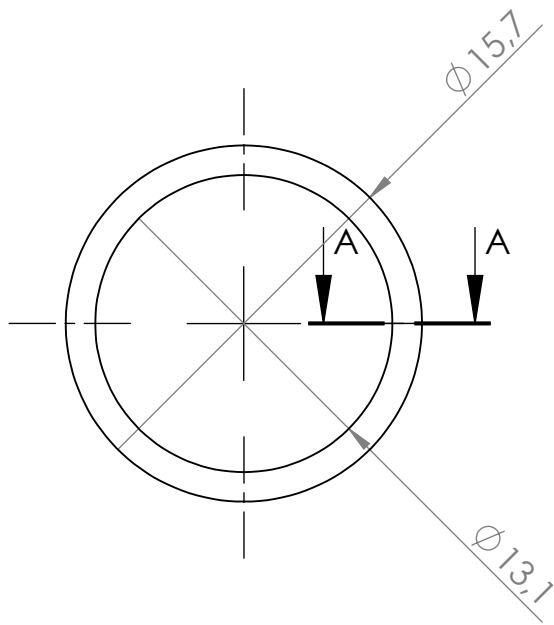
SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



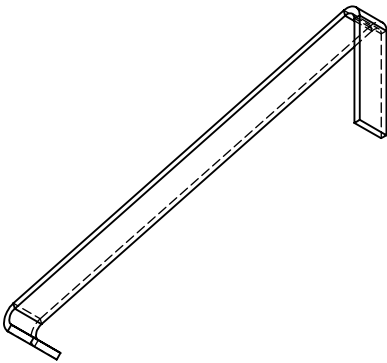
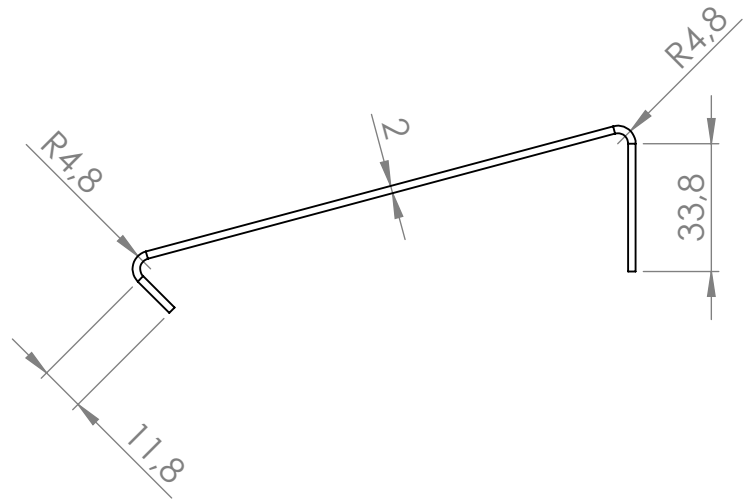
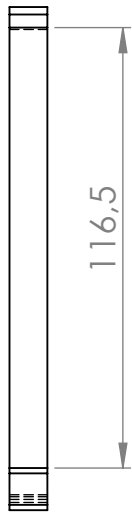
SECTION A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Camisa de veio roscada			
CHK'D				SIGNATURE		DATE		DWG NO. 5113133332			
APPV'D				SIGNATURE		DATE		SCALE:1:1			
MFG				SIGNATURE		DATE		SHEET 1 OF 1			
Q.A				SIGNATURE		DATE		MATERIAL: AISI 304		A4	
				SIGNATURE		DATE		WEIGHT:			



SECTION A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Anel separador de o-rings			
CHK'D				SIGNATURE		DATE		DWG NO. 5213132444			
APPV'D				SIGNATURE		DATE		A4			
MFG				SIGNATURE		DATE		SCALE:3:1			
Q.A				SIGNATURE		DATE		SHEET 1 OF 1			
				MATERIAL:  AISI 304		WEIGHT:					



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
				AISI 304	
			WEIGHT:		

TITLE:

Guia anti-rotação de coquilha

DWG NO.

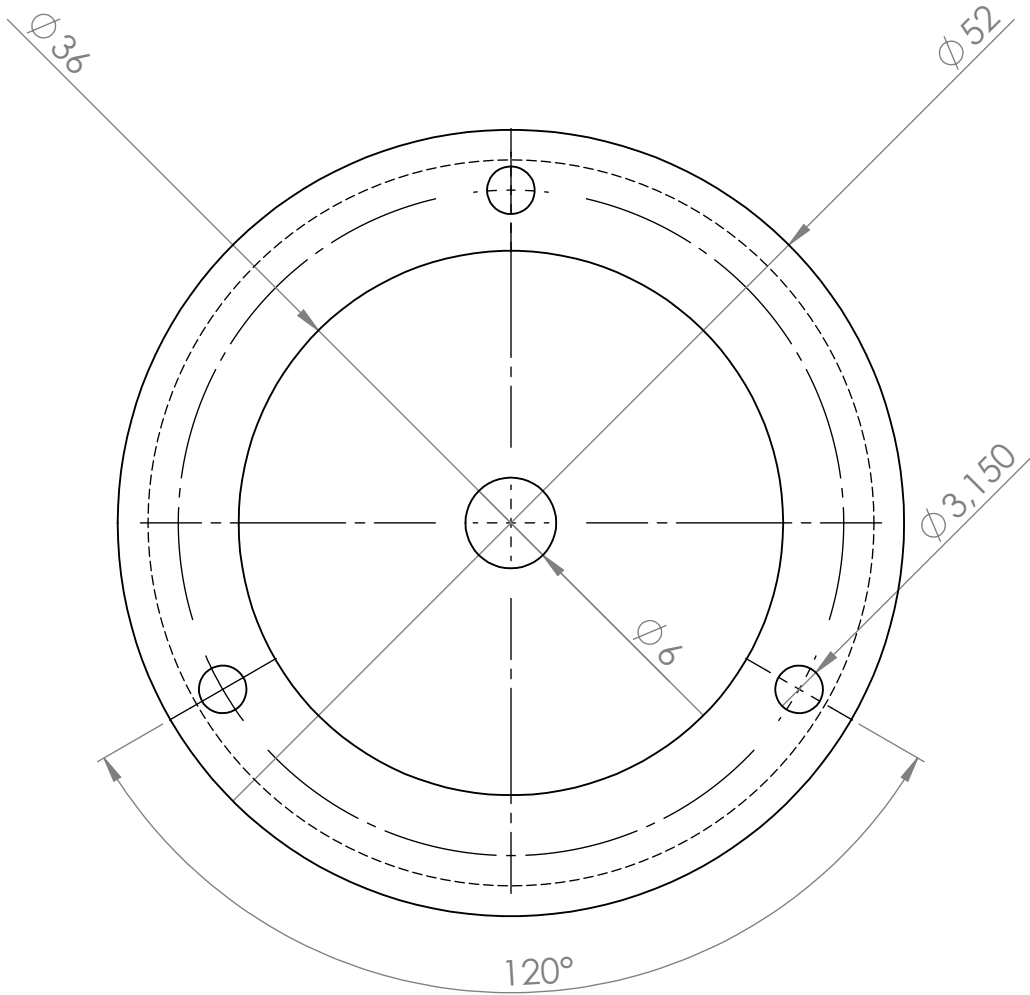
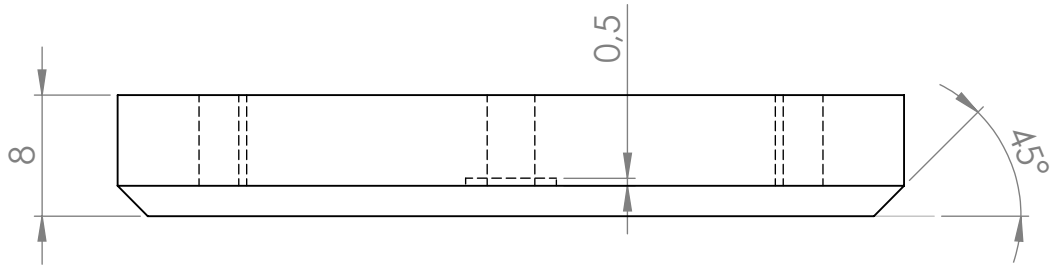
5314411512

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

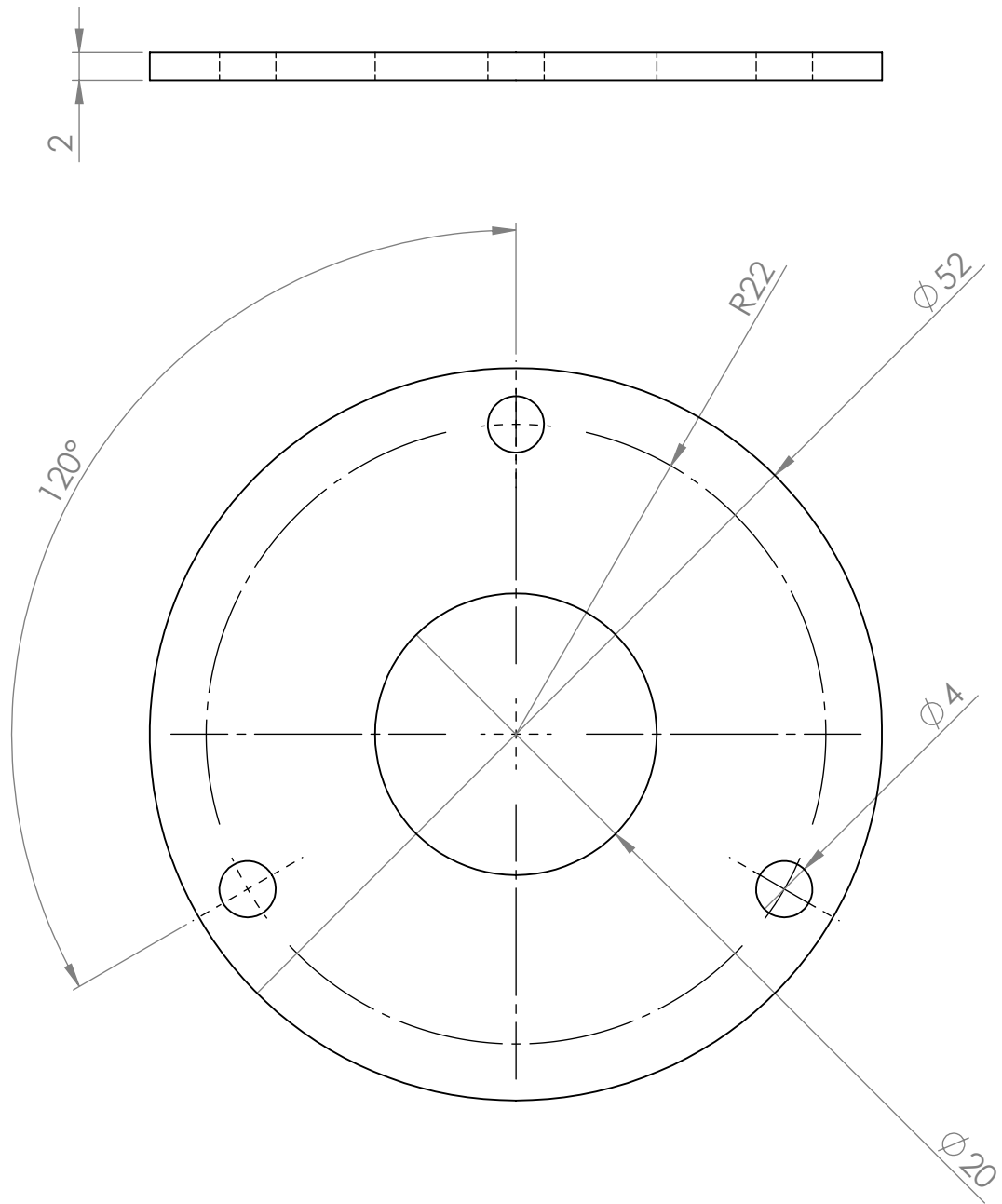
DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:	Base de assento de guia de coquilha	
DWG NO.	5414124232	A4
SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:

Disco de fixação de suporte de insuflação

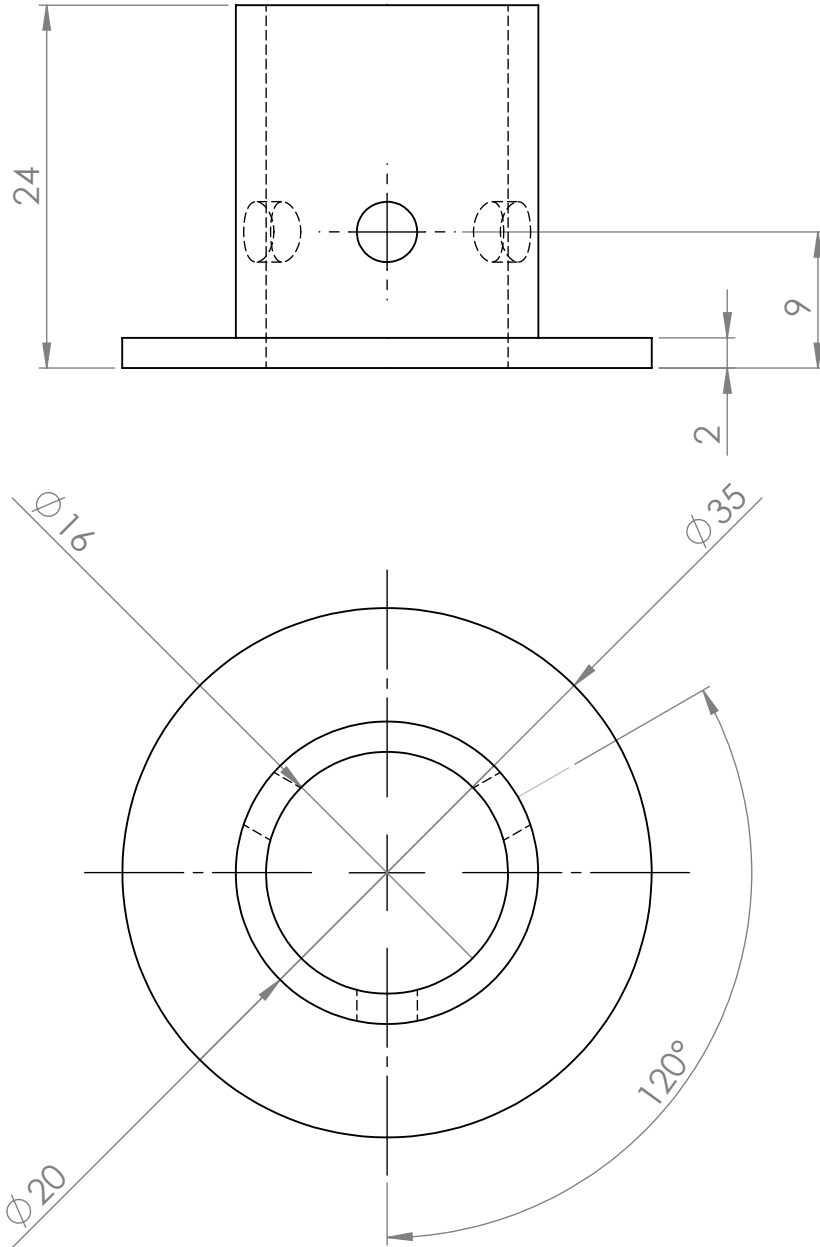
DWG NO.

5514133431

A4

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:

Fixação de guia

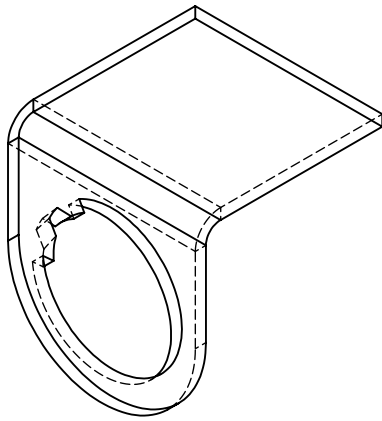
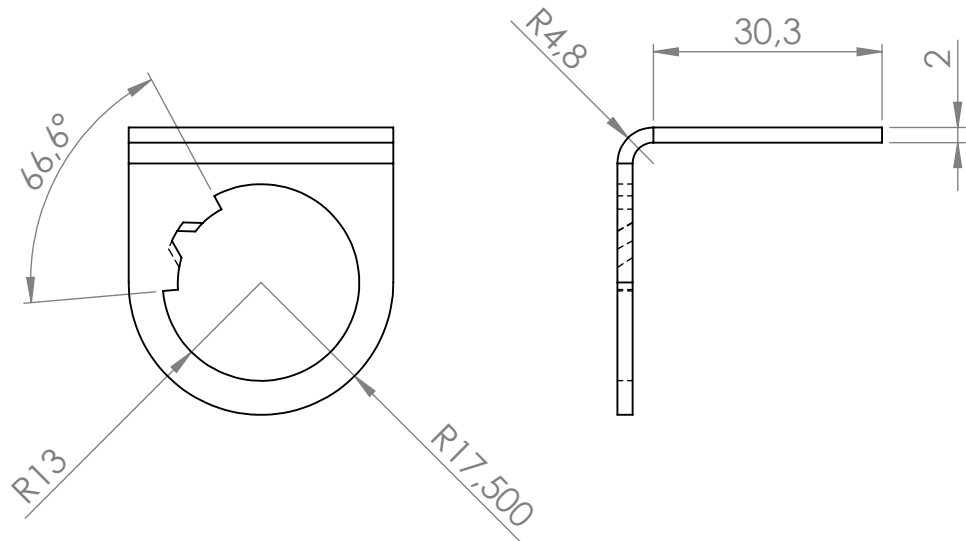
DWG NO.

5614133331

A4

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:

Guia/accionador de haste de insuflacção

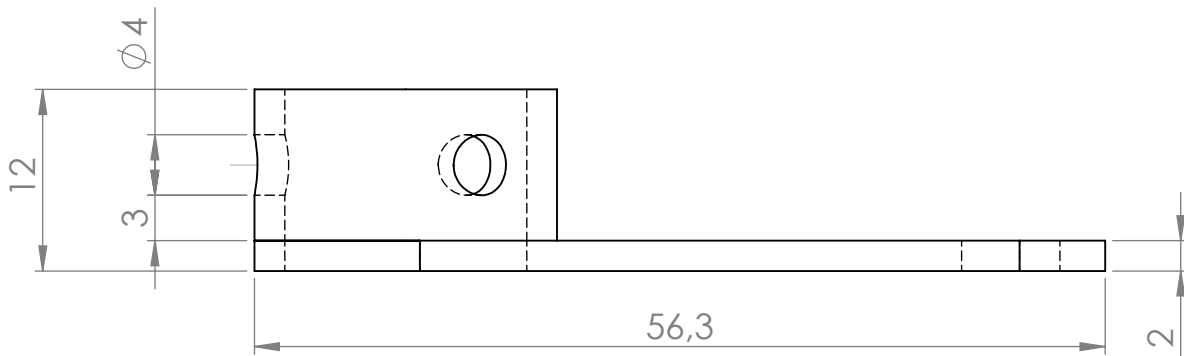
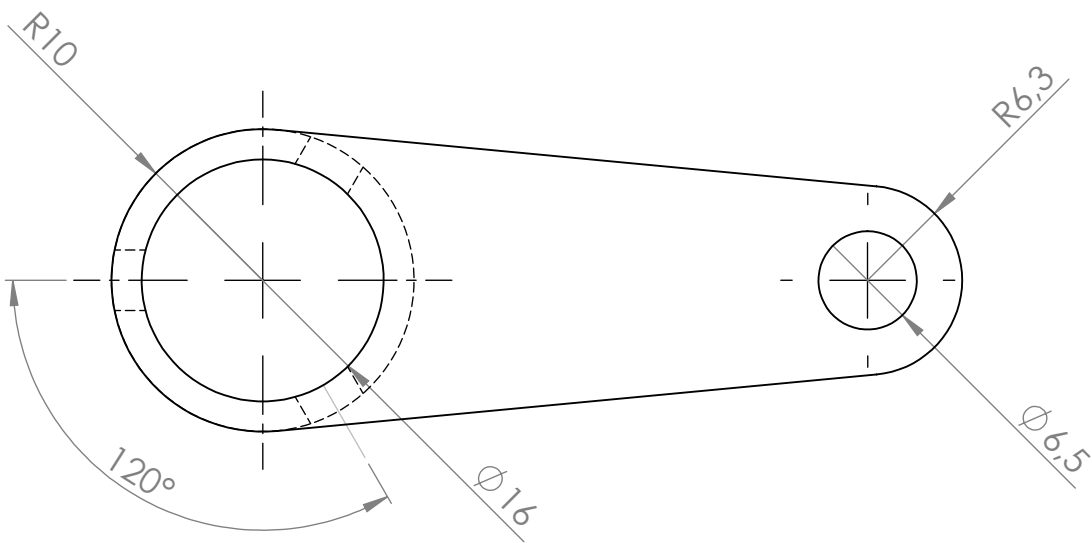
DWG NO.

5712144212

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

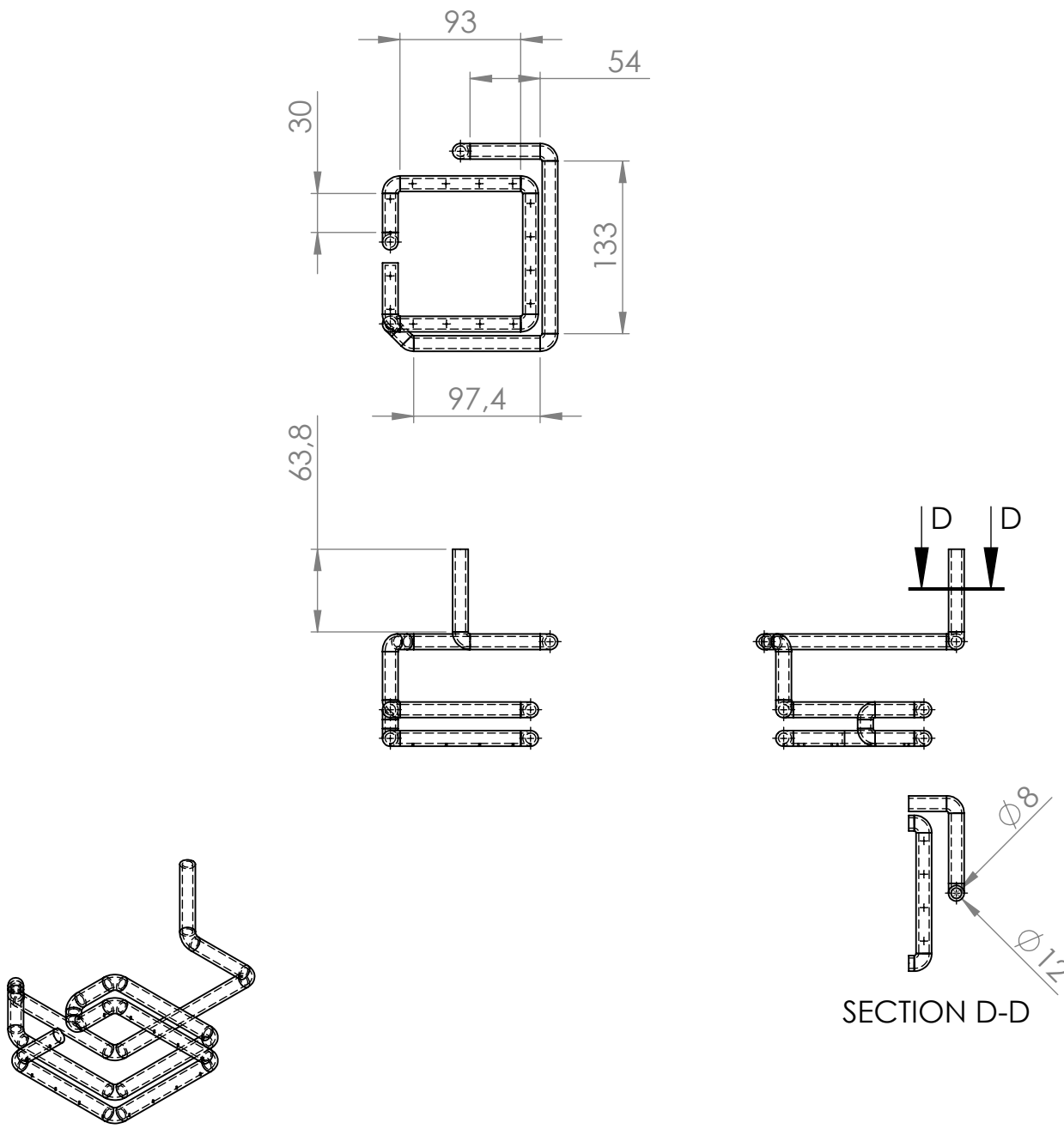
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:	Haste de insuflação 1	
DWG NO.	5814333431	A4
SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1	





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

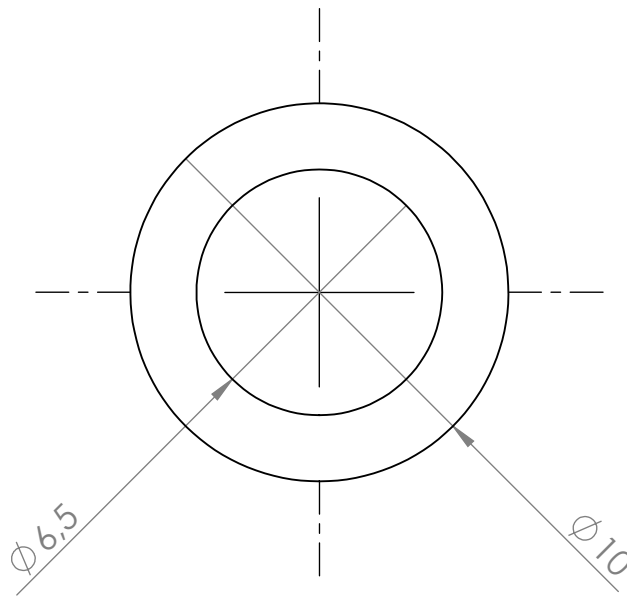
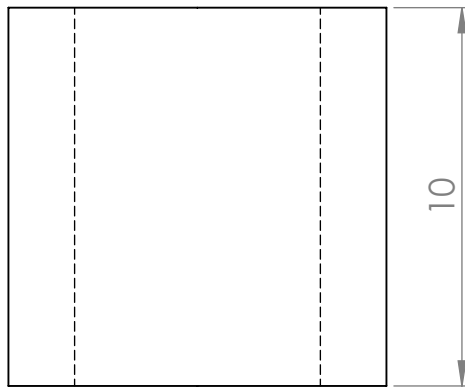
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

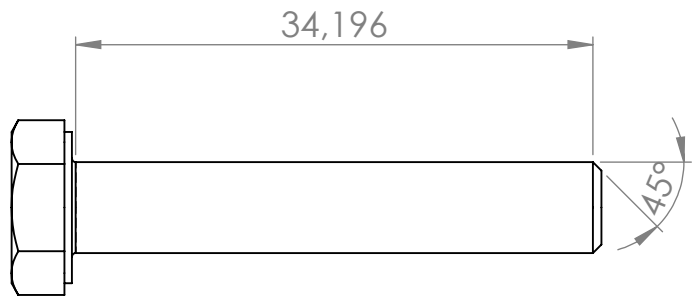
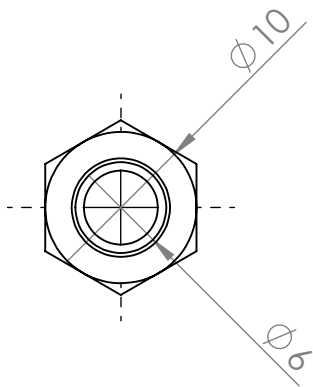
	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				AISI 304	
				WEIGHT:	

TITLE:	Circuito de insuflação de gases de protecção	
DWG NO.	6024411512	A4
SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Espaçador de hastes			
CHK'D				SIGNATURE		DATE		DWG NO. 611111314			
APPV'D				SIGNATURE		DATE					
MFG				SIGNATURE		DATE		A4			
Q.A				SIGNATURE		DATE					
				MATERIAL: AIS 316 Annealed Stainless Steel Bar		WEIGHT:		SCALE:5:1		SHEET 1 OF 1	





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

ISO 4017 - M6 x 35-N

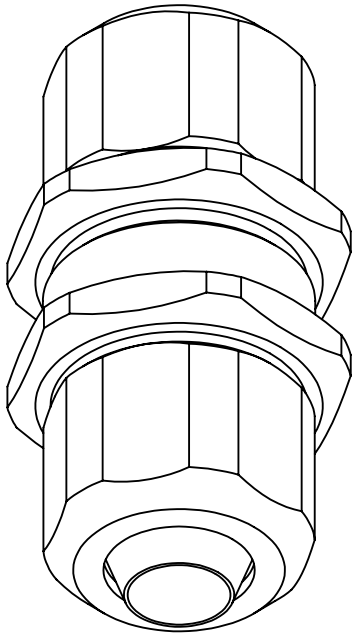
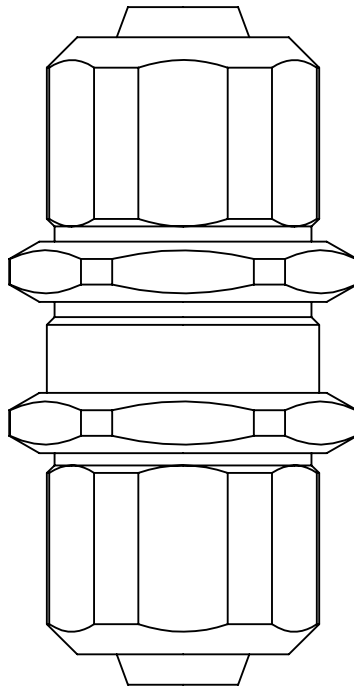
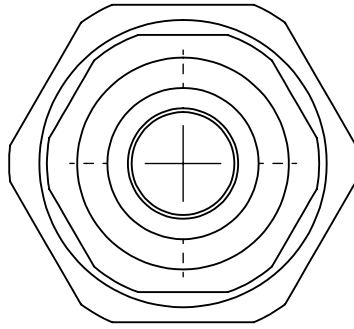
DWG NO.

hex screw gradeab\_iso

A4

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

Conexão - KFG2E1075-00

MATERIAL:

AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)

DWG NO.

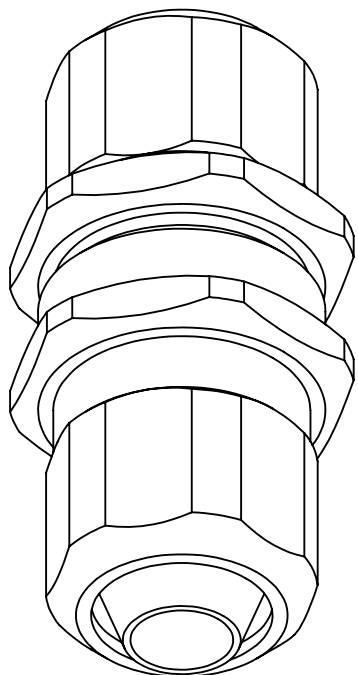
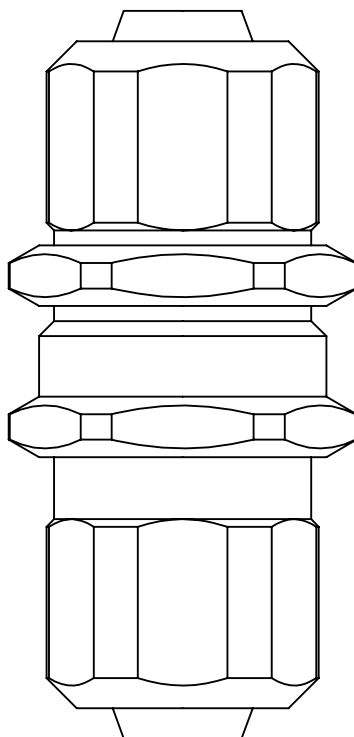
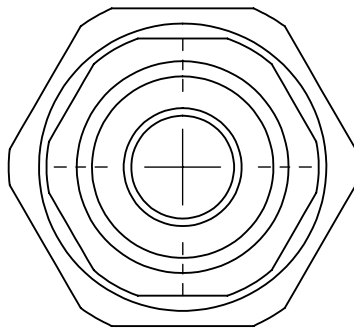
KFG2E1075-00

A4

WEIGHT:

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

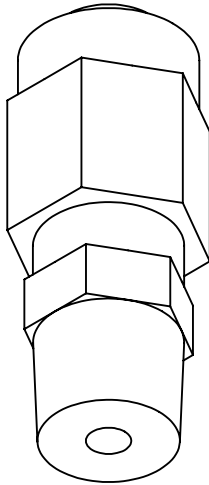
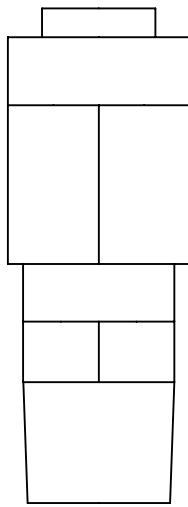
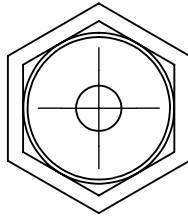
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	
				WEIGHT:	

TITLE:	Conexão	
DWG NO.	KFG2E1209-00	A4
SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)		
			WEIGHT:		

TITLE:

Acessório de conexão fluído (H2O)

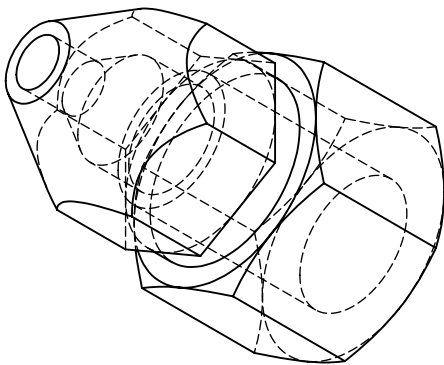
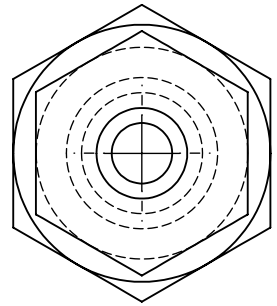
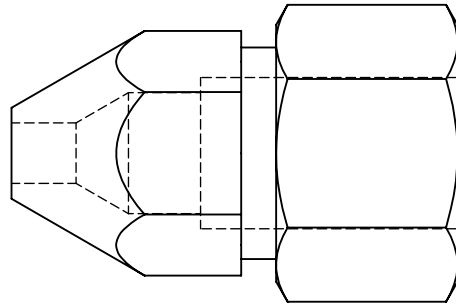
DWG NO.

KFGH0604-01S\_KFGH

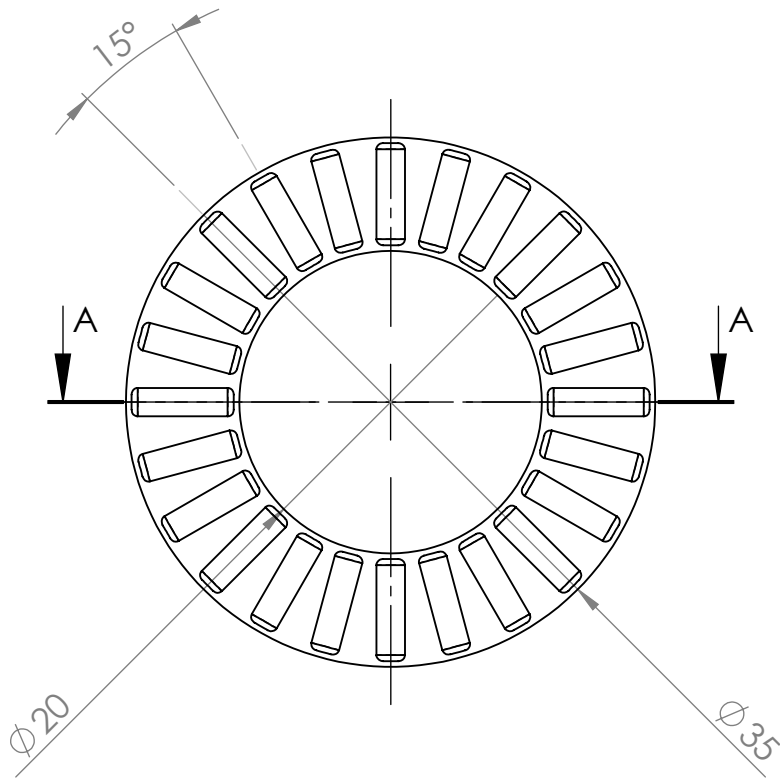
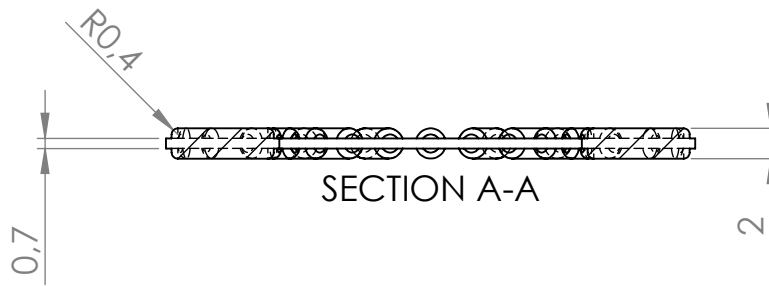
A4

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Bico injector_10-400			
CHK'D								DWG NO.                      KN-10-400_KN			
APPV'D											
MFG								A4			
Q.A						MATERIAL:  Brass					
						WEIGHT:		SCALE:2:1		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

SKF - AXK 2035 - 24,DE,AC,24

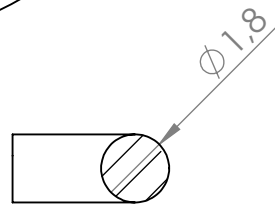
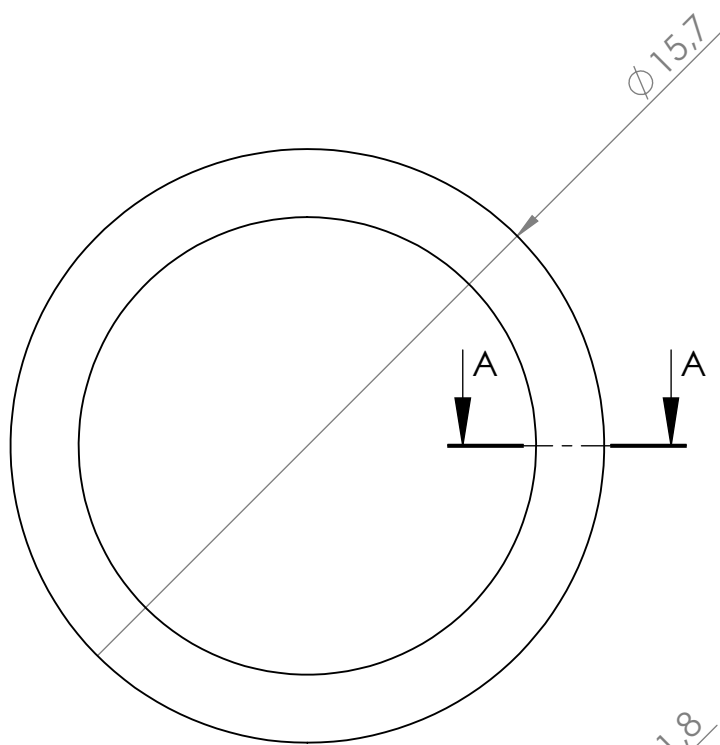
DWG NO.

needle rollers thrust bearing\_skf

A4

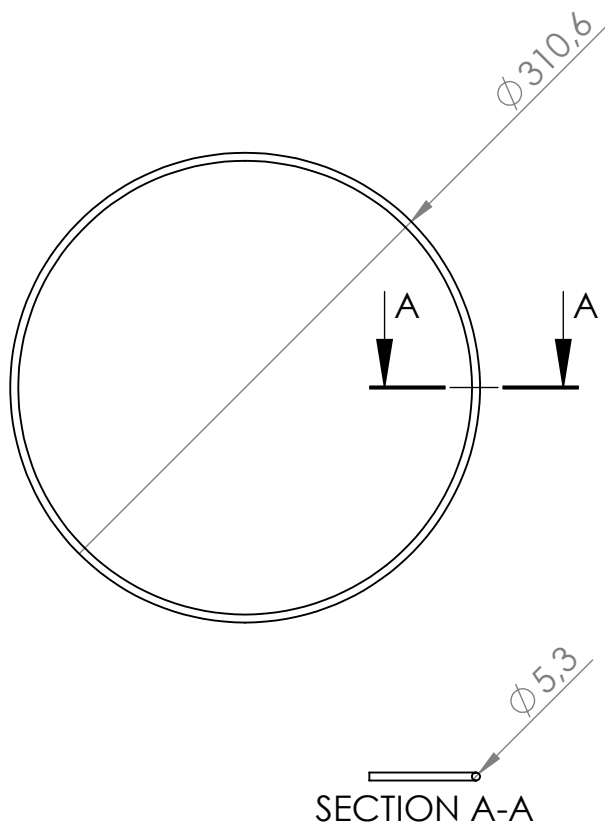
SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



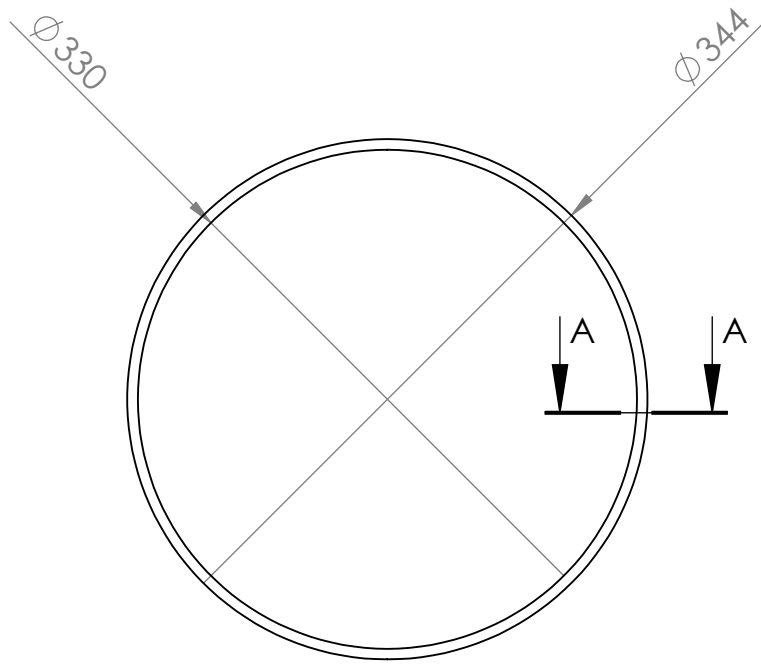
SECTION A-A  
SCALE 5 : 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  O-ring dinâmico			
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL: Silicon Rubber		DWG NO.		O-ring 12.1x1.8	
								SCALE:5:1		A4	
						WEIGHT:		SHEET 1 OF 1			



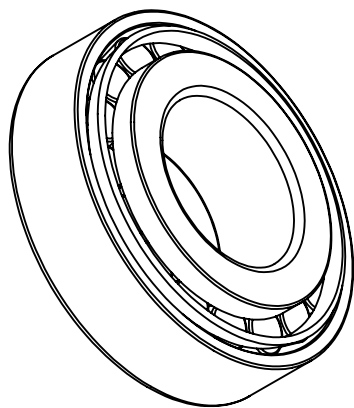
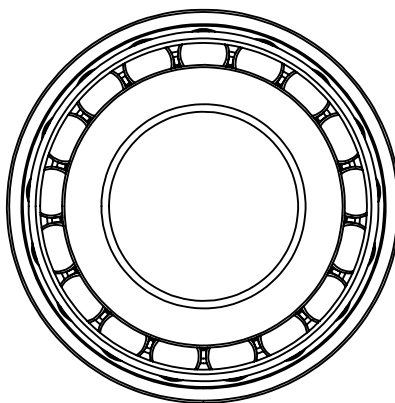
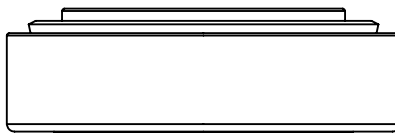
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  O-ring DIN 3771 - 300x5.3			
CHK'D				SIGNATURE		DATE		DWG NO. O-ring 300x5.3			
APPV'D				SIGNATURE		DATE		SCALE:1:5			
MFG				SIGNATURE		DATE		SHEET 1 OF 1			
Q.A				SIGNATURE		DATE		MATERIAL:  BUTYL		A4	
WEIGHT:				SIGNATURE		DATE					





SECTION A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D						O-ring tampa de caixa de vazamento			
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		A4	
				BUTYL		O-ring DIN 3771 - 330x7			
				WEIGHT:		SCALE:1:5		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

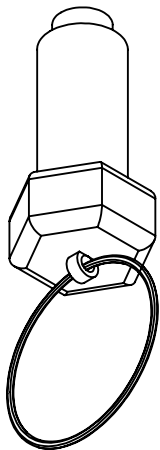
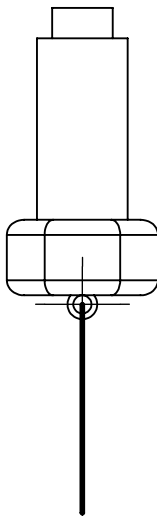
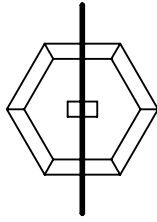
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				Material <not specified>	
				WEIGHT:	

TITLE:		Rolamento_SKF_30205_J2_Q	
DWG NO.			
SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	

A4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

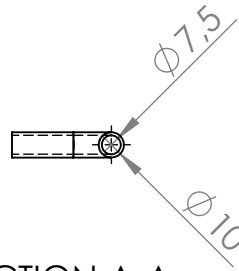
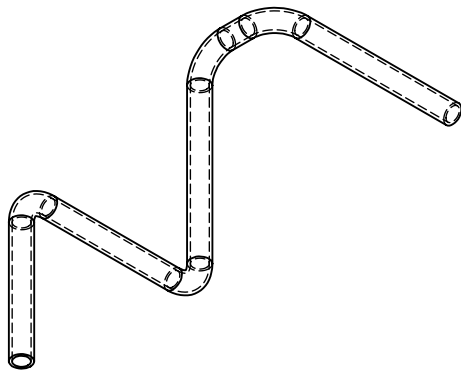
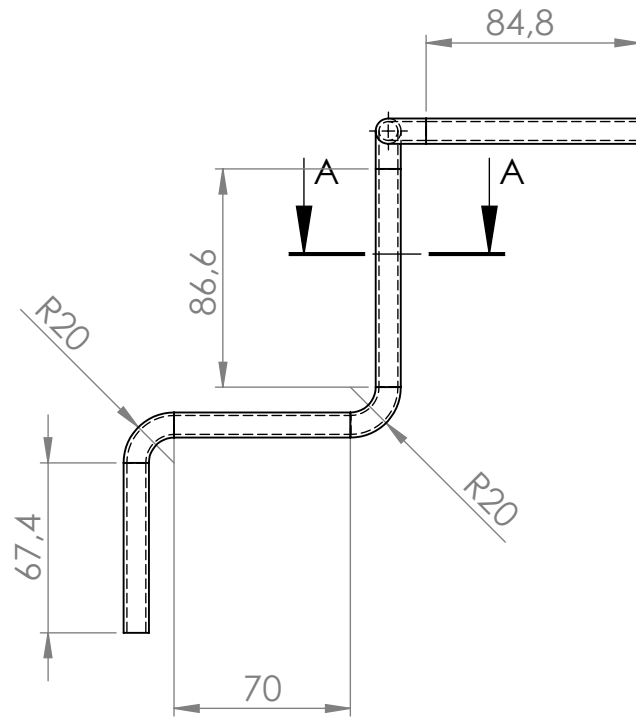
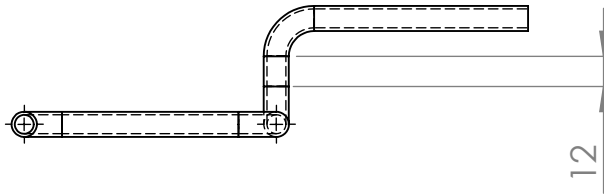
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

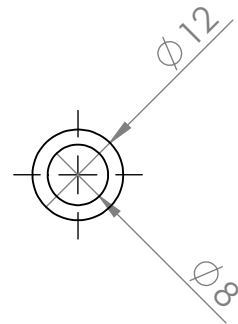
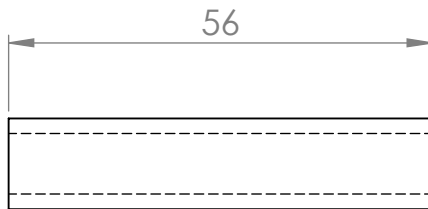
NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL: Cast Stainless Steel		
			WEIGHT:		

TITLE:  Spring plunger RS 237-671	
DWG NO.	A4
SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1

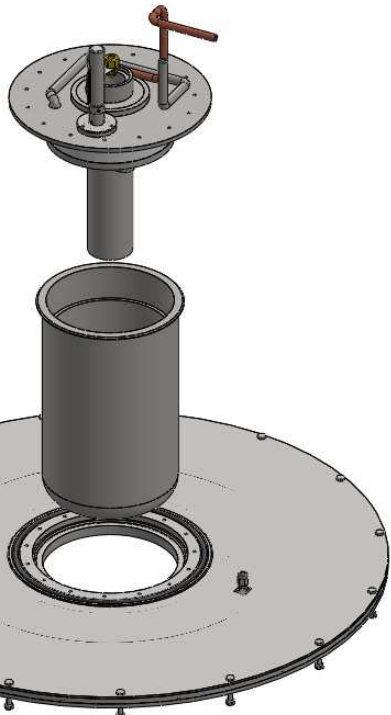
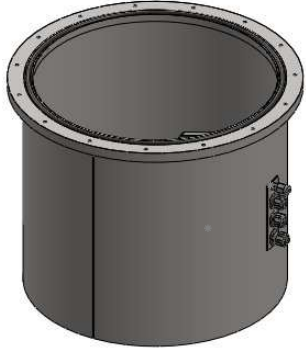
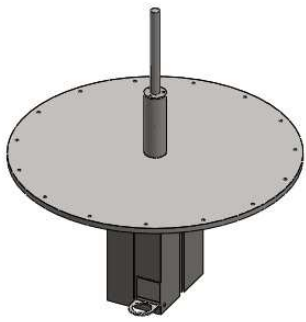


SECTION A-A  
SCALE 1 : 3

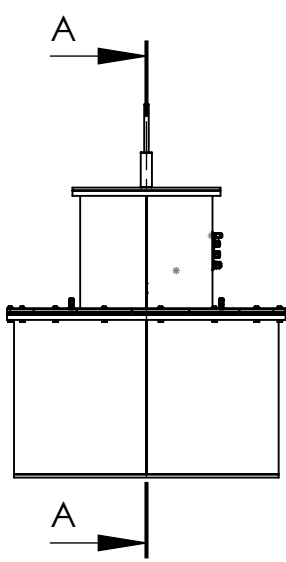
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:  Circuito de gases de pressurização				
CHK'D							DWG NO. <b>Tube 10-7.5</b>				
APPV'D											
MFG							A4				
Q.A											
					MATERIAL: AISI 316 Stainless Steel Sheet (S)		SCALE:1:5				
					WEIGHT:		SHEET 1 OF 1				



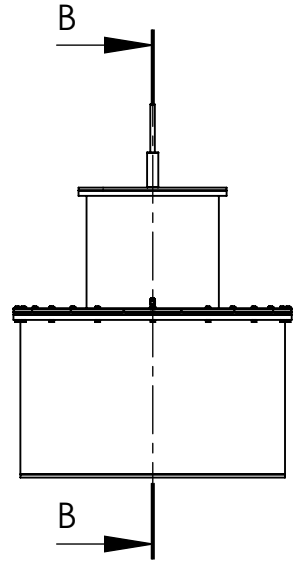
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:  Tubo			
CHK'D				SIGNATURE		DATE		MATERIAL:  PUR			
APPV'D				SIGNATURE		DATE		DWG NO.  Tubo 12-08 PUR 001			
MFG				SIGNATURE		DATE		SCALE:1:1			
Q.A				SIGNATURE		DATE		WEIGHT:			
								SHEET 1 OF 1			
								A4			



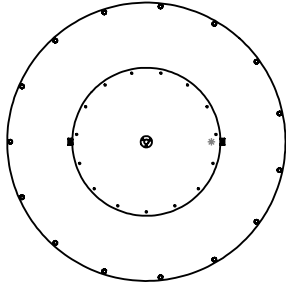
Perspectiva de Explosão  
Escala 1:10



Alçado Frontal

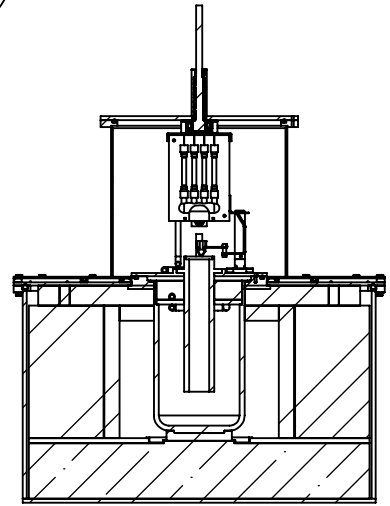


Alçado Lateral Esquerdo

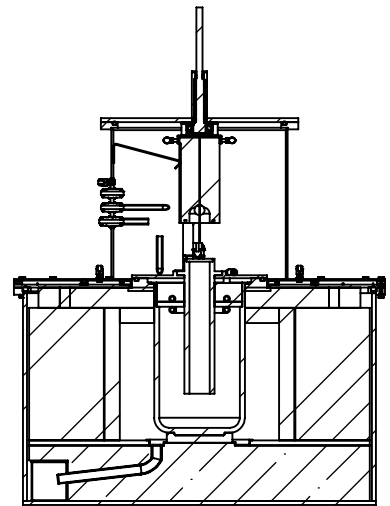


Planta

Alçados e planta  
à escala 1:20

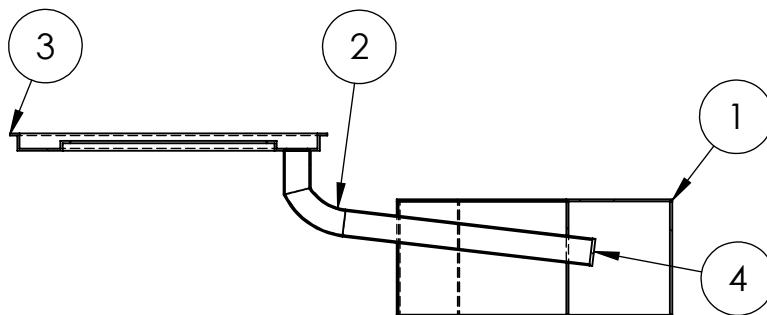


Corte A-A  
Escala 1:15

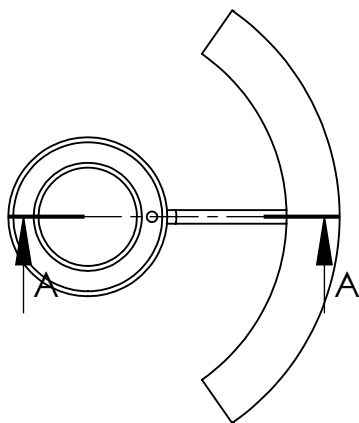


Corte B-B  
Escala 1:15

ITEM NO.	COD. COMP	DESCRIÇÃO	MATERIAL	QTY.
1	2114411515	Depósito de retenção de Mg	Stainless Steel (ferritic)	1
2	2524111512	Tubo de segurança de escoamento de Mg	AISI 304	1
3	3114233614	Cantoneira de escoamento de Mg	Stainless Steel (ferritic)	1
4	3614111212	Tampão de segurança	Zinc AC41A Alloy, As Cast	1



SECTION A-A  
SCALE 1 : 5



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Módulo 1\_Perspectiva de corte

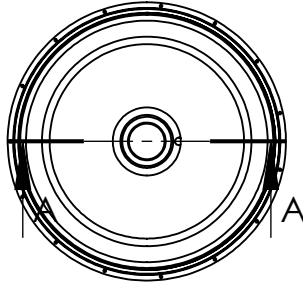
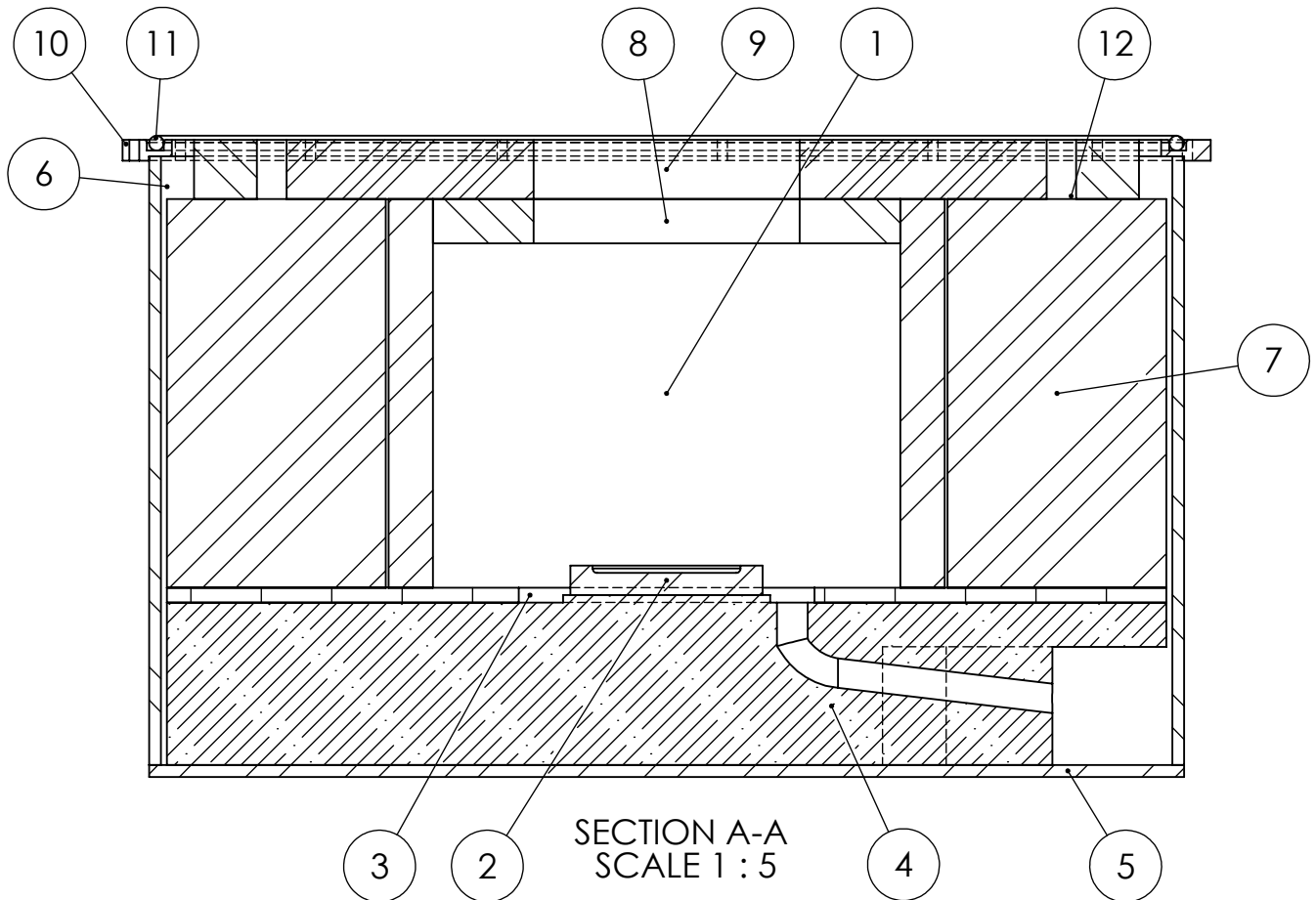
DWG NO.

A4

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

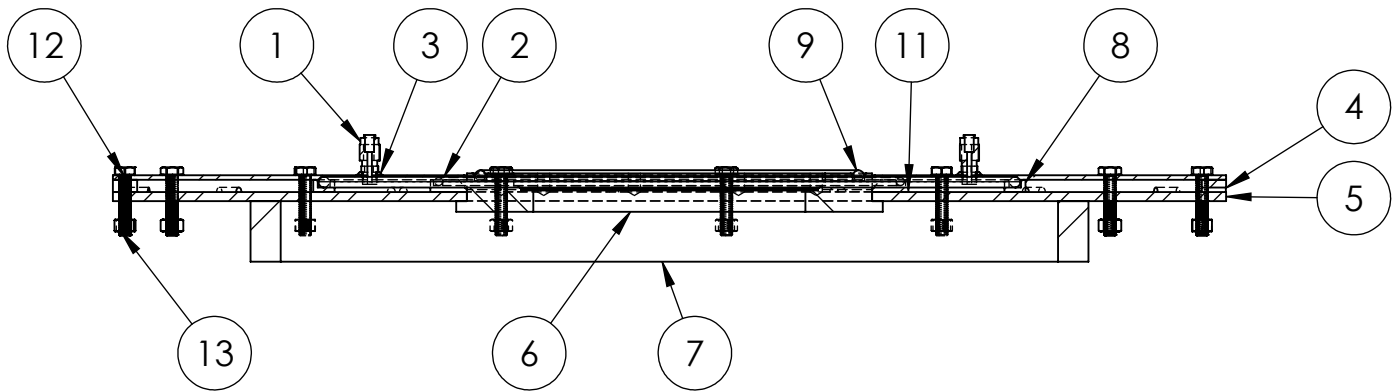
ITEM NO.	COD. COMP.	DESCRICAO	Material	QTY.
1	0232214113	Refractário primário de resistências embebidas	Alumina-Sílica	1
2	0332114213	Pedestal	Stainless Steel (ferritic)	1
3	0414211113	Placa refractária inferior	Alumina-Sílica	1
4	0534211113	Assento refractário	Ceramic Porcelain	1
5	0611211412	Base estrutural	AISI 304	1
6	0721211412	Chapa metálica exterior forno	AISI 304	1
7	1034211113	Refractário secundário	Alumina-Sílica	1
8	2934211113	Anel refractário superior resistências/cadinho	Alumina-Sílica	1
9	3034211113	Placa refractária superior	Alumina-Sílica	1
10	3823233532	Anel de Aperto de tampa de forno	AISI 304	1
11	3933211114	O-ring tampa de forno	Silicon Rubber	1
12	4534211113	Anel de refractário superior	Alumina-Sílica	1



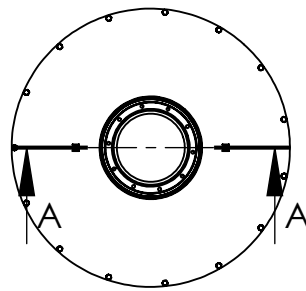
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:  <b>Módulo 2_Perspectiva de corte</b>	
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A			MATERIAL:	DWG NO.	A4
			WEIGHT:	SCALE:1:20	SHEET 1 OF 1



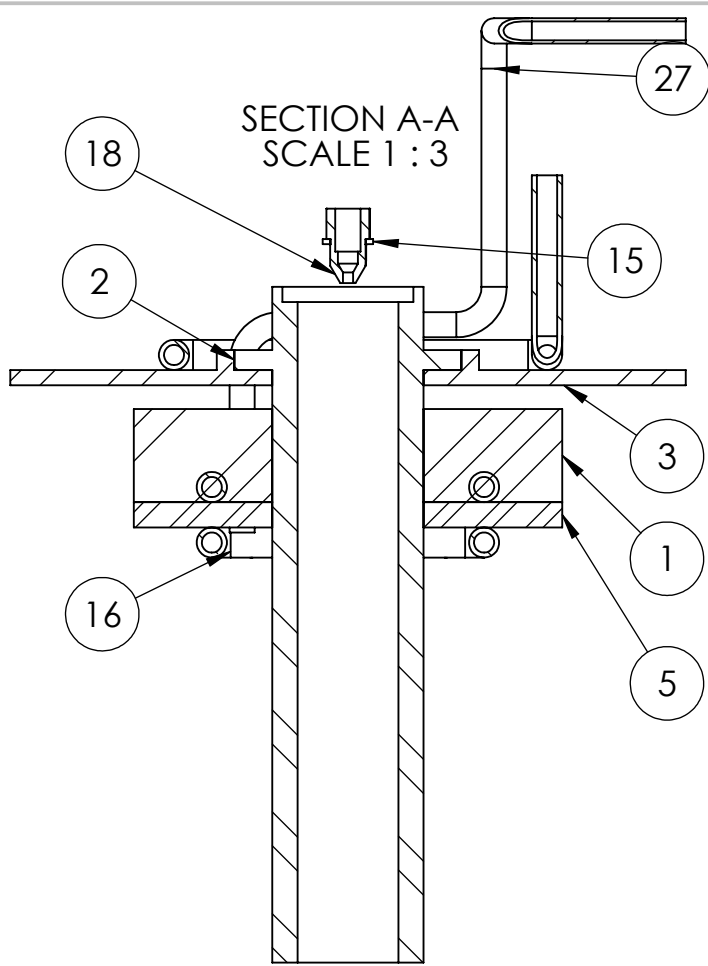
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	0604-01S	Acessório de conexão fluido (H2O)	AISI 316	2
2	O-ring DIN 3771 - 450x7			1
3	1323233422	Tampa superior-secção inferior	AISI 304	1
4	1423233412	Junta de compressão exterior	AISI 304	1
5	1523233422	Tampa superior-secção superior	AISI 304	1
6	1623211222	Tampa superior-acoplamento porta forno	AISI 304	1
7	4434211113	Anel de barreira ao fluxo térmico	Alumina-Silica	1
8	4723241222	Pista de o-ring exterior	AISI 304	1
9	O-ring DIN 3771 - 243X7	O-ring tampa de caixa de vazamento	VITON	1
10	O-ring 300x5.3	O-ring de vedação de fluido refrigerante interior	Borracha butílica	1
11	1214241222	O-ring de vedação de fluido refrigerante exterior	Borracha butílica	1
12	ISO 4017 - M8 x 40-S			15
13	Hexagon Nut ISO - 4034 - M8 - S			15



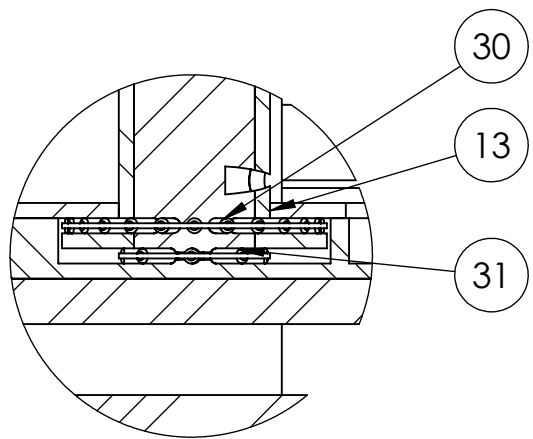
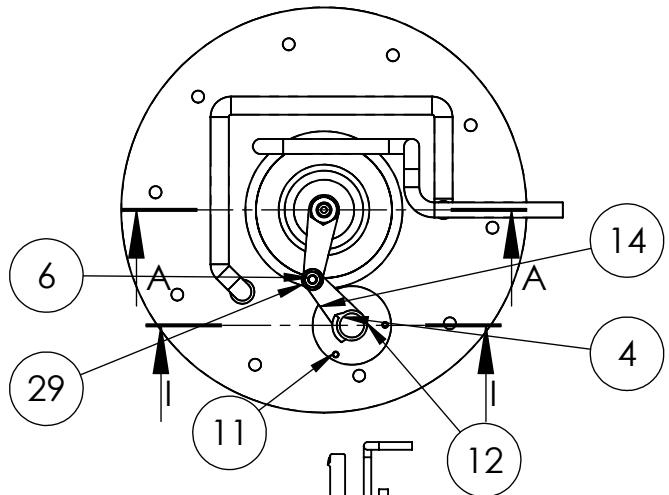
SECTION A-A  
SCALE 1 : 5



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:  Módulo 3_Perspectiva de corte	
DRAWN					DWG NO.	A4
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A			MATERIAL:			
			WEIGHT:		SCALE:1:20	SHEET 1 OF 1



ITEM NO.	COD. COMP.	DESCRIÇÃO	Material	QTD
1	0834133113	Placa refractária/cadinho	Alumina de elevada densidade	1
2	0922131712	Gito	Stainless Steel (ferritic)	1
3	1113255211	Porta forno	Stainless Steel (ferritic)	1
4	3214141314	Veio de transporte da coquilha e pistola de insuflação	AISI 304	1
5	3711133214	Chapa metálica de sustentação do refractário	Stainless Steel (ferritic)	1
6	ISO 4018 - M6 x 12-WN			1
11	5414124232	Base de assento de guia de coquilha	AISI 304	1
12	5614133331	Fixação de guia	AISI 304	1
13	5514133431	Disco de fixação de suporte de insuflação	AISI 304	1
14	5814333431	Haste de insuflação1	AISI 304	1
15	5914333411	Haste de insuflação2	AISI 304	1
16	6024411512	Circuito de insuflação de gases de protecção	AISI 304	1
27	Tubo 10-7.5	Circuito de gases de pressurização	AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS)	1
18	10-400	Bico injector_10-400	Brass	1
28	ISO 10673-5.5-N			1
29	Hexagon Flange Nut ISO - 4161 - M6 - N			1
30	SKF - AXK 2035 - 24,DE,AC,24			1
31	SKF - AXK 0720 - 8,DE,AC,8			1
32	6111111314	Espaçador de hastes	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1



SECTION I-I  
SCALE 1 : 10

DETAIL J  
SCALE 1 : 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:  
DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

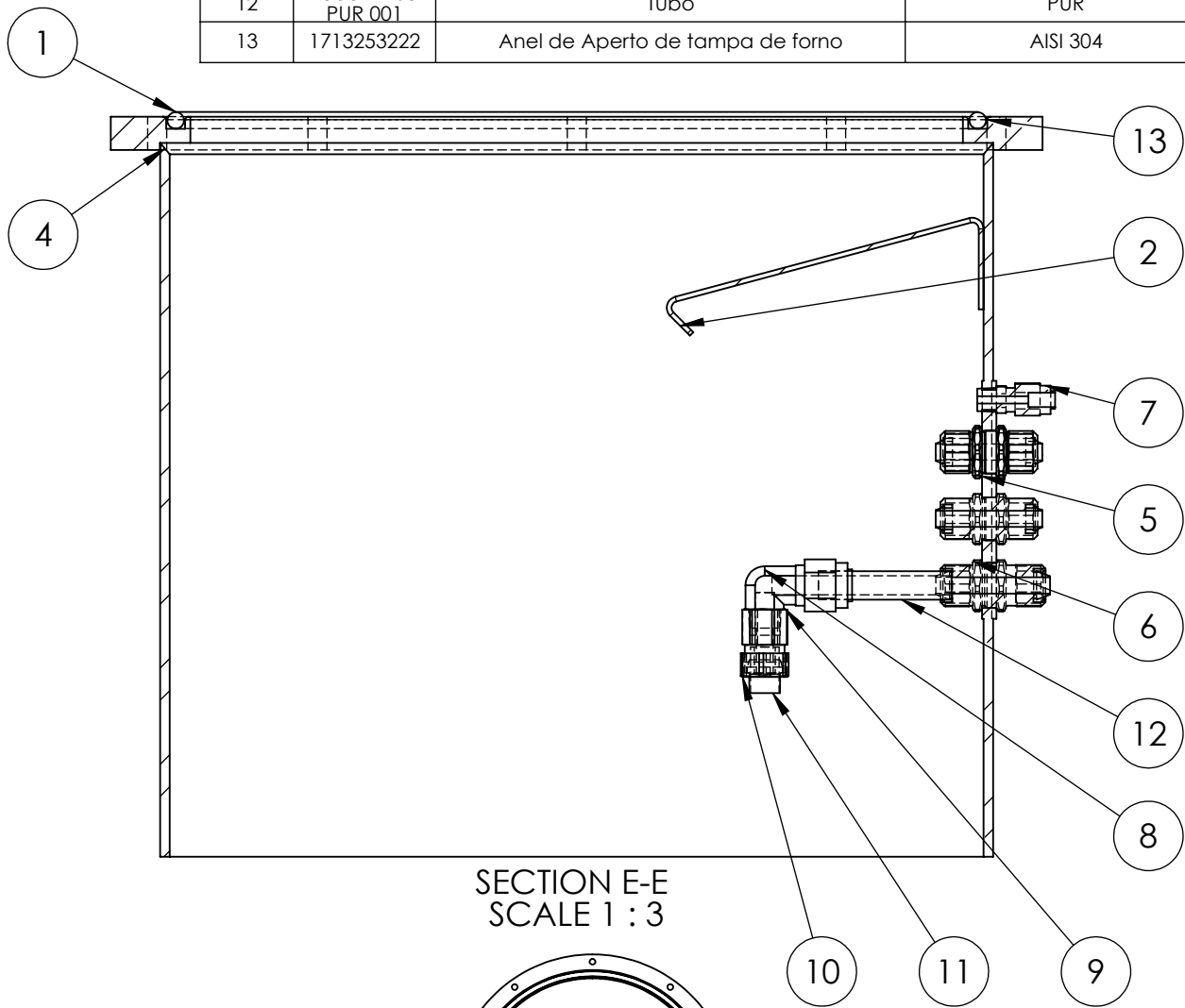
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

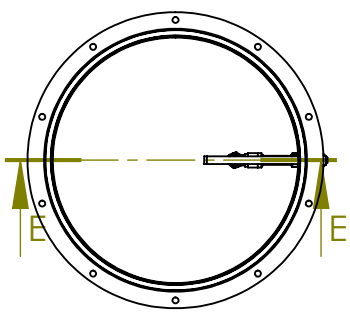
NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			
		MATERIAL:	
		WEIGHT:	

TITLE:  Módulo 4 - Perspectiva de corte	
DWG NO.	A4
SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY.
1	O-ring DIN 3771 - 330x7	O-ring tampa de caixa de vazamento	BUTYL	1
2	5314411512	Guoia anti-rotação de coquilha	AISI 304	1
4	2721241522	Chapa metálica exterior caixa vazamento	AISI 304	1
5	KFG2E1075-00	Conexão	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	2
6	KFG2E1209-00	Conexão	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
7	0604-01S	Acessório de conexão fluido (H2O)	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
8	1209-02S	Curva 1209-02S	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
9	F12U-02	F12U-02	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
10	12	KFF12U-02_KF Ferrule Nut	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
11	12	KFF12U-02_KF Ferrule	PUR	1
12	Tubo T2-08 PUR 001	Tubo	PUR	1
13	1713253222	Anel de Aperto de tampa de forno	AISI 304	1



SECTION E-E  
SCALE 1 : 3



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

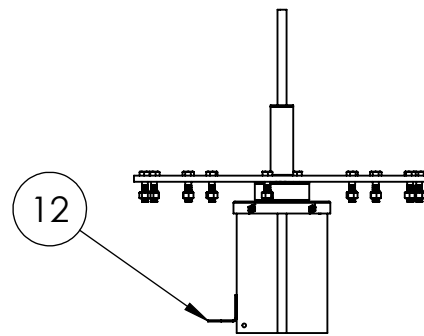
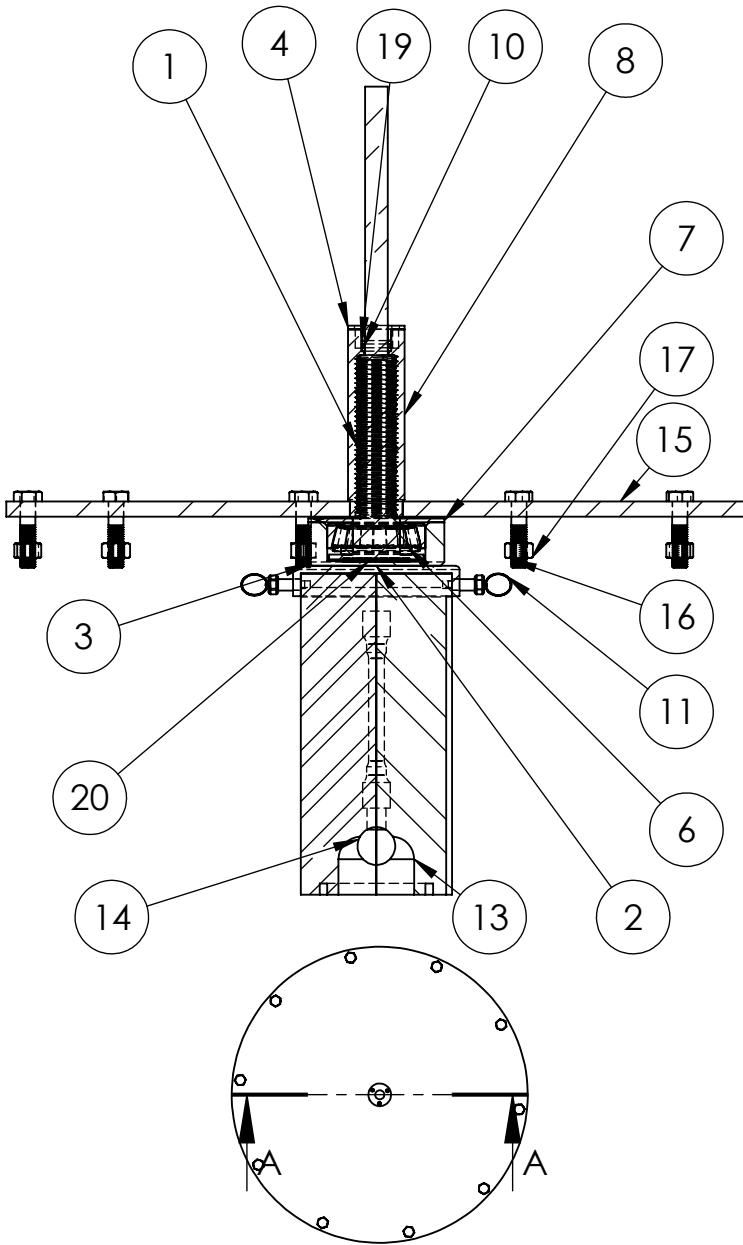
REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
			MATERIAL:		
			WEIGHT:		

TITLE:		Módulo 5 - Perspectiva de corte	
DWG NO.			
SCALE:1:10		SHEET 1 OF 1	
		A4	

ITEM NO.	COD. COMP	DESCRIÇÃO	Material	QTD ..
1	4214141314	Veio de aperto da coquilha	Alloy Steel	1
2	4314433214	Placa de compressão de coquilha	AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS)	1
3	4811124312	Alojamento de rolamento	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	1
4	5013133331	Disco de compressão axial de o-rings	AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS)	1
6	Rolamento_SKF_30205_J2_Q	Rolamento radial	Material <not specified>	1
7	4911133211	Tampa de alojamento de rolamentos	AISI 304	1
8	5113133332	Camisa de veio roscada	AISI 304	1
10	5213132444	Anel separador de o-rings	AISI 304	1
11	Spring plunger RS 237-671	Spring Plunger	Cast Stainless Steel	4
12	5712144212	Guia/accionador de haste de insuflação	AISI 304	1
13	2022433741	Meia moldação esquerda	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	1
14	1922433741	Meia moldação direita	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	1
15	2823233431	Porta de caixa de vazamento	AISI 304	1
16	ISO 4015 - M8 x 35 x 22-S	Hexagon Nut ISO - 4034 - M8 - S		10
17	Hexagon Nut ISO - 4034 - M8 - S			10
19	O-ring DIN 3771 - 12.1x1.8	O-ring dinámico	Silicon Rubber	2
20	SKF - AXK 2035 - 24,DE,AC,24			1

SECTION A-A  
SCALE 1 : 4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
			MATERIAL:	
			WEIGHT:	

TITLE:		Módulo 6 - Perspectiva de corte	
DWG NO.		A4	
SCALE:1:10		SHEET 1 OF 1	