



**NOVA**  
NOVA SCHOOL OF  
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
MECÂNICA E INDUSTRIAL

DANIEL ALEXANDRE DE CARVALHO LAJAS  
Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

# PROJETO DE UM MOINHO DE MARTELOS PARA PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS DE MINÉRIO

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
Universidade NOVA de Lisboa  
novembro,2021





# PROJETO DE UM MOINHO DE MARTELOS PARA PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS DE MINÉRIO

**DANIEL ALEXANDRE DE CARVALHO LAJAS**

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

**Orientador:** Alberto José Antunes Marques Martinho  
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

**Coorientadores:** António Carlos Gil Augusto Galhano  
Assistente, Universidade NOVA de Lisboa

## Júri:

**Presidente:** António José Freire Mourão  
Professor Associado, FCT-NOVA

**Arguentes:** António Gabriel Marques Duarte dos Santos  
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

**Orientador:** Alberto José Antunes Marques Martinho  
Professor Auxiliar, FCT-NOVA



## **Projeto de um moinho de martelos para preparação de amostras de minério**

Copyright © Daniel Alexandre de Carvalho Lajas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



# Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Alberto Martinho, orientador da minha dissertação, por todo o apoio que me deu e por partilhar a sua experiência na área de projeto, crucial para o desenvolvimento desta dissertação.

Quero agradecer aos meus colegas de curso, que sei que vou levar para a vida, por me terem ajudado na realização de vários trabalhos e na preparação de testes e exames.

Quero agradecer à minha namorada, pelo apoio que me deu nos momentos mais difíceis ao longo deste percurso académico.

E por fim, um obrigado aos meus pais e aos meus avós por me proporcionarem todas as condições para que pudesse realizar o curso da melhor forma possível.





# Resumo

Na presente dissertação concebe-se e projeta-se um moinho para a preparação de amostras de minério destinado ao Departamento de Ciências da Terra da FCT NOVA. Avaliando as várias possibilidades, opta-se pela conceção e pelo projeto de um moinho de martelos. Pretende-se que o moinho processe um mínimo de 30 kg/hora e que reduza a granulometria do material de 70 mm para 2 mm. O moinho é projetado para processar basalto por ser um material com um elevado índice trabalho.

No dimensionamento do moinho consideram-se aspetos funcionais, de resistência e de rigidez. Foram realizados modelos tridimensionais do moinho e também os desenhos técnicos, nos quais foram considerados toleranciamentos.

**Palavras-chave:** Cominuição; Moinho; Martelos; Dimensionamento; Projeto.



# Abstract

In this dissertation, a mill is conceived and designed for the preparation of ore samples for the Department of Earth Sciences at FCT NOVA. Assessing the various possibilities, we opted for the conception and project of a hammer mill. It is intended that the mill processes a minimum of 30 kg/hour and that it reduces the particle size of the material from 70 mm to 2 mm. The mill is designed to process basalt as it is a material with a high labor index.

When dimensioning the mill, functional, strength and rigidity aspects are considered. Three-dimensional models of the mill were carried out, as well as technical drawings, in which tolerances were considered.

**Keywords:** Comminution; Mill; Hammers; Sizing; Design.



# Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1	COMINUIÇÃO .....	3
2.2	MECANISMOS DE FRAGMENTAÇÃO .....	3
2.2.1	<i>Impacto</i> .....	3
2.2.2	<i>Atrito</i> .....	4
2.2.3	<i>Compressão</i> .....	4
2.3	TIPOS DE MOINHOS.....	5
2.3.1	<i>Moinhos de cilindros</i> .....	5
2.3.1.1	<i>Moinho de barras</i> .....	6
2.3.1.2	<i>Moinho de bolas</i> .....	6
2.3.2	<i>Moinho de discos</i> .....	6
2.3.3	<i>Moinho vibratório</i> .....	7
2.3.4	<i>Moinho de rolos de alta pressão</i> .....	8
2.3.5	<i>Moinho de martelos</i> .....	9
2.3.5.1	<i>Vantagens do moinho de martelos</i> .....	10
2.4	LEIS DA FRAGMENTAÇÃO DE SÓLIDOS.....	10
2.4.1	<i>Lei de Rittinger</i> .....	11
2.4.2	<i>Lei de Kick</i> .....	11
2.4.3	<i>Lei de Bond</i> .....	11
<b>3</b>	<b>SELEÇÃO DE MATERIAIS.....</b>	<b>13</b>
3.1	AÇO AISI 4337 .....	13
3.2	AÇO AISI A128 .....	13
3.3	AÇO 1.0577.....	14
<b>4</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO MOINHO DE MARTELOS .....</b>	<b>15</b>
4.1	POTÊNCIA NECESSÁRIA .....	15
4.2	MOTOR .....	15
4.3	DIMENSIONAMENTO DA CÂMARA DE IMPACTO .....	16
4.4	ROTOR .....	17

4.4.1	<i>Dimensionamento do veio</i> .....	17
4.4.1.1	Cálculo do momento torsor.....	18
4.4.1.2	Cálculo do momento fletor .....	19
4.4.2	<i>Flecha máxima do veio</i> .....	24
4.4.3	<i>Dimensionamento do eixo do martelo</i> .....	25
4.4.4	<i>Flecha máxima do eixo do martelo</i> .....	29
4.4.5	<i>Martelo</i> .....	30
4.4.6	<i>Casquilhos</i> .....	31
4.4.7	<i>Cupilha</i> .....	31
4.5	SISTEMA DE TRANSMISSÃO COM CORREIAS.....	32
4.5.1	<i>Dimensionamento do sistema de transmissão com correias</i> .....	32
4.5.2	<i>Cálculo das tensões exercidas pela correia</i> .....	34
4.5.3	<i>Proteção do sistema de transmissão</i> .....	36
4.6	ROLAMENTO E CHUMACEIRA .....	37
4.7	RETENTOR .....	38
4.8	CORPO .....	39
4.8.1	<i>Grelha</i> .....	39
4.8.2	<i>Suporte da chumaceira</i> .....	41
4.8.3	<i>Suportes do motor</i> .....	41
4.8.4	<i>Tremonha</i> .....	42
4.8.5	<i>Gaveta</i> .....	42
4.8.6	<i>Suporte antivibrações</i> .....	43
4.8.7	<i>Perfis ocós quadrados</i> .....	43
4.8.8	<i>Pés</i> .....	44
4.8.9	<i>Borracha vedante</i> .....	45
4.9	TAMPA .....	46
4.9.1	<i>Porta</i> .....	47
4.10	LIGAÇÃO ENCHAVETADA .....	47
4.11	LIGAÇÕES APARAFUSADAS .....	49
4.11.1	<i>Ligação aparafusada dos suportes antivibrações</i> .....	50

4.12	LIGAÇÕES SOLDADAS.....	51
4.12.1	<i>Ligação soldada do suporte da chumaceira.....</i>	52
4.13	TOLERANCIAMENTO.....	55
4.13.1	<i>Toleranciamento dimensional .....</i>	55
4.13.1.1	Toleranciamento do rolamento .....	55
4.13.1.2	Toleranciamento do retentor .....	55
4.13.1.3	Toleranciamento da chaveta .....	55
4.13.1.4	Toleranciamento entre o veio e os discos.....	56
4.13.1.5	Toleranciamento entre os eixos dos martelos e os discos .....	57
4.14	MODELO FINAL .....	59
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>
	ANEXO 1 – DESLOCAMENTOS E MOMENTOS DE ENGASTAMENTO PERFEITO [16]......	67
	ANEXO 2 – CATÁLOGO DAS CUPILHAS DA NORELEM [19]. .....	69
	ANEXO 3 - CATÁLOGO DAS POLIAS DA NORELEM [19].....	70
	ANEXO 4 – FATORES DE SERVIÇO, $K_s$ DAS CORREIAS TRAPEZOIDAIS [20]......	71
	ANEXO 5 – TABELA DA POTÊNCIA CARACTERÍSTICA DE UMA CORREIA TRAPEZOIDAL [20]. .....	71
	ANEXO 6 – CATÁLOGO DAS CORREIAS TRAPEZOIDAIS DA NORELEM [19]......	72
	ANEXO 7 – CATÁLOGO DE ROLAMENTOS DA SKF [22]......	73
	ANEXO 8 – CATÁLOGO DAS CHUMACEIRAS DA SKF [22]. .....	74
	ANEXO 9 – CATÁLOGO DOS RETENTORES RADIAIS DA NORELEM [19]......	75
	ANEXO 10 – TABELA DE FURO E RASGO DE CHAVETA CONFORME NORMA DIN 6885/1 [26]......	76
	ANEXO 11 – CATÁLOGO DOS PARAFUSOS SEXTAVADOS DA NORELEM [19].....	77
	ANEXO 12 – CATÁLOGO DAS PORCAS SEXTAVADAS DA NORELEM [19]......	78
	ANEXO 13 – CATÁLOGO DOS PARAFUSOS LIMITADORES DA NORELEM [19]. .....	79
	ANEXO 14 – TABELA DAS CLASSES DE RESISTÊNCIAS DOS PARAFUSOS, PORCAS, PERNAS E OUTRAS PEÇAS ROSCADAS [20]. .....	79
	ANEXO 15 – TABELA DAS DIMENSÕES NOMINAIS DAS ROSCAS ISO [28]......	80
	ANEXO 16 – TABELA DO DIÂMETRO DOS FUROS DE PASSAGEM DE PARAFUSOS EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO NOMINAL [28]. .....	81

ANEXO 17 – TABELA DA ESPESSURA DOS CORDÕES DE SOLDADURA DE ÂNGULO EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DA CHAPA [28]. .....	82
ANEXO 18 – EXPRESSÕES DO SEGUNDO MOMENTO DE ÁREA [20]. .....	83
ANEXO 19 – TABELA DAS FOLGAS E APERTOS DE AJUSTAMENTOS RECOMENDADOS [28]. .....	84
ANEXO 20 – TABELA DAS TOLERÂNCIAS FUNDAMENTAIS [28]. .....	84
ANEXO 21 – TABELA DOS DESVIOS DE REFERÊNCIA DOS FUROS [28]. .....	85
ANEXO 22 – TABELA DOS DESVIOS DE REFERÊNCIA DOS VEIOS [28]. .....	86
ANEXO 23 – TABELA DE RUGOSIDADES, DESVIOS DIMENSIONAIS E GEOMÉTRICOS OBTIDOS EM DIFERENTES PROCESSOS TECNOLÓGICOS [28]. .....	87
ANEXO 24 – CATÁLOGO DAS CHAVETAS DA NORELEM [19] .....	88



# Índice de figuras

FIGURA 2.1- MECANISMOS DE FRAGMENTAÇÃO: A) IMPACTO; B) ATRITO; COMPRESSÃO.....	4
FIGURA 2.2 - MOINHO CILÍNDRICO [2].....	5
FIGURA 2.3 - MOINHO DE DISCOS [1].....	7
FIGURA 2.4 - MOINHO VIBRATÓRIO [4]. .....	8
FIGURA 2.5 - COMPONENTES DO MOINHO VIBRATÓRIO [4].....	8
FIGURA 2.6 - MOINHO DE ROLOS DE ALTA PRESSÃO [5] .....	9
FIGURA 2.7 - MOINHO DE MARTELOS [1].....	10
FIGURA 4.1 - MOTOR [12] .....	16
FIGURA 4.2 - ROTOR.....	17
FIGURA 4.3 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO VEIO .....	20
FIGURA 4.4 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA SECÇÃO 1 DO VEIO .....	21
FIGURA 4.5 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA SECÇÃO 2 DO VEIO .....	22
FIGURA 4.6 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA SECÇÃO 3 DO VEIO .....	22
FIGURA 4.7 - GRÁFICO DO MOMENTO FLETOR DO VEIO .....	23
FIGURA 4.8 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRO DO VEIO .....	24
FIGURA 4.9 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO EIXO DO MARTELO .....	26
FIGURA 4.10 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA SECÇÃO 1 DO EIXO .....	27
FIGURA 4.11 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA SECÇÃO 2 DO EIXO .....	27
FIGURA 4.12 - GRÁFICO DO MOMENTO FLETOR DO EIXO .....	28
FIGURA 4.13 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO EIXO.....	29
FIGURA 4.14 – MARTELO .....	30
FIGURA 4.15 - MONTAGEM DOS CASQUILHOS NOS EIXOS .....	31
FIGURA 4.16 - MONTAGEM DAS CUPILHAS NOS EIXOS.....	32
FIGURA 4.17 - CARGAS NA CORREIA E NO VEIO [21] .....	34
FIGURA 4.18 - SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....	36
FIGURA 4.19 - PROTEÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....	36
FIGURA 4.20 - ROLAMENTO .....	38
FIGURA 4.21 – CHUMACEIRA .....	38

FIGURA 4.22 – CORPO .....	39
FIGURA 4.23 - PADRÃO DE 60° DA GRELHA.....	40
FIGURA 4.24 - GRELHA .....	40
FIGURA 4.25 - SUPORTE DA CHUMACEIRA.....	41
FIGURA 4.26 - VISTA SUPERIOR DOS SUPORTES DO MOTOR .....	42
FIGURA 4.27 - VISTA INFERIOR DOS SUPORTES DO MOTOR .....	42
FIGURA 4.28 – TREMONHA.....	42
FIGURA 4.29 - GAVETA .....	43
FIGURA 4.30 - LIGAÇÃO ENTRE OS SUPORTES ANTIVIBRAÇÕES E O MOINHO.....	44
FIGURA 4.31 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DOS PÉS .....	44
FIGURA 4.32 - RASGO PARA A BORRACHA VEDANTE .....	46
FIGURA 4.33 - TAMPA .....	46
FIGURA 4.34 - PORTA .....	47
FIGURA 4.35 - ZONA SOLDADA DO SUPORTE DA CHUMACEIRA.....	52
FIGURA 4.36 - VISTA ISOMÉTRICA DO MOINHO DE MARTELOS.....	59
FIGURA 4.37 - VISTA ISOMÉTRICA DO MOINHO DE MARTELOS SEM A TAMPA .....	59

# Índice de tabelas

TABELA 2.1 - ÍNDICE DE TRABALHO [6].....	12
TABELA 3.1 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO AÇO AISI 4337 [8].....	13
TABELA 3.2 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO AÇO AISI A128 [10].....	14
TABELA 3.3 – PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO AÇO 1.0577 [11].....	14
TABELA 4.1 - LISTA DE PARAFUSOS E PORCAS UTILIZADOS NO MOINHO.....	49



# Nomenclatura

## Nomenclatura Romana

$E_m$	Energia necessária por unidade de massa [J/kg]
$E_t$	Energia necessária para fragmentar uma tonelada curta [kWh/st]
$A_0$	Área das partículas iniciais [m <sup>2</sup> ]
$A_1$	Área das partículas do produto [m <sup>2</sup> ]
$d_0$	Diâmetro das partículas iniciais [m]
$d_1$	Diâmetro das partículas do produto [m]
$P$	Potência [kW]
$W_i$	Índice de trabalho [kWh/st]
$T$	Taxa de alimentação [st/h]
$v$	Velocidade [m/min]
$n$	Velocidade angular [rpm]
$M_t$	Momento torsor [Nm]
$M_f$	Momento fletor [Nm]
$N$	Esforço axial
$d$	Diâmetro [m]
$W$	Velocidade angular [rad/s]
$F_h$	Força centrífuga dos martelos [N]

$r_h$	Raio dos martelos [m]
$N_h$	Número de martelos
$m_h$	Massa de cada martelo [kg]
$w_h$	Força distribuída exercida pelos martelos [N/m]
$R_1$	Reação no apoio 1 [N]
$R_2$	Reação no apoio 2 [N]
$\bar{x}$	Ponto médio [m]
$I$	Momento de inércia [m <sup>4</sup> ]
$L$	Comprimento [m]
$E$	Módulo de Young [Pa]
$f_s$	Fator de segurança
$H_{tab}$	Potência característica de uma correia [Hp]
$H_d$	Potência de cálculo ou de serviço de uma transmissão [Hp]
$K_s$	Fator de serviço da transmissão
$H_{nom}$	Potência do motor [Hp]
$c$	Distância entre polias [in]
$T_{1e}$	Força eficaz no ramo bambo [N]
$T_{2e}$	Força eficaz no ramo tenso [N]
$T_d$	Resultante das forças eficazes [N]

Q	Razão entre as forças eficazes
$F_v$	Força vertical [N]
$F_H$	Força horizontal [N]
$L_{10h}$	Vida nominal de trabalho de um rolamento [horas]
C	Capacidade de carga dinâmica de um rolamento [N]
A	Área [m <sup>2</sup> ]
b	Largura [m]
h	Altura [m]
$d_v$	Diâmetro do veio [mm]
l	Comprimento [m]
$S_r$	Secção resistente [mm <sup>2</sup> ]
$A_t$	Área da secção transversal da parte roscada do parafuso [mm <sup>2</sup> ]
$k_b$	Rigidez da parte tracionada do parafuso [N/mm]
$k_d$	Rigidez da parte roscada [N/mm]
$k_t$	Rigidez da parte não roscada [N/mm]
$l_t$	Comprimento da parte roscada [mm]
$k_m$	Rigidez do conjunto [N/mm]
$P_b$	Força absorvida pelo parafuso [N]
F	Força [N]

$F_{\text{correia}}$	Força da correia [N]
$F_{\text{rotor}}$	Força do rotor [N]
$F_{\text{chumaceira}}$	Força da chumaceira [N]
$F_{\text{rolamento}}$	Força do rolamento [N]
$m_{\text{rolamento}}$	Massa do rolamento [kg]
$m_{\text{chumaceira}}$	Massa da chumaceira [kg]
$M$	Momento [Nmm]
$I_a$	Segundo momento de área da secção crítica [mm <sup>4</sup> ]
$I_u$	Segundo momento de área por unidade de comprimento da secção crítica [mm <sup>3</sup> ]
$R_a$	Rugosidade [ $\mu\text{m}$ ]
$T$	Tolerância [mm]
$CN$	Cota nominal [mm]
$F_{\text{máx}}$	Folga máxima [mm]
$F_{\text{mín}}$	Folga mínima [mm]
$d_s$	Desvio superior [mm]
$d_i$	Desvio inferior [mm]
$t$	Desvio de coaxialidade [mm]



## Nomenclatura Grega

$\tau$	Tensão de corte [MPa]
$\sigma$	Tensão [MPa]
$\tau_{adm}$	Tensão de corte admissível [MPa]
$\sigma_{adm}$	Tensão admissível [MPa]
$\eta$	Rendimento [%]
$\delta$	Flecha [m]
$\delta_{m\acute{a}x}$	Flecha máxima [m]
$\sigma_{ced}$	Tensão de cedência [MPa]
$\theta$	Ângulo de contacto das polias [rad]

## Siglas

ASTM	American Society for Testing and Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
SEW	Süddeutsche Elektromotoren Werke
SKF	Svenska KullagerFabriken
DIN	Deutsches Institut für Normung



# 1 Introdução

O seguinte trabalho insere-se no Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade Nova de Lisboa, com especialização em projeto, no qual se pretende desenvolver um moinho de martelos para amostras de minério destinadas à realização de ensaios físicos e químicos, a pedido do Departamento de Ciências da Terra da FCT NOVA.

Pretende-se que o moinho tenha capacidade de processar no mínimo 30 kg/hora e que seja de construção simples para a sua possível construção ser de custos reduzidos. Este projeto insere-se em uma dissertação de mestrado, sendo necessário optar por um moinho de simples construção, recaindo a escolha por um moinho de martelos.

O desenvolvimento do projeto do moinho de martelos será tendo em conta o basalto, que possui um índice de trabalho,  $W_i$  [kWh/st] elevado. Como este material é bastante abrasivo para os martelos e todo o interior do moinho, as amostras a serem fragmentadas podem ser contaminadas, caso estes componentes sejam danificados. Ao ser desenvolvido um moinho com suficiente robustez e resistência à abrasão por parte do basalto, a maioria dos materiais poderão ser utilizados, por possuírem um índice de trabalho inferior.

Neste trabalho será feita inicialmente uma revisão bibliográfica, onde é de realçar os tipos de moinhos existentes e a análise energética.

Todos os moinhos têm utilidade na moagem, mesmo existindo uns mais eficientes do que outros. O moinho cilíndrico de bolas é o moinho mais utilizado na indústria, devido à sua versatilidade, podendo realizar tanto a moagem a húmido como a seco e abrange um alargado leque de granulometrias, no entanto é um moinho mais dispendioso monetariamente e complexo de construção do que o moinho de martelos.

A análise energética é feita através das leis da fragmentação, com o objetivo de obter a energia despendida pelo moinho através dos diâmetros das partículas. Esta análise pode ser realizada através da lei de Rittinger, Kick ou Bond. As leis de Rittinger (1867) e Kick (1885) são as mais antigas, possuindo várias limitações ao nível da granulometria utilizada nos cálculos. Para colmatar as lacunas existentes nas teorias apresentadas, Fred C. Bond apresentou em 1951 a terceira teoria, que abrange todas a granulometrias. Desde então, a lei de Bond é a mais completa e utilizada das leis da fragmentação.

Após a revisão bibliográfica, será feito o dimensionamento do moinho, onde serão realizados todos os cálculos necessários para obter um moinho funcional. Será ainda feita a escolha de todos os componentes e materiais adequados às necessidades pretendidas.

Por fim, será realizado o desenho do moinho e de todos os seus componentes em SolidWorks 3D e os seus desenhos técnicos. Ainda será feita uma análise de tolerâncias, para facilitar a construção futura do moinho.

## 2 Revisão bibliográfica

### 2.1 Cominuição

A cominuição define-se como o processo de redução controlada do tamanho de partículas, através da aplicação de energia pelos mecanismos de impacto, compressão e atrito.

O processo de cominuição é classificado tendo em conta a granulometria do material e os mecanismos de fragmentação, podendo-se dividir em três etapas:

1. Desmonte
2. Britagem
3. Moagem

O procedimento começa pelo desmonte da rocha maciça em fragmentos de grandes dimensões. A granulometria do material ainda não é adequada para o uso do minério de interesse, levando à próxima etapa, a britagem.

Na britagem os principais mecanismos de fragmentação são a compressão e o impacto e este processo lida com o minério proveniente da mina ou pedreira, ou seja, material grosseiro. A sua granulometria é reduzida num britador, para que esse material seja compatível com o equipamento de moagem. De modo geral, é um processo realizado a seco e a energia por partícula é bastante elevada, embora a energia por unidade de massa seja baixa.

A moagem é a última etapa do processo de cominuição. Nesta fase o material é fragmentado a um tamanho bastante reduzido, podendo gerar partículas na ordem das dezenas de micrómetros. Todos os mecanismos de fragmentação estão presentes na moagem, com destaque para o atrito, que gera partículas mais finas em relação ao impacto e à compressão. Nesta etapa, ao contrário da britagem, a energia aplicada por partícula é bastante reduzida e a energia total por unidade de massa é bastante elevada [1].

### 2.2 Mecanismos de fragmentação

#### 2.2.1 Impacto

Na fragmentação por impacto, apresentada na Figura 2.1 a), as partículas são desagregadas aquando da presença de forças aplicadas de forma rápida e com intensidade muito superior à

resistência das mesmas. De um modo geral, é utilizada a energia cinética de corpos em movimento circulares ou cadentes, resultando um grande número de partículas de diferentes granulometrias. Em termos de utilização energética, este é o processo mais eficiente, mas é recomendado a utilização deste mecanismo com materiais pouco abrasivos [1].

### 2.2.2 Atrito

Na fragmentação por atrito, apresentada na Figura 2.1 b), existe uma interação entre duas ou mais partículas e a força aplicada não é suficiente para fraturá-las por completo, formando uma concentração de esforços na área exterior da partícula, que provoca o aparecimento de fraturas. O seu tamanho original é diminuído ligeiramente, provocando o aparecimento de partículas muito finas [1].

### 2.2.3 Compressão

Neste processo é aplicada uma tensão lenta e progressiva numa partícula entre duas superfícies, levando à formação de partículas grossas devido à quebra por tensão e partículas finas da quebra por compressão no ponto de aplicação da carga. Na Figura 2.1 c), pode-se verificar a ilustração da compressão de uma partícula [1].

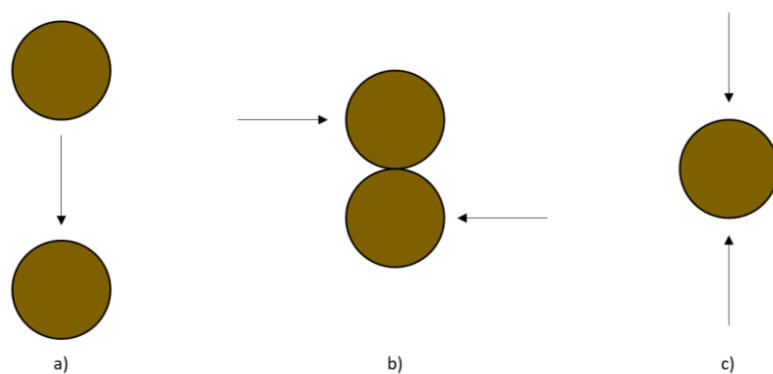


Figura 2.1- Mecanismos de fragmentação: a) Impacto; b) Atrito; Compressão

## 2.3 Tipos de moinhos

### 2.3.1 Moinhos de cilindros

A Figura 2.2 ilustra um moinho de cilíndricos, estes podem ser de dois tipos: de barras ou de bolas. São moinhos de impacto e de atrito e são compostos por uma carcaça cilíndrica de ferro, sendo o seu interior revestido por placas de aço duro ou borracha. A carcaça gira sobre chumaceiras e o seu interior contém barras ou bolas de aço (corpos moedores). Devido à rotação da carcaça, os corpos moedores atingem uma altura, de onde pela ação da gravidade, caem sobre os restantes corpos moedores e sobre o material a ser moído, que se encontra no restante espaço dentro do moinho.

Até ao momento em que os corpos moedores caem (movimento parabólico) para moer o material (força da gravidade > força centrífuga), encontram-se em movimento circular imposto pela força centrífuga da carcaça do moinho. É necessário operar estes tipos de moinhos de 50 a 90% da sua velocidade crítica, velocidade esta que caso seja atingida, o movimento parabólico dos corpos moedores não é realizado (força centrífuga > força da gravidade), ficando tanto as bolas como as barras presas à parede interior da carcaça, que por sua vez, a moagem do material não é concretizada [1].



*Figura 2.2 - Moinho Cilíndrico [2].*

### 2.3.1.1 Moinho de barras

Tal como o nome indica, os corpos moedores destes moinhos são barras maciças e são máquinas normalmente utilizadas na moagem grossa. A principal característica dimensional destes moinhos, é o facto de o comprimento da secção cilíndrica ser de 1,25 a 2,5 vezes superior ao seu diâmetro. O comprimento das barras tem poucos centímetros a menos em relação ao comprimento da carcaça, para não se atravessarem na mesma, sendo essa a razão para existir uma relação dimensional da carcaça do moinho. Ainda é necessário dar atenção ao facto de o comprimento da carcaça não ser demasiado excessivo, pois implicaria também barras de maiores dimensões, provocando o risco de deformação nas mesmas [1], [3].

### 2.3.1.2 Moinho de bolas

O moinho de bolas é o moinho mais utilizado na indústria e é mais adequado à moagem fina do que o moinho de barras, pois as bolas que se encontram dentro da sua carcaça possuem uma área superficial por unidade de peso superior à das barras. É também adequado para a moagem em processos secos ou húmidos. Este tipo de moinho é normalmente utilizado quando o comprimento da carcaça é de 1 a 1,5 vezes maior do que o seu diâmetro. Para moinhos de dimensões maiores, onde o comprimento da carcaça é superior ao seu diâmetro entre 3 a 5 vezes, é necessário dividir o interior da carcaça, normalmente em 3 compartimentos: 1 para secagem e 2 para moagem, separados por um diafragma ou uma grelha.

Internamente os moinhos de bolas são revestidos por placas de aço ou borracha, protegendo-os do desgaste. Estas placas podem ser substituídas quando necessário, pois minimizam o escorregamento das bolas, reduzindo assim, o desperdício de energia.

As bolas de aço ocupam de 20 a 40 % do volume interior da carcaça e movem-se de modo a promover a cominuição do material. A dimensão das partículas a moer rondam a ordem dos 20 mm e estas bolas permitem reduzi-las entre 44 e 250  $\mu\text{m}$  [1], [3].

### 2.3.2 Moinho de discos

O moinho de discos, ilustrado na Figura 2.3, é ideal para moagem fina e é composto por dois discos de aço manganês fundido com ressaltos internos, sendo um fixo e o outro móvel, com movimentos em sentidos contrários. Através da abertura central do disco fixo, é feita a



alimentação do moinho e o material movimenta-se até ao espaço entre os discos. De seguida o material é fragmentado devido ao movimento excêntrico do disco móvel e é forçado a deslocar-se até à câmara coletora que se encontra na periferia. A granulometria final do material pode ser variável, conforme o ajuste da abertura entre os discos. Ainda é de realçar que este tipo de máquina é de pequenas dimensões e habitualmente encontra-se em um laboratório [1].

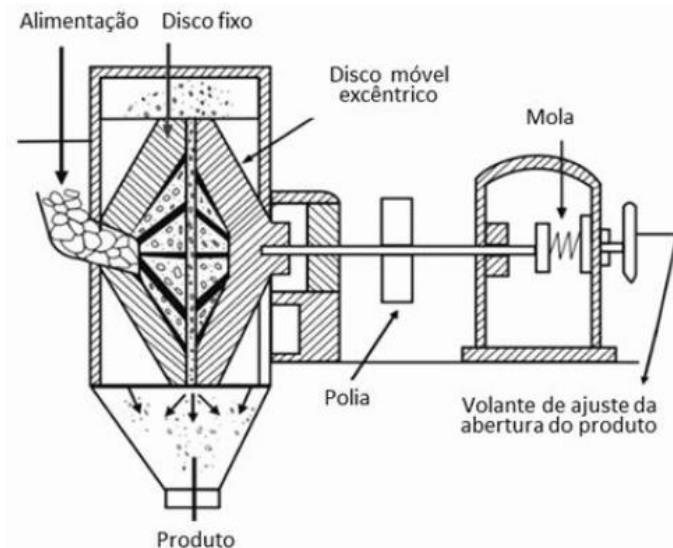


Figura 2.3 - Moinho de discos [1].

### 2.3.3 Moinho vibratório

Este tipo de moinho é constituído por dois tubos de moagem sobrepostos, que estão interligados através de travessas e braçadeiras, como pode ser observado na Figura 2.4. No interior das travessas existem excêntricos que provocam a rotação do moinho. Os moinhos vibratórios operam tanto a seco como a húmido, normalmente em regime contínuo e permitem obter amostras com granulometria muito fina.

Através de um motor elétrico, os excêntricos são acionados por meio de um eixo cardã e a rotação destes produz vibração nos tubos moedores que estão apoiados sobre suportes de borracha. A função dos suportes é isolar as vibrações e reduzir a transmissão destas para a estrutura e a base.

Tal como nos moinhos de bolas o agente moedor são bolas de aço que ocupam de 60 a 70% dos tubos de moagem. O material a ser moído atravessa os tubos longitudinalmente como um

fluido, levando o agente moedor a fragmentá-lo. Na Figura 2.5 é possível observar através de outra perspectiva todos os componentes abordados anteriormente.



Figura 2.4 - Moinho vibratório [4].

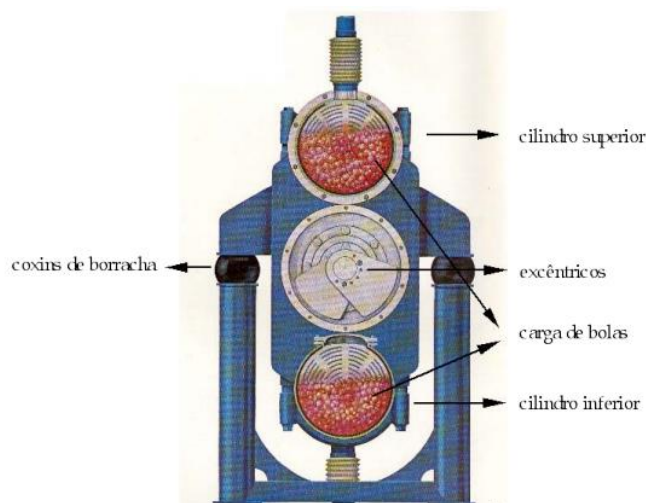


Figura 2.5 - Componentes do moinho vibratório [4]

#### 2.3.4 Moinho de rolos de alta pressão

Os moinhos de rolos, representados na Figura 2.6, são moinhos de atrito e compressão, sendo compostos por dois rolos com chumaceiras independentes, permitindo o funcionamento com velocidades diferentes. Um dos rolos é fixo, possibilitando apenas a rotação no seu eixo, enquanto o outro o rolo é livre para se movimentar. O movimento do rolo é controlado de forma hidráulica e a abertura dos rolos é estipulada através das características e da granulometria do material que

será cominuído. Uma das grandes vantagens deste tipo de moinho é o facto de realizar consumos energéticos menores relativamente aos moinhos de bolas convencionais, mas por outro lado, os rolos sofrem um desgaste elevado, o que leva à pouca utilização deste tipo de moinhos na indústria [1].

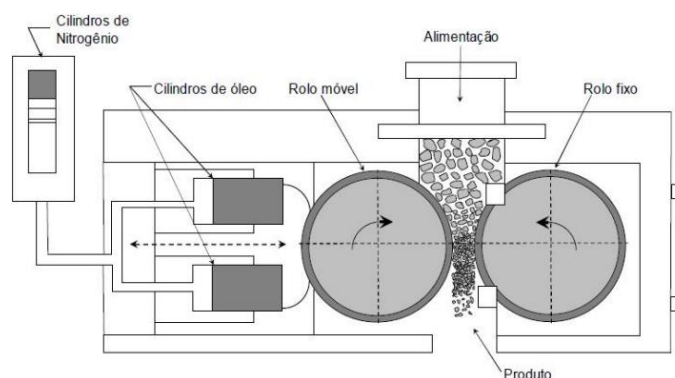


Figura 2.6 - Moinho de rolos de alta pressão [5]

### 2.3.5 Moinho de martelos

O moinho de martelos, ilustrado na Figura 2.7, é um moinho de impacto constituído por uma câmara de impacto e no seu interior um disco de alta rotação, no qual estão presos martelos ou blocos que são balanceados pela força centrífuga imposta pela rotação do disco central. O material é alimentado pela parte superior ou central do moinho e colide com os martelos em alta rotação, que por sua vez é projetado contra a superfície interna da câmara de impacto, fragmentando-o em partículas de menores dimensões. Na parte inferior do moinho, pode ou não existir uma grelha metálica que tem como função bitolar a granulometria máxima pretendida, retendo as partículas de material mais grosseiras.

Este tipo de moinho é adequado para a moagem intermédia e fina de materiais de baixa e média dureza (2-5 na escala de mohs), como é o caso do carvão, calcário, gesso, cerâmica, ou seja, materiais pouco abrasivos. Os martelos são normalmente produzidos em aço ao manganês ou ferro fundido com carboneto de crómio, materiais estes com extrema resistência à abrasão. Em relação à câmara de impacto o aço ASTM-A36 é um aço estrutural convencional bastante utilizado, podendo ser reforçado interiormente pelos mesmos aços utilizados nos martelos [1].

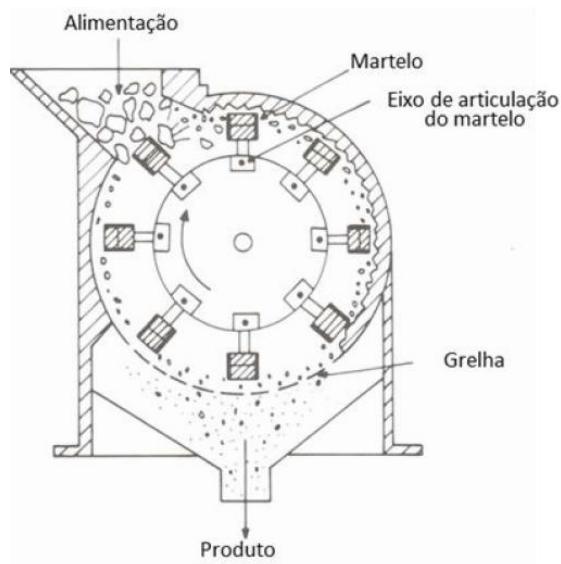


Figura 2.7 - Moinho de martelos [1].

### 2.3.5.1 Vantagens do moinho de martelos

- A cominuição do moinho de martelos é bastante efetiva como um processo contínuo de moagem, provocando um rápido retorno do investimento;
- Possibilidade de controlar o tamanho máximo do material;
- Fragmenta vários tipos de material;
- Operação sem pó;
- Ideal para uma moagem a seco;
- Todas as partes do moinho de martelos possuem pouca fricção, reduzindo as perdas energéticas e o ruído;
- Facilidade na troca da grelha, dos martelos e em qualquer tipo de manutenção.
- Longo tempo de vida.

## 2.4 Leis da fragmentação de sólidos

Ao longo da história foram feitos vários estudos em relação à energia consumida nos processos de cominuição, devido aos grandes custos operacionais que eram exigidos. Após vários estudos nunca foi possível atribuir uma teoria satisfatória à fragmentação de sólidos, mas sempre foi claro para qualquer teoria que quanto menor a granulometria desejada, maior é a energia despendida.

### 2.4.1 Lei de Rittinger

A teoria mais antiga foi a proposta por Peter V. Rittinger, que em 1867 assume que a energia necessária para fragmentar uma partícula é diretamente proporcional à área da nova superfície produzida. O cálculo da energia necessária por unidade de massa,  $E_m$  [J/kg] é apresentada na Equação (2.1), onde  $K_R$  é a constante de Rittinger,  $A_0$  [m<sup>2</sup>] é a área inicial das partículas e  $A_1$  [m<sup>2</sup>] é a área do produto [1].

$$E_m = K_R(A_1 - A_0) \quad (2.1)$$

É de realçar que esta teoria utiliza grandes simplificações, sendo apenas aplicável para a fragmentação muito fina.

### 2.4.2 Lei de Kick

A lei proposta por F. Kick em 1883, afirma que a redução de volume das partículas a fragmentar é diretamente proporcional à energia necessária para as fragmentar. À semelhança da lei anterior, na Equação (2.2) é também calculada energia necessária por unidade de massa, em que  $K_K$  é a constante de Kick,  $d_0$  [m] é o diâmetro das partículas iniciais e  $d_1$  [m] é o diâmetro das partículas do produto [1].

$$E_m = K_K * \ln\left(\frac{d_0}{d_1}\right) \quad (2.2)$$

A lei de Kick ao contrário da lei de Rittinger apenas é utilizada para partículas de granulometria grosseira.

### 2.4.3 Lei de Bond

Devido às necessidades sentidas na indústria de classificar os materiais segundo as suas respostas à fragmentação, F.C. Bond criou a “3ª Lei da Fragmentação”, pois as leis de Rittinger e Kick não conseguem abranger todos os casos práticos existentes. Esta lei afirma que a energia consumida para fragmentar um material é inversamente proporcional à raiz quadrada do diâmetro das partículas. A Equação (2.3) permite calcular a energia necessária para fragmentar uma tonelada curta,  $E_t$  [kWh/st], onde  $P$  [kW] é a potência,  $T$  [st/h] é a taxa de alimentação,  $W_i$

[kWh/st] é o índice de trabalho,  $d_1$  [ $\mu\text{m}$ ] é diâmetro do produto e  $d_0$  [ $\mu\text{m}$ ] é o diâmetro das partículas iniciais [1].

$$E_t = \frac{P}{T} = 10W_i \left[ \frac{1}{\sqrt{d_1}} - \frac{1}{\sqrt{d_0}} \right] \quad (2.3)$$

O índice  $W_i$  é uma característica do material criada por Bond e é definido como o trabalho necessário para fragmentar 1 tonelada curta (1 st = 907 kg) do material considerado, desde um tamanho inicial infinito até 80% passante numa peneira de 100  $\mu\text{m}$ . A Tabela 2.1 apresenta valores do índice de trabalho de alguns materiais.

*Tabela 2.1 - Índice de trabalho [6]*

Material	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Índice $W_i$ (kWh/st)
<b>Basalto</b>	2,89	20,41
<b>Bauxite</b>	2,38	9,45
<b>Cimento</b>	3,09	13,49
<b>Argila</b>	2,23	7,10
<b>Feldspato</b>	2,59	11,67
<b>Ferro-manganês</b>	5,91	7,77
<b>Vidro</b>	2,58	3,08
<b>Granito</b>	2,68	14,39
<b>Minério de ouro</b>	2,86	14,83
<b>Minério de ferro</b>	3,96	15,44
<b>Minério de cobre</b>	3,02	13,13
<b>Quartzo</b>	2,64	12,77
<b>Quartzito</b>	2,71	12,18
<b>Sílica</b>	2,71	13,53
<b>Minério de titânio</b>	4,23	11,88
<b>Calcário</b>	2,69	11,61
<b>Minério de prata</b>	2,72	17,30
<b>Arenito</b>	2,68	11,53
<b>Mica</b>	2,89	134,5

## 3 Seleção de materiais

### 3.1 Aço AISI 4337

O AISI 4337 é um aço de cromo-níquel-molibdênio que combina uma boa ductilidade e resistência ao choque, devido ao processo de nitruração (tratamento termoquímico) a que é submetido. Assim sendo, este é aplicado em veios de torção e flexão, rodas dentadas, semieixos, entre outros [7].

Na Tabela 3.1 encontram-se algumas propriedades deste aço:

*Tabela 3.1 - Propriedades físicas e mecânicas do aço AISI 4337 [8]*

Propriedades físicas	
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	7750
Propriedades mecânicas	
<b>Módulo de Young (GPa)</b>	201 - 209
<b>Tensão de cedência (MPa)</b>	965
<b>Tensão de rotura (MPa)</b>	1448
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0,27 – 0,30
<b>Alongamento (%)</b>	14
<b>Dureza de Brinell (HB)</b>	435

### 3.2 Aço AISI A128

O aço AISI A128, também conhecido com aço de Hadfield, possui elevada resistência ao impacto e à abrasão, daí possuir características únicas. Devido ao trabalho a frio a que este aço é submetido, a sua dureza é aumentada, por isso possui características únicas e é regularmente utilizado em peças que trabalham à abrasão e com choque [9].

Na Tabela 3.2 são apresentados algumas propriedades deste aço:

Tabela 3.2 - Propriedades físicas e mecânicas do aço AISI A128 [10]

Propriedades físicas	
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	7880
Propriedades mecânicas	
<b>Módulo de Young (GPa)</b>	200
<b>Tensão de cedência (MPa)</b>	350
<b>Tensão de rotura (MPa)</b>	940
<b>Alongamento (%)</b>	40
<b>Dureza de Brinell (HB)</b>	220 - 540

### 3.3 Aço 1.0577

Este é um aço de construção bastante utilizado nas indústria, pois tem um largo campo de aplicações devido à sua facilidade para ser soldado. É normalmente utilizado na construção de pontes, guias, torres eólicas, entre outras [11].

Na Tabela 3.3 estão representadas algumas propriedades deste aço [11]:

Tabela 3.3 – Propriedades físicas e mecânicas do aço 1.0577 [11]

Propriedades físicas	
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	7800
Propriedades mecânicas	
<b>Módulo de Young (GPa)</b>	200
<b>Tensão de cedência (MPa)</b>	> 345
<b>Tensão de rotura (MPa)</b>	470 - 630
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0,29
<b>Alongamento (%)</b>	20



## 4 Dimensionamento do moinho de martelos

Neste capítulo serão apresentadas todas as partes e peças com maior relevância do moinho de martelos, tal como todos os cálculos de dimensionamento e toleranciamentos necessários para obter um bom funcionamento do mesmo.

### 4.1 Potência necessária

Inicialmente, para se verificar a potência necessária para reduzir material de 70 mm para 2 mm de diâmetro, foi utilizada a lei de Bond, a mais abrangente das leis da fragmentação. Para efeito de cálculo foi considerado o basalto como material, por apresentar um índice de trabalho bastante elevado,  $W_i = 20,41$  kWh/st. Ainda foi feita uma estimativa da taxa de alimentação do moinho, chegando ao valor de  $30$  kg/h =  $0,033$  st/h. Mesmo sendo um valor pequeno, tendo em conta os moinhos industriais, adequa-se a este projeto, por se tratar de um moinho para fins acadêmicos.

Utilizando a Equação (2.3), é obtida uma potência mínima de  $0,13$  kW, logo o motor escolhido terá de possuir uma potência superior.

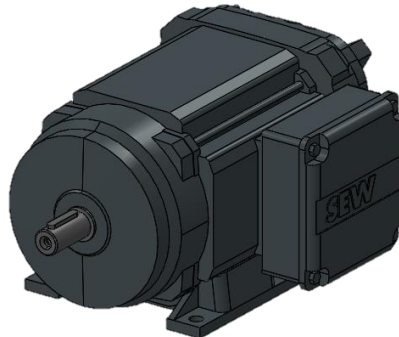
### 4.2 Motor

Para ser efetuada a moagem dos materiais colocados no moinho, os martelos necessitarão de rotação, que será conseguida pela ligação do motor ao veio do rotor, através de um sistema de transmissão por correias.

A potência necessária, como já visto anteriormente, é de  $0,13$  kW. Havendo um grande leque de escolhas, optou-se por um motor trifásico da SEW com  $0,75$  kW de potência [12]. O modelo escolhido foi o DRN80M S2/F1, como é ilustrado na Figura 4.1. e possui as seguintes especificações principais:

- Velocidade angular = 2855 rpm
- Potência = 0,75 kW
- Binário = 2,5 Nm
- Rendimento  $\approx 80\%$
- Dimensões do veio de saída = 19 mm  $\times$  40 mm

- Massa = 11,3 kg



*Figura 4.1 - Motor [12]*

Devido à possibilidade do material ficar preso entre os martelos e a grelha, o motor a utilizar na realidade tem de possuir um binário cerca de 3 vezes superior ao escolhido e uma potência também superior, pois não foram considerados estes efeitos nos cálculos.

É de salientar ainda, que o motor possui 4 furos para ser fixo com parafusos M8 e uma chaveta para ser montada nas polias do sistema de transmissão.

### 4.3 Dimensionamento da câmara de impacto

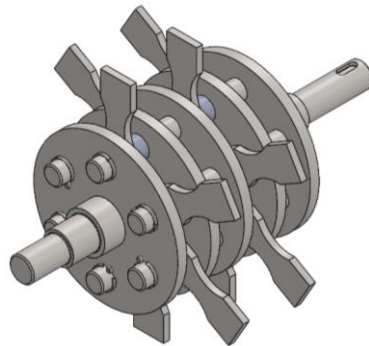
As velocidades da ponta dos martelos mais comuns variam entre os 5000 e os 7000 m/min, fator este, bastante importante para a redução de tamanho dos materiais. Através desta velocidade é possível calcular o diâmetro da câmara de impacto. Por se tratar de um projeto meramente académico e não ser obtido um moinho de dimensões industriais, optou-se por uma velocidade,  $v = 12000 \text{ ft/min} = 3657,6 \text{ m/min}$ . Apesar da velocidade da ponta dos martelos ser inferior às mais utilizadas, esta velocidade será suficiente para obter a redução de tamanho de partículas pretendida, pois a taxa de alimentação do moinho será bastante pequena, os martelos terão uma espessura maior do que a recomendada e a potência do motor é também superior à necessária. Na Equação (4.1) é calculado o diâmetro da câmara de impacto,  $D$  [m], onde  $n$  [rpm] é a velocidade angular [13].

$$v = \pi * D * n \Leftrightarrow D = \frac{v}{\pi * n} = \frac{3657,6}{\pi * 2855} = 0,408 \text{ m} \quad (4.1)$$

## 4.4 Rotor

O rotor, ilustrado na Figura 4.2, é a parte do moinho que se encontra dentro da câmara de impacto e ao receber rotação do motor, permite aos martelos realizarem a moagem. Este é constituído por um veio, 5 discos, 6 eixos, 16 casquilhos, 12 cupilhas e 12 martelos.

Em relação à montagem do rotor, inicialmente os discos serão soldados ao veio sem os escalonamentos feitos, pois o veio pode deformar devido à soldadura. De seguida, o veio e os discos já soldados serão submetidos a um tratamento térmico de modo a aliviar tensões. Após o tratamento serão realizados os escalonamentos e o escatel de modo a não haver desalinhamentos no veio. Por fim, os eixos, os martelos e os casquilhos são montados e fixados com as cupilhas.



*Figura 4.2 - Rotor*

### 4.4.1 Dimensionamento do veio

De modo a realizar o dimensionamento do veio, procedeu-se numa fase inicial à escolha do material do mesmo, recaindo pelo aço AISI 4337.

De forma a garantir o seu bom funcionamento é necessário determinar o diâmetro mínimo do veio, através da análise dos esforços a que este está sujeito. A partir da Equação (4.2) é possível

calcular a tensão de corte admissível,  $\tau_{adm}$  [MPa], onde  $M_t$  [Nm] é o momento torsor. As Equações (4.3) e (4.4) possibilitam o cálculo da tensão admissível,  $\sigma_{adm}$  [MPa], em que  $M_f$  [Nm] é o momento fletor e  $N$  [N] é o esforço axial. Nas três equações,  $d$  [m] representa o diâmetro [14].

#### **Análise à torção**

$$\tau_{adm} = \frac{16 * M_t}{\pi * d^3} \quad (4.2)$$

#### **Análise à flexão**

$$\sigma_{adm} = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3} \quad (4.3)$$

#### **Análise ao esforço axial**

$$\sigma_{adm} = \frac{4 * N}{\pi * d^2} \quad (4.4)$$

Tendo em conta o momento fletor e o momento torsor a que o veio está sujeito, pode-se desprezar o esforço axial, pois este é insignificante em comparação estes esforços. Na Equação (4.5) é possível calcular a tensão admissível, desprezando o esforço axial:

$$\sigma_{adm} = \frac{16}{\pi * d^3} * \sqrt{4 * M_f^2 + 3 * M_t^2} \quad (4.5)$$

#### **4.4.1.1 Cálculo do momento torsor**

Para calcular o momento torsor do veio, é necessário converter as unidades da velocidade angular do veio,  $W$  [rad/s] utilizando a Equação (4.6).

$$W = \frac{2\pi}{60} * n = \frac{2\pi}{60} * 2855 = 298,97 \text{ rad/s} \quad (4.6)$$

Através da Equação (4.7) é calculado o momento torsor, onde  $P$  [W] é a potência e  $\eta$  [%] é o rendimento do motor.

$$M_t = \frac{P * \eta}{W} = \frac{750 * 80\%}{298,97} = 2 \text{ Nm} \quad (4.7)$$

#### 4.4.1.2 Cálculo do momento fletor

Para calcular o momento fletor é necessário conhecer primeiro a força aplicada no veio, ou seja, a força centrífuga exercida pelos martelos em rotação,  $F_h$  [N]. Esta é calculada na Equação (4.8), onde  $r_h$  [m] é o raio dos martelos e  $m_h$  [kg] é a massa de cada martelo. O rotor possuirá 12 martelos,  $N_h$  e este será geometricamente simétrico, de modo que a força centrífuga aplicada no veio, num ambiente sem qualquer tipo de forças externas aplicadas seja zero, pois existiria um equilíbrio de forças. Mas devido à introdução de material no moinho, a colisão entre os martelos e as pedras, vai provocar um desequilíbrio nos mesmos, exercendo por sua vez, uma força centrífuga no veio, que mesmo sendo algo reduzida, é impossível calcular com exatidão. Para efeito de cálculo será considerado que cada martelo exerce força centrífuga no veio, de modo a não haver falhas estruturais futuras [15].

$$F_h = N_h * m_h * r_h * W^2 \Leftrightarrow \quad (4.8)$$

$$\Leftrightarrow F_h = 12 * 0,45 * 0,08 * 298,97^2 = 38613 \text{ N}$$

Na Equação (4.9) é considerado uma força distribuída exercida pelos 12 martelos,  $w_h$  [N/m] ao longo dos 225 mm em que estes estão situados.

$$w_h = \frac{F_h}{0,225} = \frac{38613}{0,225} = 171613 \text{ N/m} \quad (4.9)$$

Na Figura 4.3 encontra-se representado o diagrama de corpo livre do veio, no qual se encontra ilustrada a força distribuída calculada anteriormente e as reações nos apoios,  $R_1$  [N] e  $R_2$  [N].

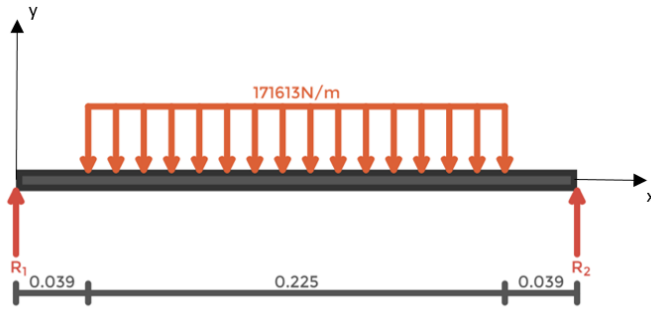


Figura 4.3 - Diagrama de corpo livre do veio

Na Equação (4.10) são calculadas as reações nos apoios, utilizando o equilíbrio de forças vertical.

$$\begin{aligned} \sum F_y = 0 &\Leftrightarrow F_h - R_1 - R_2 = 0 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow R_1 + R_2 = 38613 \text{ N} \end{aligned} \quad (4.10)$$

De seguida, na Equação (4.11) é calculado o ponto médio,  $\bar{x}$  [m], onde a carga equivalente está aplicada.

$$\bar{x} = \frac{0,039 + 0,225 + 0,039}{2} = 0,1515 \text{ m} \quad (4.11)$$

Na Equação (4.12) é feito o equilíbrio de momentos no primeiro apoio,  $M_1$ , de modo a calcular a reação no segundo apoio.

$$\begin{aligned} \sum M_1 = 0 &\Leftrightarrow R_2(x_{\text{apoi}o2} - x_{\text{apoi}o1}) - F_h(\bar{x} - x_{\text{apoi}o1}) = 0 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow R_2(0,303 - 0) = (38613)(0,1515 - 0) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow R_2 = \frac{5849,87}{0,303} = 19307 \text{ N} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Pode-se concluir que:

$$R_1 = 19307 \text{ N}$$

$$R_2 = 19307 \text{ N}$$

Para calcular o momento fletor é necessário analisar o momento em cada secção do veio desde os 0 até aos 0,303 metros.

Vindo que,  $M(x)$  é o momento fletor na posição  $x$ .

### Secção 1 ( $0 \leq x \leq 0,039$ )

Na Figura 4.4 está ilustrado o diagrama de corpo livre da secção 1 do veio e na Equação (4.13) é calculada a equação do momento da mesma.



Figura 4.4 – Diagrama de corpo livre da secção 1 do veio

$$-R_1(x - x_{apoio1}) + M(x) = 0 \Leftrightarrow M(x) = 19307 * (x - 0) = 19307x \quad (4.13)$$

### Secção 2 ( $0,039 \leq x \leq 0,264$ )

Na Figura 4.5 está representado o diagrama de corpo livre da secção 2 do veio e na Equação (4.14) é calculada a equação do momento da mesma secção.

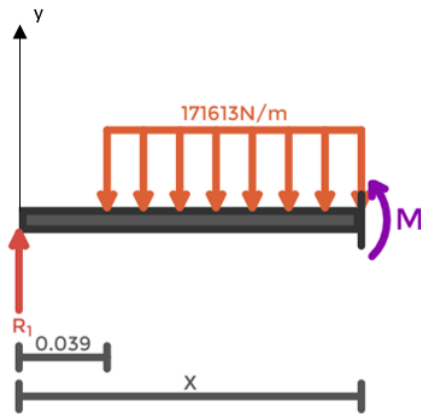


Figura 4.5 – Diagrama de corpo livre da secção 2 do veio

$$\begin{aligned}
 w_h(x - 0,039) \frac{(x - 0,039)}{2} - R_1 x + M(x) &= 0 \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow \frac{171613}{2} (x - 0,039)^2 - 19307x + M(x) &= 0 \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow M(x) &= -85801,5x^2 + 25999,9x - 130,5
 \end{aligned}
 \tag{4.14}$$

**Secção 3 ( $0,264 \leq x \leq 0,303$ )**

Na Figura 4.6 está representado o diagrama de corpo livre da secção 3 do veio e na Equação (4.15) é calculada a equação do momento da mesma secção.

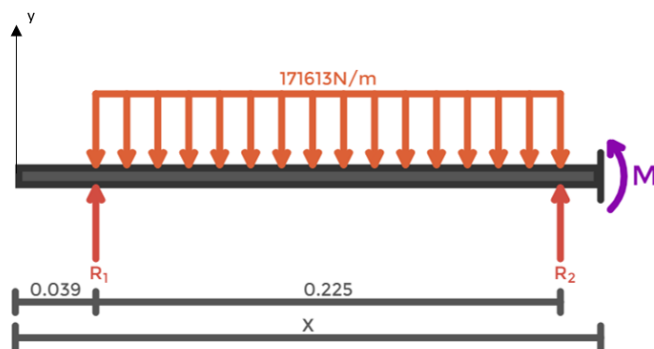


Figura 4.6 – Diagrama de corpo livre da secção 3 do veio



$$\begin{aligned}
 F_h(x - \bar{x}_{força}) - R_1(x - x_{apoio1}) + M(x) &= 0 \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow 38613(x - 0,1515) - 19307(x - 0) + M(x) &= 0 \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow M(x) &= -19306x + 5849,87
 \end{aligned}
 \tag{4.15}$$

Com as expressões dos momentos calculadas em cada secção, foi elaborado o gráfico do momento fletor, como se pode verificar na Figura 4.7. Deste gráfico retirou-se que o momento fletor máximo,  $M_f$ , tem o valor de 1838,83 Nm  $\approx$  1840 Nm.

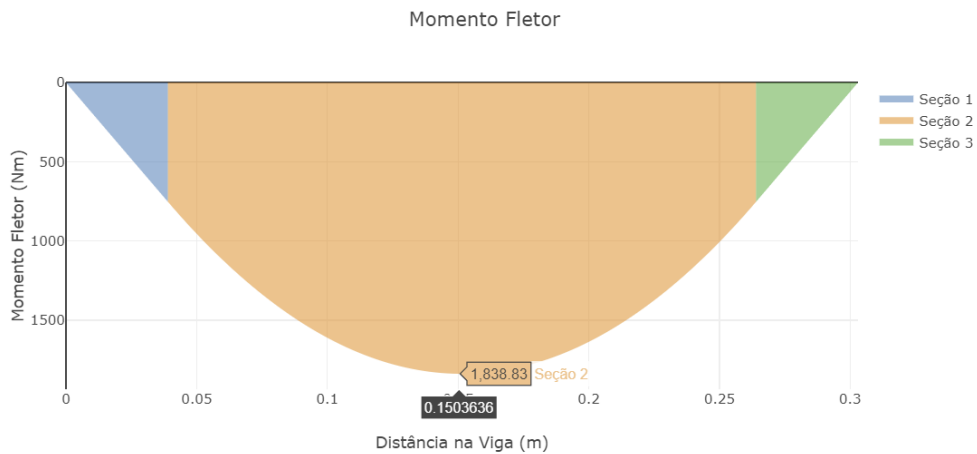


Figura 4.7 - Gráfico do momento fletor do veio

O veio será fabricado no aço AISI 4337, que possui uma tensão de cedência,  $\sigma_{ced} = 965$  MPa, e foi considerado um fator de segurança,  $f_s = 2,5$ . Na Equação (4.16) é obtida a tensão admissível,  $\sigma_{adm}$  [MPa]:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ced}}{f_s} = \frac{965}{2,5} = 386 \text{ MPa}
 \tag{4.16}$$

Assim sendo, já são conhecidos todos os valores necessários para proceder ao cálculo do diâmetro mínimo do veio, que será calculado através da Equação (4.5), já referida anteriormente.

$$\sigma_{adm} = \frac{16}{\pi * d^3} * \sqrt{4 * M_f^2 + 3 * M_t^2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi * \sigma_{adm}} * \sqrt{4 * M_f^2 + 3 * M_t^2}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi * 386 * 10^6} * \sqrt{4 * 1840^2 + 3 * 2^2}} = 0,036 \text{ m} = 36 \text{ mm}$$

Após os cálculos realizados observou-se que o veio tem de possuir um diâmetro superior a 36 mm. Devido aos vários esforços a que o veio será sujeito, já calculados anteriormente e aos choques do material que ocorrerá do moinho, foi escolhido um veio de 65 mm para assegurar o bom funcionamento do moinho. Como será visto mais à frente, o veio será escalonado, tendo 3 diâmetros diferentes.

#### 4.4.2 Flecha máxima do veio

De modo a obter mais um meio de confirmação relativamente à segurança dos 65 mm de diâmetro, será calculada a flecha do veio da zona solicitada. Considerou-se para efeito de cálculo a mesma força distribuída exercida pelos martelos e dois apoios encastrados como é ilustrado na Figura 4.8.

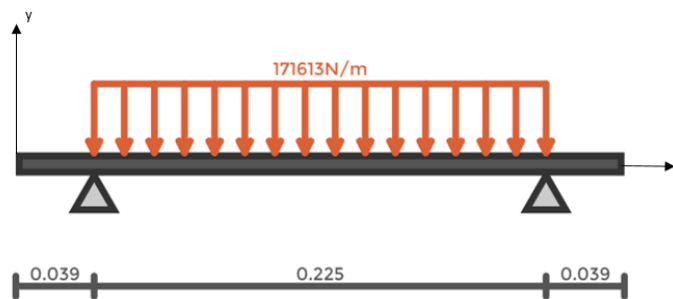


Figura 4.8 - Diagrama de corpo livre do veio

Inicialmente, é calculado na Equação (4.17) o momento de inércia,  $I$  [ $m^4$ ] do veio com diâmetro,  $d = 65$  mm.

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} = \frac{\pi * 65^4}{64} = 876241 \text{ mm}^4 = 8,76 * 10^{-7} \text{ m}^4 \quad (4.17)$$

Sabendo o momento de inércia, é calculada através da Equação (4.18) a flecha máxima,  $\delta_{\text{máx}}$  [m], onde  $L$  [m] é o comprimento da zona do veio considerada para o cálculo.

$$\delta_{m\acute{a}x} \leq \frac{L}{1000} = \frac{0,303}{1000} = 3,03 * 10^{-4} m \quad (4.18)$$

Consultou-se a tabela “Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito” [16] e foi obtida, na Equação (4.19) a flecha real,  $\delta$  [m], onde  $E$  [Pa], é o m3dulo de Young do a3o AISI 4337.

$$\delta = \frac{1 * w_h * L^4}{384 * E * I} = \frac{1 * 171613 * 0,303^4}{384 * 205 * 10^9 * 8,76 * 10^{-7}} = 2,1 * 10^{-5} m < \delta_{m\acute{a}x} \quad (4.19)$$

A f3rmula da flecha mais adequada a esta situa33o seria a n3o 26, mas esta n3o garante o seu deslocamento m3ximo, por essa raz3o foi utilizada a f3rmula n3o 18. Estas f3rmulas est3o ilustradas no Anexo 1.

#### 4.4.3 Dimensionamento do eixo do martelo

3a semelhan3a do dimensionamento do veio, o eixo do martelo ser3 fabricado no a3o AISI 4337. Para determinar o di3metro deste eixo ser3 feita apenas uma an3lise 3 flex3o atrav3s da Equa33o (4.3), j3 vista anteriormente:

$$\sigma_{adm} = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3}$$

Cada eixo estar3 apoiado em 5 discos, um no centro, um em cada extremidade e um no centro do espa3o entre o disco central e o da extremidade, resultando 4 poss3veis espa3os para cada martelo. Cada quarto do eixo ir3 possuir no m3ximo um martelo, sendo calculado a for3a centrífuga de um martelo,  $F_h$  [N] na Equa33o (4.20), onde  $m_h$  [kg] é a massa de um martelo,  $r_h$  [m] é o raio do centro de massa do martelo e como j3 visto anteriormente,  $W$  [rad/s] é a velocidade angular do martelo.

$$F_h = m_h * r_h * W^2 = 0,45 * 0,05 * 298,97^2 = 2011,1 N \quad (4.20)$$

Os martelos v3o localizar-se em tr3s s3tios poss3veis, ou numa das extremidades de cada quarto do eixo ou no centro de um destes. Para efeitos de c3lculo ser3 considerado um martelo posicionado no centro, como é ilustrado na Figura 4.9, pois ser3 onde ir3 exercer um maior momento fletor.

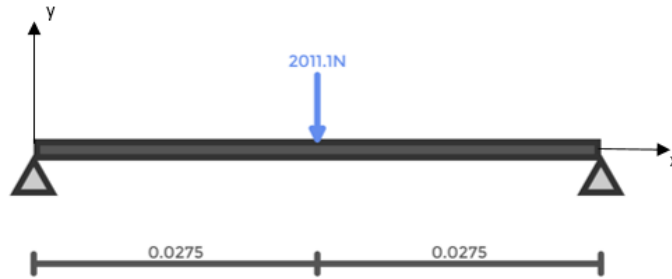


Figura 4.9 - Diagrama de corpo livre do eixo do martelo

Assim sendo, para calcular o momento fletor, à semelhança do veio, começa-se por calcular a as reações nos apoios,  $R_1$  [N] e  $R_2$  [N], fazendo o equilíbrio de forças na vertical, como se pode verificar na Equação (4.21). Os apoios neste caso serão os discos onde os eixos estão montados.

$$\begin{aligned} \sum F_y = 0 &\Leftrightarrow F_h - R_1 - R_2 = 0 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow R_1 + R_2 = 2011,1 \text{ N} \end{aligned} \quad (4.21)$$

Na Equação (4.22) é calculado a reação no segundo apoio,  $R_2$  [N] através do equilíbrio de momentos no primeiro apoio.

$$\begin{aligned} \sum M_1 = 0 &\Leftrightarrow R_2(x_{\text{apoiio2}} - x_{\text{apoiio1}}) - F_h(x_{\text{força}} - x_{\text{apoiio1}}) = 0 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow R_2(0,1375 - 0) = (2011,1)(0,06875 - 0) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow R_2 = \frac{138,26}{0,1375} = 1005,5 \text{ N} \end{aligned} \quad (4.22)$$

Pode-se concluir então:

$$R_1 = 1005,5 \text{ N}$$

$$R_2 = 1005,5 \text{ N}$$

Tal como no veio é necessário analisar o momento fletor por secções ao longo da metade eixo.

### Secção 1 ( $0 \leq x \leq 0,0275$ )

Na Figura 4.10 está ilustrada a secção 1 do eixo e na Equação (4.23) é calculada a equação do momento da mesma secção.

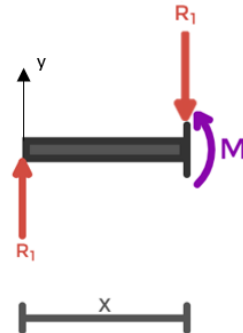


Figura 4.10 – Diagrama de corpo livre da secção 1 do eixo

$$-R_1(x - x_{\text{apoi01}}) + M(x) = 0 \Leftrightarrow M(x) = 1005,5(x - 0) = 1005,5x \quad (4.23)$$

### Secção 2 ( $0,0275 \leq x \leq 0,055$ )

Na Figura 4.11 está representada a secção 2 do eixo e na Equação (4.24) é calculada a equação do momento da mesma secção.

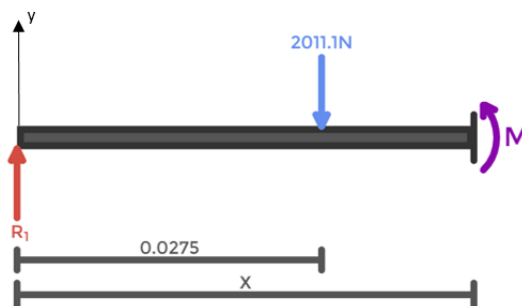


Figura 4.11 - Diagrama de corpo livre da secção 2 do eixo

$$\begin{aligned}
 F_h(x - x_{for\grave{c}a1}) - R_1(x - x_{apoio1}) + M(x) &= 0 \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow 2011,1(x - 0,0275) - 1005,5(x - 0) + M(x) &= 0 \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow M(x) &= -1005,5x + 55,30
 \end{aligned}
 \tag{4.24}$$

Com as expressões calculadas em cada secção, foi elaborado o gráfico do momento fletor, como se pode verificar na Figura 4.12. Deste gráfico retirou-se que o momento fletor máximo,  $M_f$  [Nm], tem o valor de 27,65 Nm  $\approx$  28 Nm.

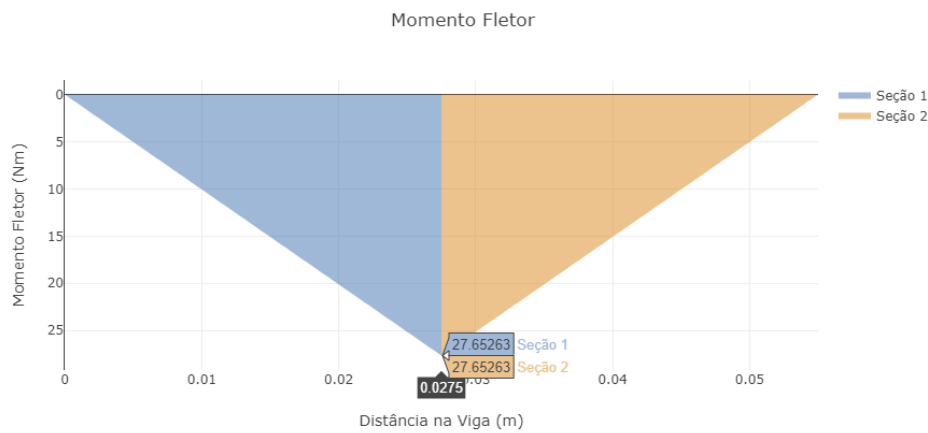


Figura 4.12 - Gráfico do momento fletor do eixo

Tal como o veio, o eixo será fabricado no aço AISI 4337 que possui uma tensão de cedência,  $\sigma_{ced} = 965$  MPa e considerando um fator de segurança,  $f_s$ , de 2,5 é possível obter a tensão admissível,  $\sigma_{adm}$  [MPa,] através da seguinte Equação (4.25):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ced}}{f_s} = \frac{965}{2,5} = 386 \text{ MPa}
 \tag{4.25}$$

Assim sendo, já são conhecidos todos os valores necessários para proceder ao cálculo do diâmetro mínimo do eixo,  $d$  [m], que será obtido pela Equação (4.3), já referida anteriormente:

$$\sigma_{adm} = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3} \Leftrightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32 * 28}{\pi * 386 * 10^6}} = 0,009 \text{ m} = 9 \text{ mm}$$

Mais uma vez, para garantir uma maior segurança será optado por um eixo de 30 mm.

#### 4.4.4 Flecha máxima do eixo do martelo

A flecha máxima do veio, terá em conta a força centrífuga de um martelo, daí ser só representado na Figura 4.13, um quarto do comprimento do eixo, à semelhança do dimensionamento do eixo do martelo.

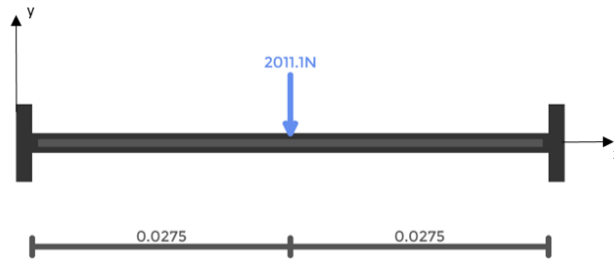


Figura 4.13 - Diagrama de corpo livre do eixo

O momento de inércia,  $I$  [ $m^4$ ] do eixo de diâmetro,  $d = 30$  mm é calculado na Equação (4.26):

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} = \frac{\pi * 0,03^4}{64} = 3,97 * 10^{-8} m^4 \quad (4.26)$$

Sabendo o momento de inércia, na Equação (4.27) é calculada a flecha máxima,  $\delta_{m\acute{a}x}$  [m], onde  $L$  [m] é o comprimento de um quarto do eixo.

$$\delta_{m\acute{a}x} \leq \frac{L}{1000} = \frac{0,055}{1000} = 5,5 * 10^{-5} m \quad (4.27)$$

Foi consultada a tabela “Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito” [16], representada no Anexo 1 e foi calculada através da Equação (4.28) a flecha real,  $\delta$  [m] no eixo, onde  $E$  [Pa] é o módulo de Young do aço AISI 4337.

$$\delta = \frac{1 * F_h * L^3}{192 * E * I} = \frac{1 * 2011,1 * 0,055^3}{192 * 205 * 10^9 * 3,97 * 10^{-8}} = 2,14 * 10^{-7} m < \delta_{m\acute{a}x} \quad (4.28)$$

#### 4.4.5 Martelo

Devido à falta de produtores de martelos em Portugal, os martelos para este moinho foram projetados e serão fabricados no aço AISI A128, como está ilustrado na Figura 4.14. Como já visto anteriormente, é um material bastante resistente ao choque e ao desgaste a que os martelos irão estar sujeitos.

As dimensões dos martelos aconselhadas para uma velocidade do rotor aproximadamente de 1800 rpm são 250 mm × 63,5 mm × 6,4 mm e para velocidades de cerca de 3600 rpm 150-200 mm × 50 mm × 6,4 mm. De modo que, o rotor utilizado estará a cerca de 2855 rpm, foi optado pelas seguintes dimensões de fabrico dos martelos: 150 mm × 50 mm × 10 mm e utilizado apenas um furo em cada martelo. Ainda é aconselhado para uma velocidade de 1800 rpm um martelo por cada 2,5 - 3,5 Hp e para 3600 rpm um martelo para cada 1 - 2 Hp [17]. A potência do moinho é de 1 Hp, mas a espessura optada foi de 10 mm e o número de martelos serão 12 o que é um pouco maior do que a aconselhada, pois para materiais friáveis, como é o caso das rochas que serão colocadas no moinho, quanto maior for o número de martelos e o seu peso mais fina será a amostra obtida. O lado negativo de ter mais martelos e serem mais pesados é o facto de perder alguma capacidade de moagem, mas não existirá qualquer problema, pois as quantidades a serem moídas serão bastantes diminutas, tal como a sua taxa de alimentação.

O modo como os martelos estão dispostos no rotor é bastante importante, pois estes não podem arrastar os martelos que os precedem, ou seja, quando um martelo percorre o mesmo trajeto de outro e existe colisão entre eles. De modo a que o rotor fique equilibrado e não exista o arrastamento entre martelos, o padrão do rotor não repetirá martelos na mesma posição ao longo do seu comprimento, obtendo assim uma maior eficiência do moinho.

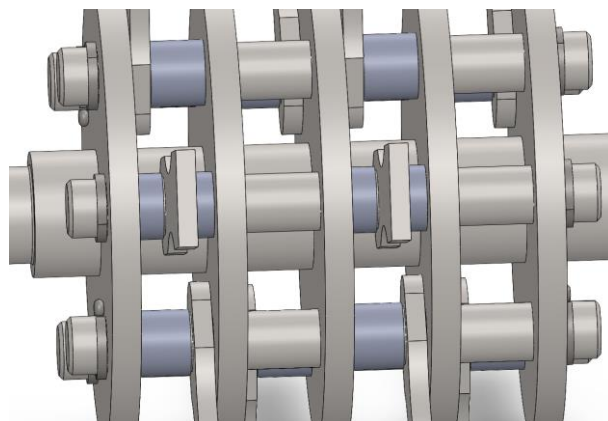


*Figura 4.14 – Martelo*



#### 4.4.6 Casquilhos

Era necessário restringir o movimento dos martelos ao longo dos eixos para não haver colisão entre estes, pois devido à rotação do rotor e ao impacto com as pedras, os martelos irão sofrer alguma deslocação. Dito isto, serão colocados casquilhos de 30 mm de diâmetro nos eixos, de modo a restringir o movimento dos martelos em cerca de 2 mm, essa montagem está ilustrada na Figura 4.15. Para os martelos que se encontram na zona central entre discos serão necessários 2 casquilhos, um de cada lado com o comprimento de 14 mm e para os martelos que estão encostados a um dos discos, é necessário apenas um casquilho com 28 mm de comprimento. Não foram encontrados casquilhos no mercado com estes comprimentos exatos, logo serão encomendados os casquilhos EGB3015-E40 e EGB3030-E40 da SCHAEFFLER com 15 e 30 mm respetivamente, sendo necessário desbastar 1 mm de comprimento a cada casquilho de 15 mm e 2 mm aos casquilhos de 30 mm antes da montagem [18].

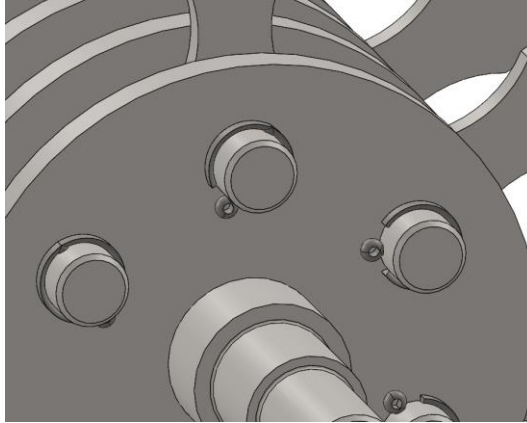


*Figura 4.15 - Montagem dos casquilhos nos eixos*

#### 4.4.7 Cupilha

Os eixos dos martelos tinham necessidade de serem fixos, mas não era possível soldá-los, pois em algum ponto da vida do moinho será necessário substituir os martelos, de modo que foi necessário solucionar este problema com uma ligação desmontável. A ligação mais óbvia seria uma ligação aparafusada, mas devido à dificuldade de criar uma rosca e por ser um veio de 30 mm, foi considerada uma outra solução. Então serão feitos dois furos de 5,5 mm de diâmetro em cada eixo, de seguida é realizada a montagem dos martelos e dos casquilhos e por fim introduz-se uma cupilha em cada furo, dobrando-se as pontas desta, garantindo assim, a fixação dos eixos,

como se pode verificar na Figura 4.16. A cupilha é da Norelem [19], é feita do aço inoxidável 1.4310 e a sua referência é: 07336-2050X63, observável no Anexo 2.



*Figura 4.16 - Montagem das cupilhas nos eixos*

## 4.5 Sistema de transmissão com correias

A velocidade que o rotor necessita é igual à velocidade do motor escolhido, como já visto anteriormente. Existem muitas opções para realizar a ligação entre o motor e o veio, mas foi optado por uma transmissão com correias de 1:1, pois o motor já possui uma chaveta no seu veio e ainda existem as seguintes vantagens na utilização deste tipo de ligação:

- Melhor absorção de vibrações;
- Não necessita de lubrificação;
- Tem um baixo custo;
- Permite um desacoplamento fácil, pelo simples deslocamento de uma das polias, eliminando a tensão na correia;
- A relação de transmissão pode ser alterada se pretendida uma velocidade no veio maior ou menor, bastando alterar uma polia com diâmetro diferente e movendo o motor de modo a esticar a correia.

### 4.5.1 Dimensionamento do sistema de transmissão com correias

Como já referido, foi optado por ter duas polias iguais, com a referência 22070-21181 da Norelem [19], de diâmetro,  $D_1 = D_2 = 118 \text{ mm} = 4,6 \text{ in}$ , observável no Anexo 3. Apesar das polias serem iguais, as buchas que vão ser montadas nas polias serão diferentes. A bucha que vai montar no motor é a 23200-0571925 e possui um diâmetro de 19 mm, enquanto a bucha que monta no

veio é a 23200-057025 e possui um furo com diâmetro de 40 mm, conforme o Anexo 4. Como a velocidade angular do motor,  $n_1$  [rpm] já é conhecida, através da Equação (4.29) é possível calcular a velocidade angular da segunda polia,  $n_2$  [rpm].

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{n_2}{n_1} \Leftrightarrow \frac{4,6}{4,6} = \frac{n_2}{2855} \Leftrightarrow n_2 = 2855 \text{ rpm} \quad (4.29)$$

Na Equação (4.30) é calculada a velocidade linear da segunda polia,  $v$  [ft/min], onde  $r$  [in] é o raio desta.

$$v = 2\pi * N_2 * \frac{r}{12} = 2\pi * 2855 * \frac{2,3}{12} = 3438,2 \text{ ft/min} \quad (4.30)$$

Sendo um motor elétrico de 1 Hp, vem que:

- $K_s = 1,2$  (Anexo 4)
- Secção da correia: A

De seguida foi consultada tabela 8.7 da brochura “Órgãos de máquinas” [20], (ver Anexo 5) de modo a obter a potência característica de uma correia,  $H_{tab}$  [Hp]. O valor será retirado da tabela através de uma interpolação como se pode verificar na Equação (4.31):

$$\frac{2,69 - H_{tab}}{4000 - 3438,2} = \frac{H_{tab} - 2,44}{3438,2 - 3000} \Leftrightarrow H_{tab} = 2,55 \text{ Hp} = H_a \quad (4.31)$$

A potência de cálculo ou de serviço de uma transmissão,  $H_d$  [Hp] é calculada na Equação (4.32), onde  $K_s$  é o fator de serviço da transmissão e  $H_{nom}$  [Hp] é potência do motor.

$$H_d = K_s * H_{nom} = 1,2 * 1 = 1,1 \text{ Hp} \quad (4.32)$$

Com os cálculos feitos anteriormente, é possível calcular o número de correias necessárias, através da Equação (4.33):

$$N^{\circ} \text{ de correias} = \frac{H_d}{H_a} = \frac{1,1}{2,55} = 0,47 \rightarrow 1 \text{ correia} \quad (4.33)$$

De seguida, foi utilizada a Equação (4.34) para calcular o perímetro da correia,  $L$  [in], onde  $c$  [in] é a distância entre as polias.

$$L = 2c + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4c} \quad (4.34)$$

Foi assumido para efeito de cálculo  $c = 16,34 \text{ in} = 415 \text{ mm}$ .

$$L = 2 * 16,34 + \frac{\pi}{2}(4,6 + 4,6) + \frac{(4,6 - 4,6)^2}{4 * 16,34} = 47,13 \text{ in} = 1197,1 \text{ mm}$$

Pode ser ainda calculado o ângulo de contacto das polias,  $\theta_1$  [rad], através da Equação (4.35):

$$\theta_1 = \pi - 2\arcsen\left(\frac{D_2 - D_1}{2}\right) = \pi - 2\arcsen\left(\frac{0,118 - 0,118}{2}\right) = \pi \quad (4.35)$$

Por fim, foi consultado o catálogo das correias da Norelem [19] (ver Anexo 6), sendo escolhida a correia trapezoidal, 22071-21200, com  $L = 1200 \text{ mm}$ , valor este, bastante próximo do pretendido.

#### 4.5.2 Cálculo das tensões exercidas pela correia

As correias trapezoidais funcionam por atrito, existindo cargas na mesma, como se pode verificar na Figura 4.17.

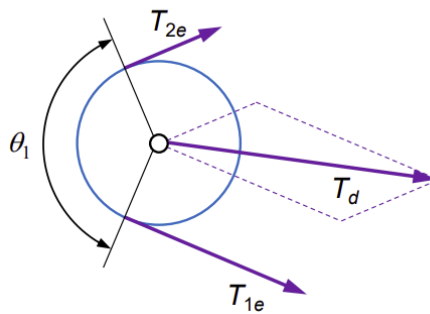


Figura 4.17 - Cargas na correia e no veio [21]

Os ramos das correias são submetidos a forças, uma força centrífuga que não transmite força para o veio e duas forças eficazes,  $T_{1e}$  [N] que é a força eficaz no ramo bambo e  $T_{2e}$  [N] é a força eficaz no ramo tenso. Apenas a resultante das forças eficazes,  $T_d$  [N] transmite força para o veio [21].

Para correias trapezoidais existe uma razão entre as forças eficazes,  $Q = 5$ .

Como o momento tórsor transmitido já é conhecido, é possível, através da Equação (4.36) calcular a força eficaz do ramo bambo, onde  $d$  [m] é o diâmetro das polias.

$$M_t = T_{1e} * \frac{Q - 1}{Q} * \frac{d}{2} \Leftrightarrow 2 = T_{1e} * \frac{5 - 1}{5} * \frac{0,118}{2} \Leftrightarrow T_{1e} = 42,37 \text{ N} \quad (4.36)$$

Já tendo conhecimento do primeira tensão eficaz, na Equação (4.37) é obtida a tensão eficaz no ramo tenso.

$$Q = \frac{T_{1e}}{T_{2e}} \Leftrightarrow 5 = \frac{42,37}{T_{2e}} \Leftrightarrow T_{2e} = 8,47 \text{ N} \quad (4.37)$$

A expressão de Carnot relaciona as forças eficazes com o ângulo de contacto das polias, obtendo a resultante das forças eficazes, ou seja, a força exercida no veio, como se pode verificar na Equação (4.38):

$$T_d = \sqrt{T_{1e}^2 + T_{2e}^2 - 2T_{1e}T_{2e} * \cos(\theta_1)} \Leftrightarrow$$

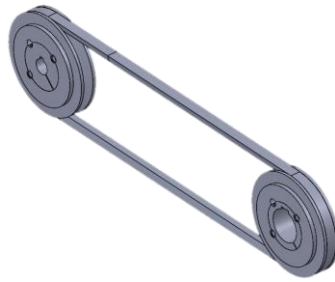
$$\Leftrightarrow T_d = \sqrt{42,37^2 + 8,47^2 - 2 * 42,37 * 8,47 * \cos(\pi)} = 50,84 \text{ N} \quad (4.38)$$

Por fim, como a correia irá fazer um ângulo de  $57,3^\circ$  com a vertical, pois o motor irá estar a uma altura inferior ao veio, logo na Equação (4.39) é calculada a força vertical,  $F_v$  [N] e a força horizontal,  $F_H$  [N] aplicadas no veio.

$$F_v = T_d * \cos(57,3) = 50,84 * \cos(57,3^\circ) = 27,5 \text{ N} \quad (4.39)$$

$$F_H = T_d * \sin(57,3) = 50,84 * \sin(57,3^\circ) = 42,8 \text{ N}$$

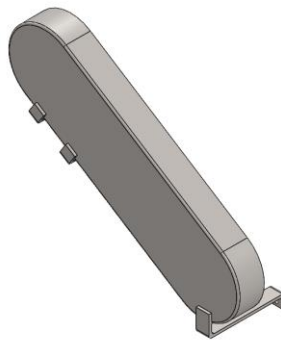
Na Figura 4.18 está representado o sistema de transmissão utilizado no moinho.



*Figura 4.18 - Sistema de transmissão*

### 4.5.3 Proteção do sistema de transmissão

Para garantir a segurança dos utilizadores do moinho, pois as rotações do sistema de transmissão são algo elevadas, foi necessário projetar uma proteção para o sistema de transmissão em aço 1.0577, como se pode verificar na Figura 4.19.



*Figura 4.19 - Proteção do sistema de transmissão*

Ainda serão soldados 3 suportes à proteção, que por sua vez estarão aparafusados à estrutura do moinho, garantindo assim a fixação da proteção do sistema de transmissão.

## 4.6 Rolamento e chumaceira

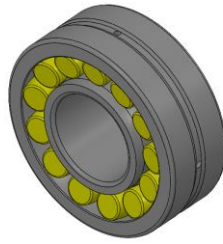
Em relação ao tipo de rolamento, foi considerado que as forças das reações nos apoios,  $R_1 = R_2 = 19307 \text{ N}$ , do veio seriam aplicadas nos rolamentos, mesmo não sendo um valor real como já referido. Sendo assim, a carga radial presente nos rolamentos será bastante considerável, de modo que, foi escolhido um rolamento autocompensador de rolos da SKF [22]. Este tipo de rolamento tem a vantagem de ter a capacidade de acomodar desalinhamentos o que leva a uma baixa manutenção e uma longa vida útil.

Para escolher o modelo do rolamento foi consultada a brochura “Órgãos de máquinas” [20] e feita uma análise dinâmica na Equação (4.40), onde foi calculado a capacidade de carga dinâmica do rolamento,  $C$  [N]. Assumiu-se que a vida nominal de trabalho do rolamento,  $L_{10h}$  era de 2000 horas,  $n$  [rpm] é a velocidade angular do veio e estando perante um rolamento de rolos, o expoente da fórmula da vida é  $p = \frac{10}{3}$ .

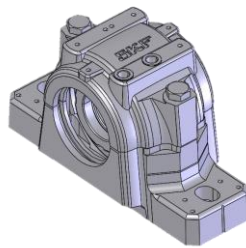
$$\begin{aligned} L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p &\Leftrightarrow 2000 = \frac{10^6}{60 * 2855} * \left(\frac{C}{19307}\right)^{\frac{10}{3}} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \frac{C}{19307} = \sqrt[\frac{10}{3}]{\frac{2000 * 60 * 2855}{10^6}} \Leftrightarrow C = 111212 \text{ N} \end{aligned} \quad (4.40)$$

Em relação à análise estática, não será necessário fazer qualquer tipo de cálculo, pois as forças estáticas são bastantes insignificantes aquando comparadas com as cargas dinâmicas.

Após a realização dos cálculos, foram consultados os catálogos de rolamentos e de chumaceira da SKF [22], sendo escolhido o rolamento autocompensador de rolos 22308 E (ver Anexo 7) com furo de 40 mm de diâmetro, ilustrado na Figura 4.20. Para este rolamento a chumaceira SE 510-608 + 22308 também da SKF era a indicada (ver Anexo 8), com os anéis de fixação FRB 4/90, representada na Figura 4.21.



*Figura 4.20 - Rolamento*



*Figura 4.21 – Chumaceira*

## 4.7 Retentor

Com o objetivo de reter o pó resultante da moagem dentro do moinho e também com a função de a amostra não ser contaminada por algo que entre no moinho vindo do exterior, será colocado um retentor no veio, assente no corpo.

Foi consultado o catálogo de retentores radiais da Norelem [19], produzidos em aço e elastómero NBR, as suas únicas limitações são:

- Velocidade tangencial  $\leq 12$  m/s;
- Pressão  $\leq 0,05/0,5$  (MPa/bar). (Adequado para operações despressurizadas).

Na Equação (4.41) é calculada a velocidade tangencial do veio,  $v$  [m/s], onde o raio deste na zona do retentor é  $r = 25$  mm e a velocidade angular,  $W$  já é conhecida.

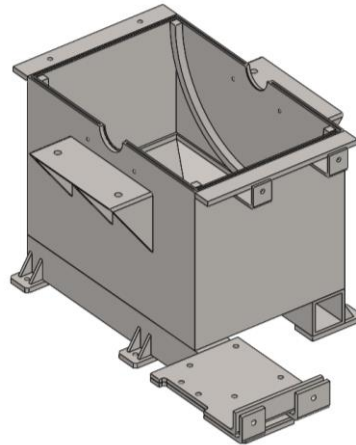


$$v = W * r = 298,97 * 0,025 = 7,47 \text{ m/s} < 12 \text{ m/s} \quad (4.41)$$

Como o interior da máquina se encontra à pressão atmosférica, todos os requisitos são cumpridos, tendo sido escolhido o retentor 23915-12506508, observável no Anexo 9.

## 4.8 Corpo

O corpo, representado na Figura 4.22, será a base do moinho e todos os componentes principais estarão assentes ou em contacto com o corpo. Este é constituído por uma caixa soldada, por todos os suportes de várias componentes do moinho, a grelha, a tremonha, a gaveta, os pés, os perfis ocós e a borracha vedante, que serão analisados mais à frente.



*Figura 4.22 – Corpo*

### 4.8.1 Grelha

O tamanho das partículas e a eficiência da moagem são controlados pela quantidade de área aberta que a grelha possui. Quando maior a quantidade área aberta melhor para a moagem, mas esta quantidade de área não depende apenas do tamanho dos furos, depende também da forma como os furos estão distribuídos na grelha. As grelhas que possuem menos furos são mais fáceis de produzir e possuem um menor custo de produção associado. As grelhas com furos em linha também são mais fáceis de produzir, no entanto, ambos os tipos não proporcionam uma boa eficiência do moinho e causam um maior desgaste à grelha, pois o espaço entre furos sofre um desgaste maior do que o padrão que será utilizado, padrão este que será o de 60 graus,

representado na Figura 4.23. Este tipo de configuração ajuda manter a resistência da grelha e a distribuir os furos de modo a ocupar maior área na mesma. A grelha foi projetada segundo estas condições e está ilustrada na Figura 4.24 [13].

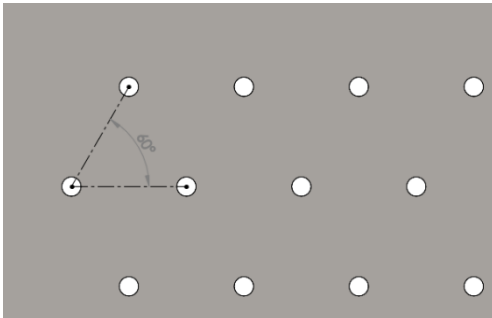


Figura 4.23 - Padrão de 60° da grelha



Figura 4.24 - Grelha

Existem duas regras que relacionam as dimensões da grelha com a potência do motor:

1. Não ter menos do que 120 cm<sup>2</sup>/kW de área de grelha, mas quanto maior o valor mais vantajoso é;
2. Não ter menos do que 35 cm<sup>2</sup>/kW de área de grelha aberta.

Serão realizados furos de diâmetro,  $d = 2$  mm, com 12 mm de espaçamento entre eles e 25 mm de margem para as extremidades da grelha, o que resultará 1225 furos. Na Equação (4.42) é calculada a área de cada furo da grelha,  $A_1$  [m<sup>2</sup>] e na Equação (4.43) é obtida a área da grelha sem furos,  $A_2$  [m<sup>2</sup>], onde  $c$  [m] é o comprimento da grelha e  $l$  [m] a largura da mesma. Para cumprir a primeira regra, de acordo com a Equação (4.44) foi calculada a área da grelha, mas com os furos já realizados,  $A_g$  [m<sup>2</sup>] e através da Equação (4.45) obtém-se a área total dos furos,  $A_f$  [m<sup>2</sup>].

$$A_1 = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi * \left(\frac{2}{2}\right)^2 = 3,14 \text{ mm}^2 \quad (4.42)$$

$$A_2 = c * b = 645,6 * 305 = 196908 \text{ mm}^2 \quad (4.43)$$

$$\begin{aligned} A_g &= A_2 - (A_1 * N^{\circ} \text{ furos}) = 196908 - (3,14 * 1225) \\ &= 193062 \text{ mm}^2 = 1930 \text{ cm}^2 \end{aligned} \quad (4.44)$$

$$A_f = A_1 * N^{\circ} \text{ de furos} = 3,14 * 1225 = 3847 \text{ mm}^2 = 38 \text{ cm}^2 \quad (4.45)$$

A potência do motor é de 0,75 kW, logo vem:

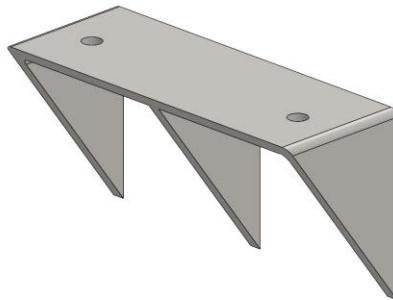
$$\frac{1930}{0,75} = 2573 \text{ cm}^2/\text{kW} > 120 \text{ cm}^2/\text{kW}$$

$$\frac{38}{0,75} = 50,7 \text{ cm}^2/\text{kW} > 35 \text{ cm}^2/\text{kW}$$

Em relação à manutenção, é aconselhado que seja feita a troca frequente de grelhas, para manter a capacidade e eficiência do moinho.

#### 4.8.2 Suporte da chumaceira

De modo a ter a chumaceira e o rolamento apoiados para o veio trabalhar sem problemas, foi desenvolvido um suporte para a chumaceira, apresentado na Figura 4.25, que será soldado ao corpo. Este suporte será produzido no aço 1.0577 e possuirá 2 furos para fixar a chumaceira através de 2 ligações aparafusadas M12.

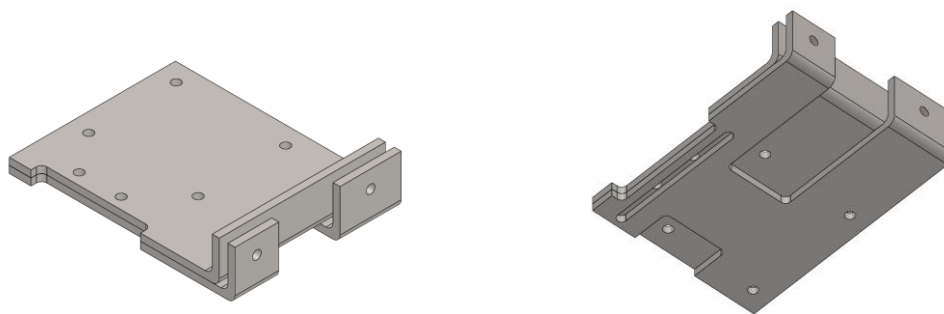


*Figura 4.25 - Suporte da chumaceira*

#### 4.8.3 Suportes do motor

Por baixo do motor estarão duas chapas juntas de aço 1.0577, que têm várias funções, fixar o motor à máquina, servir de suporte do motor e ainda possibilitar a desmontagem da correia de transmissão. Para além dos furos passantes que as chapas possuem para fixar o motor, representados na Figura 4.26, a chapa inferior terá um furo rasgado, como se pode verificar na Figura 4.27. Este furo tem o objetivo de possibilitar o movimento do motor, para retirar a tensão da correia e ser possível desmontá-la das polias, caso seja necessário a troca da mesma. Como

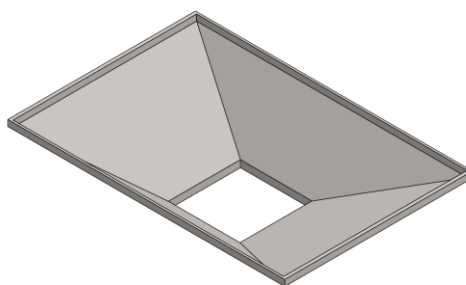
este mecanismo serve para retirar tensão à correia, também tem a função no sentido oposto, ou seja, colocar tensão na mesma, quando for necessário esticá-la.



*Figura 4.26 - Vista superior dos suportes do motor    Figura 4.27 - Vista inferior dos suportes do motor*

#### 4.8.4 Tremonha

Com o objetivo de encaminhar todo o material já moído que cai da grelha para a gaveta, foi desenvolvida uma tremonha em aço 1.0577, representada na Figura 4.28, que por sua vez, será soldada ao interior do corpo. Esta tremonha possui uma forma piramidal de modo a guiar o material e não ficarem restos do mesmo dentro do moinho.

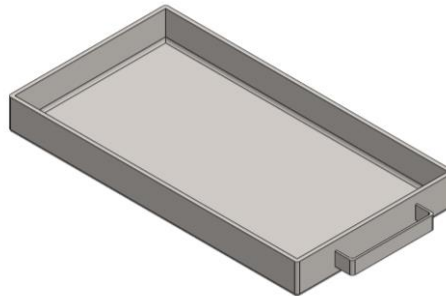


*Figura 4.28 – Tremonha*

#### 4.8.5 Gaveta

No fim da moagem é necessário retirar o material moído, de modo que foi projetado uma gaveta de aço 1.0577, ilustrada na Figura 4.29. O material ao sair da grelha, é encaminhado pela

tremonha para um orifício que leva à gaveta. Esta para além da função óbvia de armazenar o material moído, também tem a finalidade de cobrir o furo por onde sai o material, para que o pó resultante da moagem não vá para o espaço onde esteja situado o moinho.



*Figura 4.29 - Gaveta*

#### 4.8.6 Suporte antivibrações

Ao projetar o moinho é desconhecido o local onde a máquina será instalada, mas devido ao seu peso, a probabilidade de ficar no chão é bastante elevada, daí ser necessário colocar algo no fundo do moinho para absorver as vibrações e não haver movimento da máquina. Disto isto, serão colocados 5 suportes antivibratórios A023345 da Maturan [23], feitos de borracha e com uma haste em aço roscada M8. Cada suporte antivibratório sustenta no máximo  $962\text{ N} = 98,1\text{ kg}$  e estará sujeito a cerca de 50 kg, tendo em conta que o peso total do moinho é aproximadamente 250 kg. Neste caso a força do rotor não será considerada, por se dissipar com as vibrações e o equilíbrio dos martelos.

#### 4.8.7 Perfis ocós quadrados

Para recolher o material moído, foi sentida a necessidade de elevar um pouco moinho, de modo a introduzir a gaveta. Assim, o moinho será assente em dois perfis ocós quadrados do Grupo Ferpinta, do aço S355J2H [24]. Este é um aço estrutural muito comum e muito semelhante ao aço 1.0577, utilizado na maioria das peças do moinho. A secção do perfil oco será de  $70\text{ mm} \times 70\text{ mm}$  com 6 mm de espessura, sendo necessário cortar dois perfis, um de 658 mm de comprimento e outro de 470 mm.

#### 4.8.8 Pés

Para não ligar os suportes antivibrações diretamente aos perfis ocos, pois a sua montagem seria um pouco complicada de realizar, serão soldados ao moinho, pés para fazer a ligação entre a máquina e os suportes antivibrações, ilustrado na Figura 4.30. Estes pés serão chapas de 10 mm de espessura de aço 1.0577, em que uma das extremidades estará soldada ao perfil oco e a outra ponta da chapa estará furada de modo a que a ligação aparafusada entre o suporte antivibratório e a própria chapa seja realizada.

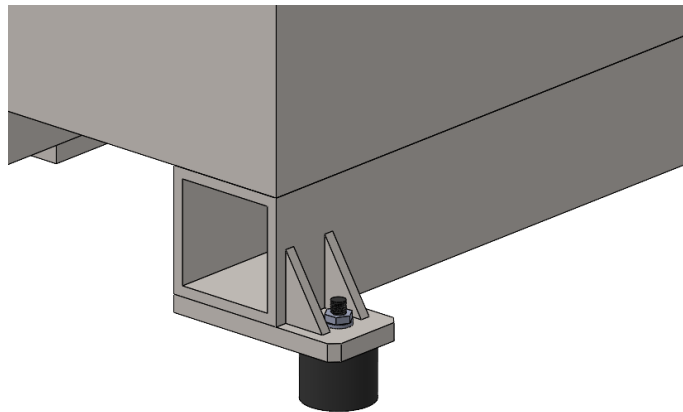


Figura 4.30 - Ligação entre os suportes antivibrações e o moinho

O moinho pesará cerca de 250 Kg, havendo 5 suportes, em cada um estará aplicado cerca de 50 Kg = 490,5 N, portanto foi considerado uma força distribuída no pé na zona onde o perfil oco está assente, representada na Figura 4.31:

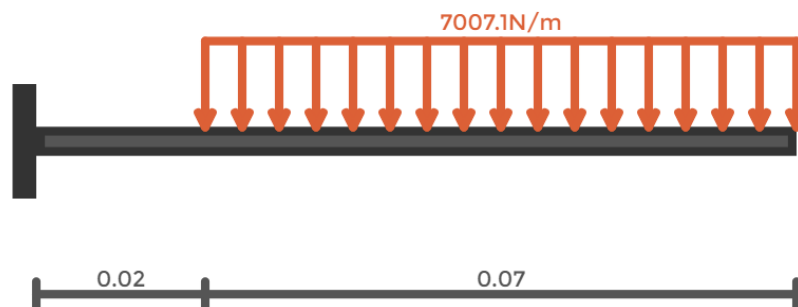


Figura 4.31 - Diagrama de corpo livre dos pés

Tendo em conta que o perfil oco está assente ao longo 70 mm do pé, a força distribuída é calculada na Equação (4.46):

$$w = \frac{F}{0,07} = \frac{490,5}{0,07} = 7007,1 \text{ N/m} \quad (4.46)$$

A flecha máxima do pé,  $\delta_{\text{máx}}$  [m] é dada na Equação (4.47), onde L [m] é o comprimento do pé.

$$\delta_{\text{máx}} \leq \frac{L}{1000} = \frac{0,09}{1000} = 9 * 10^{-5} \text{ m} \quad (4.47)$$

De seguida procedeu-se ao cálculo, na Equação (4.48), do momento de inércia da chapa, I [m<sup>4</sup>], onde b = 0,05 m é a largura e h = 0,01 m é a altura.

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{0,05 * 0,01^3}{12} = 4,167 * 10^{-9} \text{ m}^4 \quad (4.48)$$

Por fim, através da Equação (4.49) é calculado a flecha real,  $\delta$  [m], em que E [Pa] é o módulo de Young do aço AISI 4337 [16].

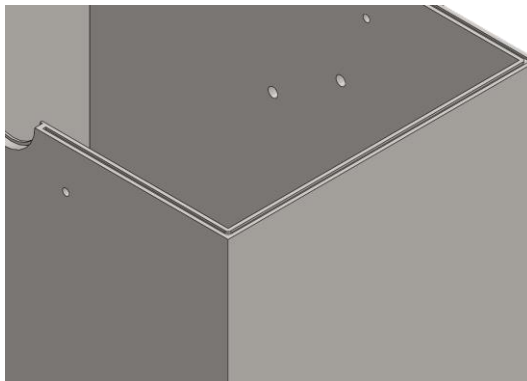
$$\begin{aligned} \delta &= \frac{w}{24 * E * I} (3 * L^4 - 4 * b^4 * L + b^4) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \delta &= \frac{7007,1}{24 * 200 * 10^9 * 4,167 * 10^{-9}} (3 * 0,09^4 - 4 * 0,02^4 * 0,09 + 0,02^4) \quad (4.49) \\ &\Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \delta = 6,9 * 10^{-5} \text{ m} < \delta_{\text{máx}} \end{aligned}$$

O deslocamento real é menor do que o deslocamento máximo, mas os valores são um pouco próximos. Por motivos de segurança serão soldados dois reforços triangulares em aço 1.0577 em cada pé e no perfil oco, de modo a não haver falhas estruturais no moinho.

#### 4.8.9 Borracha vedante

Ao colocar a tampa sobre o corpo para fechar o moinho, poderá haver alguma falha de vedação, devido a uma possível falta de planeza das faces da tampa e do corpo que encostam uma na outra, podendo escapar algum pó de dentro do moinho para o ambiente exterior. Para prevenir

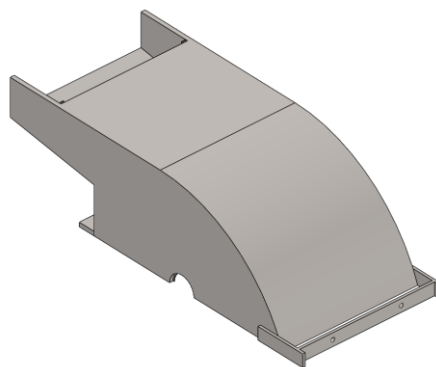
esta possível falha, será realizado um rasgo na face superior do corpo, observável na Figura 4.32 e por sua vez encaixado uma borracha vedante da MGO, com uma secção retangular de 3 mm × 4 mm e é dada pela seguinte referência: MGO-1320061219 [25].



*Figura 4.32 - Rasgo para a borracha vedante*

## 4.9 Tampa

A tampa do moinho é ilustrada na Figura 4.33 e esta será assente no corpo. Mesmo não tendo tanta relevância quanto o corpo, em termos de funções, possui também um papel importante para o funcionamento do moinho. A tampa irá permitir a entrada do material no moinho, através da sua boca, conter o material dentro do mesmo e reter o pó quando ocorre a moagem.



*Figura 4.33 - Tampa*



### 4.9.1 Porta

Na boca da tampa onde entra o material foi sentida a necessidade de fechar essa abertura, para o pó resultante da moagem não se espalhar na zona onde o moinho estiver colocado. De modo que, foi projetada um porta de aço 1.0577. Não sendo preciso muita espessura na porta, pois a sua função é apenas reter o pó, esta terá apenas 2 mm de espessura. Esta é apresentada na Figura 4.34.

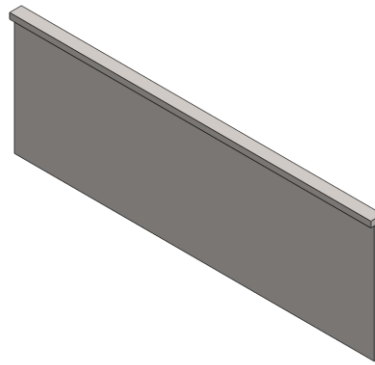


Figura 4.34 - Porta

### 4.10 Ligação enchavetada

Para se proceder à ligação do veio à polia com a bucha de maior furo, optou-se pela utilização de uma chaveta, uma vez que, o motor também possui uma chaveta. O momento de torção aplicado no veio já tinha sido calculado,  $M_t = 2 \text{ Nm}$  e sua tensão admissível,  $\sigma_{ADM.Veio} = 384 \text{ MPa}$ . As polias são feitas de ferro fundido e possuem uma tensão de cedência,  $\sigma_{CED.Polia} = 752 \text{ MPa}$ . Consultou-se ainda o catálogo das chavetas da Norelem [19], optando-se por uma chaveta em aço 1.1192, que por sua vez apresenta uma tensão de cedência,  $\sigma_{CED.Chaveta} = 370 \text{ MPa}$ . Considerando um fator de segurança,  $f_s = 2,5$ , na Equação (4.50) é calculada a tensão admissível da polia,  $\sigma_{ADM.Polia} \text{ [MPa]}$  e na Equação (4.51) é calculada a tensão admissível da chaveta,  $\sigma_{ADM.Chaveta} \text{ [MPa]}$ .

$$\sigma_{ADM.Polia} = \frac{\sigma_{CED.Polia}}{f_s} = \frac{752}{2,5} = 300,8 \text{ MPa} \quad (4.50)$$

$$\sigma_{ADM.Chaveta} = \frac{\sigma_{CED.Chaveta}}{f_s} = \frac{370}{2,5} = 148 \text{ MPa} \quad (4.51)$$

Tendo em conta que as chavetas da Norelem são produzidas segundo a norma DIN 6885, foi consultada a tabela “Tabela de Furo e Rasgo de Chaveta Conforme Norma DIN 6885/1” [26], e retirou-se a largura,  $b = 12 \text{ mm}$  e a altura,  $h = 8 \text{ mm}$ , da chaveta segundo um diâmetro do veio  $d_v = 40 \text{ mm}$ , observável no Anexo 10.

Consultou-se ainda a brochura “Órgãos de máquinas I” [20] e foi utilizado o critério de Tresca para calcular o comprimento mínimo da chaveta,  $l$  [mm], como se pode verificar nas Equações (4.52), (4.53) e (4.54).

#### **Contacto entre o veio e a polia:**

$$M_t \leq \frac{d_v * b * l}{4} * \sigma_{ADM.Chaveta} \Leftrightarrow 2 \leq \frac{0,04 * 0,012 * l}{4} * 185 * 10^6 \Leftrightarrow \quad (4.52)$$

$$\Leftrightarrow l \geq 9 * 10^{-5} \text{ m} = 0,09 \text{ mm}$$

#### **Contacto entre a chaveta e o veio:**

$$M_t \leq \frac{d_v * h * l}{4} * \min\{\sigma_{ADM.Chaveta}; \sigma_{ADM.Veio}\} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 2 \leq \frac{0,04 * 0,008 * l}{4} * 185 * 10^6 \Leftrightarrow \quad (4.53)$$

$$\Leftrightarrow l \geq 1,35 * 10^{-4} \text{ m} = 0,14 \text{ mm}$$

#### **Contacto entre a chaveta e a polia:**

$$M_t \leq \frac{d_v * h * l}{4} * \min\{\sigma_{ADM.Chaveta}; \sigma_{ADM.Polia}\} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 2 \leq \frac{0,04 * 0,008 * l}{4} * 185 * 10^6 \Leftrightarrow \quad (4.54)$$

$$\Leftrightarrow l \geq 1,35 * 10^{-4} \text{ m} = 0,14 \text{ mm}$$

Deste modo, o comprimento mínimo que a chaveta deve ter é 0,14 mm.

A partir do catálogo das chavetas da Norelem (ver Anexo 24) analisaram-se as chavetas com  $b = 12 \text{ mm}$  e  $h = 8 \text{ mm}$ , observando-se que o comprimento das chavetas está compreendido entre

25 e 80 mm, que satisfaz o requisito  $l \geq 0,14$  mm. Podendo ser escolhido qualquer comprimento, optou-se pela chaveta 03288-12X32, que possui um comprimento de 32 mm.

Ainda é de realçar que também é necessário abrir um escatel no veio com a mesma largura e comprimento da chaveta.

#### 4.11 Ligações aparafusadas

Para garantir a fixação de certos componentes do moinho, foram utilizadas ligações aparafusadas, pois nestes casos era necessária estabelecer uma ligação mecânica desmontável. Ao todo serão feitas 28 ligações aparafusadas, 4 ligações M12 e 24 M8. Todos os parafusos e porcas são da Norelem [19], onde os parafusos seguem a norma DIN 933 (ver Anexo 11) e as porcas a norma DIN 934 (ver Anexo 12), exceto os parafusos limitadores, onde não é indicado a sua norma (ver Anexo 13). Na Tabela 4.1 são apresentados todos os parafusos e porcas utilizados no moinho.

*Tabela 4.1 - Lista de parafusos e porcas utilizados no moinho*

Qtd.	Parafuso	Classe do parafuso	Porca	Classe da porca	Ligação
2	M8 → 07171-408X25	8.8	M8 → 07210-308	10	Motor → Suportes do motor
2	M8 → 07171-408X40	8.8	M8 → 07210-308	10	
2	M8 → 07171-408X25	8.8	M8 → 07210-308	10	Suporte inf. do motor → Suporte sup. do motor
2	M8 → Parafuso limitador				
1	M8 → 07171-408X25	8.8	M8 → 07210-308	10	Suporte inf. da proteção da correia → Corpo
2	M8 → 07171-408X25	8.8	M8 → 07210-308	10	Suporte sup. da proteção da correia → Corpo
4	M8 → 07171-408X25	8.8	M8 → 07210-308	10	Trava retentor → Corpo
2	M8 → 07171-408X40	8.8	M8 - 07210-308	10	Tampa → Corpo
2	M8 → 07171-408X25	8.8	M8 → 07210-308	10	Pega → Suporte da pega
4	M12 → 07171-412X50	8.8	M12 → 07210-312	10	Chumaceira → Suporte da chumaceira
5	M8 → Suporte antivibrações		M8 → 07210-308	10	Pé → Suporte antivibrações

Para todas as ligações aparafusadas vai existir uma anilha de mola em cada, exceto na ligação do parafuso limitador. Todas as anilhas são da Wurth [27] e para cada ligação M8, utiliza-se a anilha 04478 e para as ligações M12, são utilizadas as anilhas 044712. Todas as anilhas seguem a norma DIN 127 e são fabricadas em aço inox A2.

#### 4.11.1 Ligação aparafusada dos suportes antivibrações

Todas as ligações aparafusadas estão sujeitas a forças mesmo sendo mínimas. Apenas em uma das ligações do moinho se justificou fazer algum tipo de cálculo no sentido de verificar se os esforços aplicados eram suportados. Esta ligação é entre os pés e os suportes antivibrações, pois suporta todo o peso do moinho. O moinho completo pesa cerca de 250 kg e possuirá 5 suportes antivibratórios, logo em cada suporte estará aplicado cerca de  $50 \text{ kg} = 490,5 \text{ N}$ .

Não tendo o conhecimento da classe do macho do suporte antivibratório, assumiu-se a classe de parafusos mais baixa, de 4.6, que possui uma tensão de cedência,  $\sigma_{ced} = 240 \text{ MPa}$  (ver Anexo 14) e um módulo de Young,  $E = 210 \text{ GPa}$ . Na Equação (4.55) é calculada a tensão admissível,  $\sigma_{adm} \text{ [MPa]}$ :

$$\sigma_{adm} = \sigma_{ced} * 0,7 = 240 * 0,7 = 168 \text{ MPa} \quad (4.55)$$

Foi consultada a tabela 15.10 do livro “Desenho técnico” [28], (observável no Anexo 15) e retirou-se o valor da secção resistente,  $S_r = 36,6 \text{ mm}^2$ . Este valor é equivalente à área da secção transversal da parte roscada do parafuso,  $A_t \text{ [mm}^2\text{]}$ .

Neste carregamento, a força aplicada é paralela ao eixo do parafuso, logo consultando a brochura “Órgãos de máquinas I” [21], é calculada na Equação (4.56) a rigidez da parte tracionada do parafuso,  $k_b \text{ [N/mm]}$ , onde  $k_d \text{ [N/mm]}$  é a rigidez da parte roscada,  $k_t \text{ [N/mm]}$  é a rigidez da parte não roscada, mas como o suporte não possui parte não roscada, logo  $k_t = 0 \text{ N/mm}$  e  $l_t \text{ [mm]}$  é o comprimento da parte roscada.

$$\frac{1}{k_b} = \frac{1}{k_d} + \frac{1}{k_t} \Leftrightarrow k_b = k_d = \frac{A_t * E}{l_t} = \frac{36,6 * 210 * 10^3}{23} = 3,34 * 10^5 \text{ N/mm} \quad (4.56)$$

Para esta ligação será utilizada a porca M8 e foi consultado o catálogo “Porcas sextavadas DIN 934” da Norelem [19] (ver Anexo 11), que por sua vez foi retirada a largura da cabeça da porca utilizada,  $D = 13 \text{ mm}$  e retirou-se da tabela 15.18 do livro “Desenho técnico” [28], (ver

Anexo 16) o diâmetro aconselhado do furo para este tamanho de parafuso,  $d = 9$  mm. Na Equação (4.57) é calculada a rigidez do conjunto,  $k_m$  [N/mm] onde  $t$  [mm] é a espessura o pé.

$$k_m = \frac{0,577 * E * d}{\ln\left(\frac{(1,15 * t + D - d)(D + d)}{(1,15 * t + D + d)(D - d)}\right)} = \frac{0,577 * 210 * 10^3 * 9}{\ln\left(\frac{(1,15 * 10 + 13 - 9)(13 + 9)}{(1,15 * 10 + 13 + 9)(13 - 9)}\right)} \quad (4.57)$$

$$= 1,17 * 10^6 \text{ N/mm}$$

Na Equação (4.58) é calculada a força absorvida pelo parafuso,  $P_b$  [N], onde  $P$  [N] é a força aplicada em cada suporte antivibrações.

$$P_b = \frac{k_b}{k_b + k_m} * P = \frac{3,34 * 10^5}{3,34 * 10^5 + 1,17 * 10^6} * 490,5 = 108,9 \text{ N} \quad (4.58)$$

Por fim, através Equação (4.59) é obtida a tensão na ligação aparafusada,  $\sigma$  [MPa] e comparada à tensão admissível.

$$\sigma = \frac{P_b}{A_t} = \frac{108,9}{36,6} = 2,97 \text{ MPa} \ll 168 \text{ MPa} \quad (4.59)$$

Após a realização dos cálculos de resistência desta ligação aparafusada, conclui-se que mesmo sendo a ligação do moinho mais solicitada, a tensão presente é muito menor do que a tensão admissível, cumprindo assim, os requisitos exigidos.

## 4.12 Ligações soldadas

Para conseguir ligar várias partes do moinho e até conseguir a construção de algumas peças, foram utilizadas ligações soldadas. A soldadura é uma ligação mecânica fixa o que após a realização desta, não é possível desmontar os componentes soldados.

O moinho possuirá um número considerável de soldaduras e todas essas ligações estão sujeitas a esforços, mas apenas se justificou realizar cálculos na soldadura do suporte da chumaceira, pois é a mais requisitada teoricamente. Os restantes tamanhos dos cordões de soldadura estão cotados segundo a tabela 15.9 do livro “Desenho técnico” [28], observável no Anexo 17, onde são apresentadas as espessuras dos cordões de soldadura em função da espessura da chapa.

### 4.12.1 Ligação soldada do suporte da chumaceira

As chumaceiras, como já visto anteriormente irão suportar a força teórica exercida pelo rotor, logo cada suporte da chumaceira irá suportar metade desse esforço. Mais uma vez será considerado a força centrífuga dos martelos, mesmo sendo um valor bastante maior que o real. Para além desse esforço, cada suporte ainda irá também suportar o peso da chumaceira, do rolamento e um dos suportes ainda irá suportar a força que a correia exerce no veio. Na Figura 4.35 é ilustrado o carregamento exercido no suporte da chumaceira, que será caracterizado por um momento paralelo ao plano do cordão de soldadura.

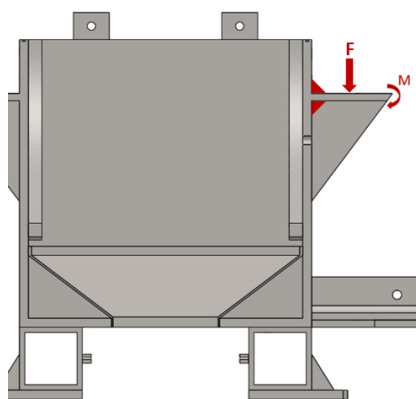


Figura 4.35 - Zona soldada do suporte da chumaceira

A força vertical da correia que é exercida no suporte,  $F_{\text{correia}} = 27,5 \text{ N}$  e a força que o rotor exerce em cada suporte,  $F_{\text{rotor}} = 19307 \text{ N}$ , já são conhecidas. A massa da chumaceira,  $m_{\text{chumaceira}} = 3,4 \text{ kg}$  e do rolamento,  $m_{\text{rolamento}} = 1 \text{ kg}$  são conhecidos após consultar os respectivos catálogos da SKF, logo é possível calcular a o peso da chumaceira,  $F_{\text{chumaceira}} [\text{N}]$  e o peso do rolamento,  $F_{\text{rolamento}} [\text{N}]$  nas Equações (4.60) e (4.61), respetivamente.

$$F_{\text{chumaceira}} = m_{\text{chumaceira}} * 9,81 = 3,4 * 9,81 = 33,35 \text{ N} \quad (4.60)$$

$$F_{\text{rolamento}} = m_{\text{rolamento}} * 9,81 = 1 * 9,81 = 9,81 \text{ N} \quad (4.61)$$

Na Equação (4.62) é calculada a força total exercida no suporte da chumaceira mais solicitado,  $F [\text{N}]$ .

$$F = F_{chumaceira} + F_{rolamento} + \frac{F_{rotor}}{2} + F_{correia} \Leftrightarrow \quad (4.62)$$

$$\Leftrightarrow F = 33,35 + 9,81 + 19307 + 27,5 = 19378 \text{ N}$$

O centro da chumaceira encontra-se a 40 mm da extremidade não soldada do suporte da chumaceira e por sua vez, o momento do suporte da chumaceira,  $M$  [Nmm], é obtido na Equação (4.63).

$$M = F * 40 = 19387 * 40 = 775120 \text{ Nmm} \quad (4.63)$$

Como já referido e representado na Figura 4.35, o momento é paralelo ao plano dos cordões. Para este tipo de carregamento, na brochura “Órgãos de máquinas I” [20], o segundo momento de área da secção crítica,  $I_a$  [mm<sup>4</sup>], é dado na Equação (4.64), onde  $h$  [mm] é a altura dos catetos dos cordões de soldadura e  $I_u$  [mm<sup>3</sup>] representa o segundo momento de área por unidade de comprimento de secção crítica.

$$I_a = \frac{\sqrt{2}}{2} * h * I_u \quad (4.64)$$

Sabendo que estão presentes dois cordões de soldadura e são paralelos (ver Anexo 18), o valor do segundo momento de área por unidade de comprimento de secção crítica é calculado na Equação (4.65), em que  $b$  [mm] é o comprimento do cordão de soldadura e  $d$  [mm] é a distância entre os cordões de soldadura, ou seja, a espessura da chapa a soldar.

$$I_u = \frac{b * d^2}{2} = \frac{224 * 8^2}{2} = 7168 \text{ mm}^3 \quad (4.65)$$

Logo, já é possível calcular o segundo momento de área da secção crítica em função da altura dos catetos dos cordões, como se pode verificar na Equação (4.66):

$$I_a = \frac{\sqrt{2}}{2} * h * 7168 = 5068,5h \text{ mm}^4 \quad (4.66)$$

Para se definir a tensão normal,  $\sigma$  [MPa] e a tensão de corte da secção crítica,  $\tau$  [MPa] é determinado primeiro, na Equação (4.67) o valor da distância do plano neutro ao ponto mais afastado do cordão,  $c$  [mm].

$$c = \frac{d}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ mm} \quad (4.67)$$

É possível então, calcular o valor da tensão normal e da tensão de corte provocadas pelo momento, através da Equação (4.68):

$$\sigma = \tau = \frac{M * c}{I} = \frac{775120 * 4}{5068,5h} = \frac{612}{h} \text{ MPa} \quad (4.68)$$

O critério de Tresca permite calcular a tensão de comparação, sendo este apresentado na Equação (4.69):

$$\begin{aligned} \sigma_{COM} &= \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_{adm} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \sqrt{\left(\frac{612}{h}\right)^2 + 4 * \left(\frac{612}{h}\right)^2} &\leq \sigma_{adm} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \frac{1368}{h} &\leq \sigma_{adm} \end{aligned} \quad (4.69)$$

Na Equação (4.70) é calculada a tensão admissível,  $\sigma_{adm}$ , onde é considerado um fator de segurança,  $f_s = 1,5$  e a tensão de cedência do aço 1.0577, como já visto anteriormente é 345 MPa.

$$\sigma_{adm} = \frac{345}{f_s} = \frac{345}{1,5} = 230 \text{ MPa} \quad (4.70)$$

Por fim, na Equação (4.71) é obtida a altura mínima dos catetos do cordão de soldadura.

$$\frac{1368}{h} \leq 230 \Leftrightarrow h \geq 5,95 \text{ mm} \quad (4.71)$$

O facto de os martelos exercerem um força teórica bastante significativa no suporte da chumaceira, leva a ter o um cordão de soldadura com uma dimensão algo elevada. Por uma questão de segurança optou-se por realizar um cordão com  $h = 8 \text{ mm}$  à volta do suporte inteiro, como indicado nos desenhos técnicos.



## 4.13 Toleranciamento

### 4.13.1 Toleranciamento dimensional

#### 4.13.1.1 Toleranciamento do rolamento

O rolamento escolhido para o moinho, como já visto anteriormente, possui uma tolerância dimensional do furo P6, não sendo recomendando nenhuma para o veio pela SKF. Deste modo, foi consultado a tabela 14.4 do livro “Desenho técnico” [28], observável no Anexo 19, onde para furos com tolerância P6, é recomendado um veio com tolerância dimensional m6.

#### 4.13.1.2 Toleranciamento do retentor

Como já visto anteriormente, optou-se por um retentor da Norelem, que ao contrário do rolamento, não indica a sua própria tolerância, mas sim, a tolerância que o veio deve possuir e a carcaça onde vai assentar. A zona do veio que vai montar no retentor possui um diâmetro de 50 mm e é recomendado uma tolerância dimensional h11, enquanto na carcaça, que neste caso será o corpo e tampa necessitará de uma tolerância dimensional H8.

Ainda é de realçar que a Norelem recomenda uma rugosidade,  $R_a$  [ $\mu\text{m}$ ], para o veio, entre 0,2 e 0,8  $\mu\text{m}$  e para a carcaça entre 1,6 e 6,3  $\mu\text{m}$  [19].

#### 4.13.1.3 Toleranciamento da chaveta

Tal com o retentor, a chaveta também é da Norelem e as suas tolerâncias são indicadas, a altura da chaveta tem tolerância h11 e a largura h9. Como esta chaveta segue a norma DIN 6885, consultou-se a tabela representada no Anexo 10, de modo a obter as tolerâncias do escatel do veio. Para a largura do escatel optou-se por uma tolerância N9, enquanto para a profundidade, para veios com 40 mm a tolerância é de + 0,2 mm.

Ainda é recomendado o boleado do escatel para veios de 40 mm, podendo o valor variar entre 0,25 e 0,4 mm. Optou-se então, por um raio do boleado com 0,4 mm, para facilitar a sua execução.

#### 4.13.1.4 Toleranciamento entre o veio e os discos

Começou-se por toleranciar a zona do veio com maior diâmetro,  $T_A$  [m] e o furo do disco onde o veio irá ser montado,  $T_B$  [mm]. Ambas as cotas têm o mesmo valor nominal, pelo que aquando do seu fabrico estas seriam impossíveis de produzir, devendo garantir-se então o seu toleranciamento, de modo a assegurar o bom funcionamento do conjunto. Atribui-se então, uma folga com o valor entre 0,05 e 0,15 mm, resultando numa tolerância de folga no valor de  $T_f = 0,1$  mm.

De seguida consultou-se a brochura “DIMENSIONAMENTO FUNCIONAL E TECNOLÓGICO” [29] e aplicou-se o Método da Precisão Constante uma vez que se está perante um problema de Síntese de Tolerâncias, onde se conhece a tolerância do conjunto, mas não as tolerâncias dos componentes. Na Equação (4.72) é calculado o valor na relação entre  $T_A$  e  $T_B$ , onde  $CN$  [mm] é a cota nominal.

$$\begin{aligned} \frac{T_A}{T_B} &= \frac{0,45 * \sqrt[3]{CN} + 0,001 * CN}{1,58 * (0,45 * \sqrt[3]{CN} + 0,001 * CN)} = \\ &= \frac{0,45 * \sqrt[3]{65} + 0,001 * 65}{1,58 * (0,45 * \sqrt[3]{65} + 0,001 * 65)} = 0,633 \end{aligned} \quad (4.72)$$

Como o furo do disco é mais complicado de maquinar do que o veio,  $T_B$  é multiplicado por 1,58.

Na Equação (4.73) é realizado um sistema de equações de modo a obter os valores de  $T_A$  e  $T_B$ .

$$\begin{cases} T_A + T_B = 0,1 \\ \frac{T_A}{T_B} = 0,633 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T_A = 0,039 \text{ mm} \\ T_B = 0,061 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.73)$$

Assim, pela tabela 14.1 do livro “Desenho Técnico” [28] , (ver Anexo 20) para a cota nominal de 65 mm e para a  $T_B$  verifica-se que está compreendido entre  $IT9 = 0,052$  mm e  $IT10 = 0,084$  mm. Admitindo que a cota B possui  $IT9$  e após consultar a tabela 14.2 do mesmo livro (conforme o Anexo 21), admite-se a posição de campo H, então,  $B = 65H9 = 65_0^{+0,052}$  mm.

De acordo com o Anexo 23, para o processo de fabricação de fresagem, que é o processo pelo qual é produzido a peça B, tem-se que o  $IT9$  é um valor possível.

De seguida, na Equação (4.74) são calculadas a cota máxima,  $A_{m\acute{a}x}$  [mm] e a cota mínima,  $A_{m\acute{m}n}$  [mm] do veio, enquanto na Equação (4.75) são calculados o desvio superior,  $d_s$  [mm] e o desvio inferior,  $d_i$  [mm] do mesmo.

$$\begin{cases} F_{m\acute{a}x} = B_{m\acute{a}x} - A_{m\acute{m}n} \\ F_{m\acute{m}n} = B_{m\acute{m}n} - A_{m\acute{a}x} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} A_{m\acute{m}n} = 65,052 - 0,15 = 64,902 \text{ mm} \\ A_{m\acute{a}x} = 65 - 0,05 = 64,95 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.74)$$

$$\begin{cases} d_s = A_{m\acute{a}x} - CN = 64,95 - 65 = -0,05 \text{ mm} \\ d_i = A_{m\acute{m}n} - CN = 64,902 - 65 = -0,098 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.75)$$

Assim, tem-se que  $A = 65_{-0,098}^{-0,05}$  mm, que de acordo com o Anexo 20, para uma  $T_A = 0,048$  mm, encontra-se entre um  $IT8 = 0,046$  mm e  $IT9 = 0,074$  mm. Admitindo um  $IT8$ , descobre-se pela tabela 14.3, representada no Anexo 22, dos valores dos desvios de referência dos veios que o valor mais perto do desvio superior,  $d_s = -0,05$  mm corresponde ao desvio,  $e = -0,06$  mm. Deste modo, na Equação (4.76)  calculado o desvio inferior normalizado do veio.

$$T_A = d_s - d_i \Leftrightarrow 0,046 = -0,06 - d_i \Leftrightarrow d_i = -0,106 \text{ mm} \quad (4.76)$$

Resultando em  $A = 65e8 = 65_{-0,106}^{-0,046}$  mm.

O veio será produzido por torneamento fino, que de acordo com o Anexo 23,  possível para um  $IT8$ .

#### 4.13.1.5 Toleranciamento entre os eixos dos martelos e os discos

Pelo mesmo método anterior, irá ser calculado o toleranciamento entre os eixos dos martelos e os discos. Assumindo, do mesmo modo, o diâmetro dos eixos do martelo,  $T_A$  [mm] e o diâmetro furos onde os eixos são montados,  $T_B$  [mm], atribui-se uma folga com o valor entre 0,1 e 0,2 mm, resultando uma tolerância de folga no valor de  $T_f = 0,1$  mm.

Do mesmo modo, aplicou-se o Método da Preciso Constante na Equação (4.77) e foi obtida a relação entre  $T_A$  e  $T_B$  e na Equação (4.78), através de um sistema de equações foi calculado  $T_A$  e  $T_B$ .

$$\frac{T_A}{T_B} = \frac{0,45 * \sqrt[3]{30} + 0,001 * 30}{1,58 * (0,45 * \sqrt[3]{30} + 0,001 * 30)} = 0,633 \quad (4.77)$$

$$\begin{cases} T_A + T_B = 0,1 \\ \frac{T_A}{T_B} = 0,633 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T_A = 0,039 \text{ mm} \\ T_B = 0,061 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.78)$$

Do mesmo modo, pela tabela 14.1 do livro “Desenho Técnico” [28] (ver Anexo 20), para a cota nominal de 30 mm e para a  $T_B$  verifica-se que está compreendido entre um IT9 = 0,052 mm e um IT10 = 0,084 mm. Admitindo que a cota B possui IT9 e admite-se a posição de campo H, vindo,  $B = 30H9 = 30^{+0,052} \text{ mm}$ .

De seguida, é calculado na Equação (4.79), a cota máxima e mínima dos eixos e na Equação (4.80) os desvios dos mesmos:

$$\begin{cases} F_{m\acute{a}x} = B_{m\acute{a}x} - A_{m\acute{m}n} \\ F_{m\acute{m}n} = B_{m\acute{m}n} - A_{m\acute{a}x} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} A_{m\acute{m}n} = 30,052 - 0,2 = 29,852 \text{ mm} \\ A_{m\acute{a}x} = 30 - 0,1 = 29,9 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.79)$$

$$\begin{cases} d_s = A_{m\acute{a}x} - CN = 29,9 - 30 = -0,1 \text{ mm} \\ d_i = A_{m\acute{m}n} - CN = 29,852 - 30 = -0,148 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.80)$$

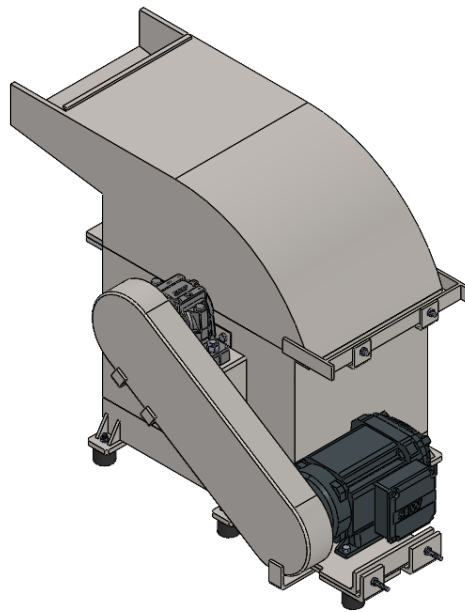
Assim, tem-se que  $A = 30_{-0,148}^{-0,1} \text{ mm}$ , que de acordo com o Anexo 20, para uma  $T_A = 0,048 \text{ mm}$ , encontra-se entre um IT8 = 0,033 mm e IT9 = 0,052 mm. Neste caso tem de se optar por um IT8, pois para IT9 iria obter folga maior do que a definida inicialmente. Pela tabela 14.3 (ver Anexo 22), dos valores dos desvios de referência dos veios, o mais próximo do desvio superior,  $d_s = -0,1 \text{ mm}$  corresponde ao desvio superior,  $c = -0,11 \text{ mm}$ . Deste modo, é determinado na Equação (4.81) o desvio inferior normalizado do eixo.

$$T_A = d_s - d_i \Leftrightarrow 0,033 = -0,11 - d_i \Leftrightarrow d_i = -0,143 \text{ mm} \quad (4.81)$$

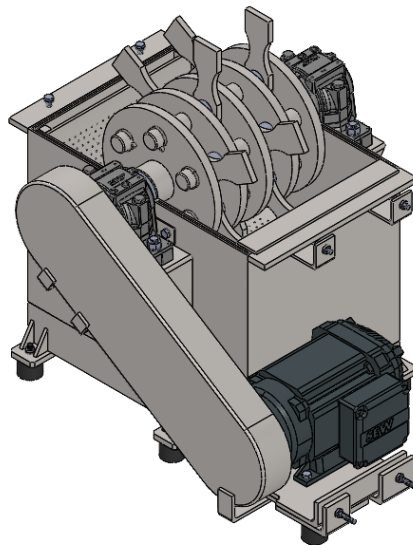
Resultando,  $A = 30c8 = 30_{-0,143}^{-0,11} \text{ mm}$ .

## 4.14 Modelo final

Na Figura 4.36 é ilustrado o modelo completo do moinho de martelos em SolidWorks 3D e na Figura 4.37 é representado o moinho sem a tampa, de modo a ver o interior do mesmo.



*Figura 4.36 - Vista isométrica do moinho de martelos*



*Figura 4.37 - Vista isométrica do moinho de martelos sem a tampa*



## 5 Conclusões

A presente dissertação tinha como objetivo a conceção de um moinho de martelos para preparação de amostras de minério, a pedido do Departamento de Ciências da Terra da FCT NOVA.

Os principais objetivos foram cumpridos, garantir a moagem de material com 70 mm para 2 mm e ter capacidade de processar 30 kg/hora, sem necessidade de recorrer a um motor muito potente. Mesmo não havendo limitações de espaço, onde o moinho iria ser colocado, o dimensionamento deste foi realizado com o objetivo de obter um moinho de martelos funcional, com medidas mais reduzidas o possível, por se tratar de um projeto meramente académico.

O moinho é constituído por 4 partes principais:

- O rotor, que é acionado pelo motor, fazendo rodar os martelos e permitindo a moagem;
- O sistema de transmissão, que permite transmitir a rotação do motor para o rotor;
- O corpo, onde está a grelha que bitola o tamanho máximo de produto que irá ser obtido e onde se encontram todos os suportes necessários do moinho;
- A tampa, que possibilita a entrada do material para ser moído e não permite a saída de material durante a moagem.

Para garantir o bom funcionamento do moinho, foram realizadas as tolerâncias dimensionais das suas partes mais cruciais, como é o caso do rotor.





# Referências

- [1] H. V. O. Figueira, A. B. Luz e S. L. M. Almeida, “Britagem e Moagem,” Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 2010.
- [2] “Viga Caldeiraria,” Viga, [Online]. Available: [https://viga.ind.br/produto/moinho\\_de\\_bolas\\_esferas\\_mineracao\\_cimento\\_preco/](https://viga.ind.br/produto/moinho_de_bolas_esferas_mineracao_cimento_preco/). [Acedido em Fevereiro 2021].
- [3] G. A. Oliveira, “Critérios de Projeto para Moinhos de Cimento Portland,” Rio de Janeiro, 2012.
- [4] P. F. A. Braga, “Aplicação de Modelagens em Regressão Linear Para a Solução de Limitação Operacional em uma Prensa de Rolos de Alta Pressão,” Centro de Tecnologia Mineral, OPERAÇÃO DE MOINHO VIBRATÓRIO PALLA 20U.
- [5] P. F. Braga, J. A. Sampaio e S. C. França, “Tratamento de Minérios: Práticas laboratoriais,” Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 2007.
- [6] F. C. Bond, “Crushing & Grinding Calculations,” 1961.
- [7] “FR 3,” Ramada Aços, [Online]. Available: [https://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-de-construa-ao-ligados/fr-3\\_.html#%20..](https://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-de-construa-ao-ligados/fr-3_.html#%20..) [Acedido em Junho 2021].
- [8] “MatWeb,” [Online]. Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fc71858cc8f94282accbbd645cef09bd>. [Acedido em Junho 2021].
- [9] “MN 14,” Ramada Aços, [Online]. Available: [https://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-em-chapa-de-alto-limite-ela-a-1stico-anti-desgaste-e-ao-carbono\\_/mn-14\\_.html](https://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-em-chapa-de-alto-limite-ela-a-1stico-anti-desgaste-e-ao-carbono_/mn-14_.html). [Acedido em Junho 2021].

- [10] “Conquest Steel & Alloys,” [Online]. Available: <https://www.csteelindia.com/astm-128-gr-b2-steel-plate-supplier-exporter.html>. [Acedido em Junho 2021].
- [11] “ST 52,” Ramada Aços, [Online]. Available: [https://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-de-construa-ao-ao-carbono/st-52\\_.html](https://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-de-construa-ao-ao-carbono/st-52_.html). [Acedido em 2021 Junho].
- [12] “SEW,” [Online]. Available: <https://www.sew-eurodrive.pt/inicio.html>. [Acedido em Maio 2021].
- [13] “Roskamp Champion,” [Online]. Available: [http://m.sanitaryindustry.com/product/catalogues.html?company\\_id=a800eb21\\_d68a\\_4def\\_bda0\\_caef77ab0c43](http://m.sanitaryindustry.com/product/catalogues.html?company_id=a800eb21_d68a_4def_bda0_caef77ab0c43). [Acedido em Abril 2021].
- [14] “Cálculo de veios,” Instituto Politécnico do Porto, Porto, 2019.
- [15] M. M. Ibrahim, M. S. Omran e E. N. Elrhman, “Design and Evaluation of Crushing Hammer Mill,” Cairo University, Cairo, 2019.
- [16] L. M. Pinheiro, B. Catoia e T. Catoia, “Tabelas de vigas: Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito,” Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- [17] I. Sulaiman, “Development of a horizontal shaft hammer mill,” Federal University of Technology , Nigeria, 2017.
- [18] “Schaeffler,” [Online]. Available: <https://medias.schaeffler.es/pt>. [Acedido em Setembro 2021].
- [19] “Norelem,” [Online]. Available: <https://norelem.es/pt/>. [Acedido em 2021].
- [20] A. J. A. M. Martinho, Órgãos de Máquina I, Monte de Caparica, 2012.
- [21] P. Flores, J. Gomes, N. Dourado e F. Marques, “Órgãos de Máquina II,” Universidade do Minho, 2017.
- [22] “SKF,” [Online]. Available: <https://www.skf.com/pt>. [Acedido em Junho 2021].

- [23] “Manutan,” [Online]. Available: <https://www.manutan.pt/pt/map/suporte-antivibracoes-universal-com-1-haste-roscada-e-roscas-interior-tamanho-roscagem-m8-a023345>. [Acedido em Julho 2021].
- [24] “Ferpinta,” [Online]. Available: [http://www.ferpinta.pt/index.php?cat=22&id\\_item=519](http://www.ferpinta.pt/index.php?cat=22&id_item=519). [Acedido em Julho 2021].
- [25] “MGO,” [Online]. Available: [https://www.borrachasmgo.com/products/product?prod\\_id=132006219](https://www.borrachasmgo.com/products/product?prod_id=132006219). [Acedido em Agosto 2021].
- [26] “Solidprize,” [Online]. Available: <https://www.solidprize.com.br/2011/09/tabela-de-rasgo-de-chaveta-conforme.html>. [Acedido em Setembro 2021].
- [27] “Wurth,” [Online]. Available: [https://eshop.wurth.pt/Categorias-de-Produto/DIN-127-aco-inox-A2-forma-B/31243516010103.cgid/3124.cgid/pt/PT/EUR/?CatalogCategoryRef=31243516010103%40WuerthGroup-Wuerth-3124&SelectedFilterAttribut=%255B%257B%2522name%2522%253A%2522AT\\_SuitableForThread%2522](https://eshop.wurth.pt/Categorias-de-Produto/DIN-127-aco-inox-A2-forma-B/31243516010103.cgid/3124.cgid/pt/PT/EUR/?CatalogCategoryRef=31243516010103%40WuerthGroup-Wuerth-3124&SelectedFilterAttribut=%255B%257B%2522name%2522%253A%2522AT_SuitableForThread%2522). [Acedido em Outubro 2021].
- [28] L. V. Da Cunha, *Desenho Técnico*, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2017.
- [29] A. Mourão, “Dimensionamento Funcional e Tecnológico,” Universidade Nova de Lisboa, 2004.
- [30] A. Mourão, “Cálculo de Tolerâncias Geométricas,” Universidade Nova de Lisboa, 2004.
- [31] M. A. C. Goes, M. V. Possa e A. B. Da Luz, “Amonstragem de minérios,” Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 1991.



# Anexos

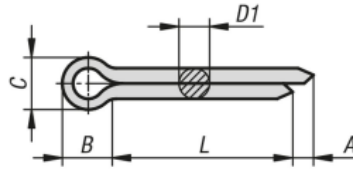
## Anexo 1 – Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito

[16].

CASO	VINCULAÇÃO E CARREGAMENTO	DESLOCAMENTOS ELÁSTICOS EM VIGAS		EQUAÇÃO DA ELÁSTICA
		FLECHA		
		$w_{max}$	$x$	
13		$\frac{M\ell^2}{8EI}$	$0,5\ell$	$\frac{M\ell^2\alpha}{2EI}(1-\alpha)$
14		$\frac{3}{554} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	$0,422\ell$	$\frac{p\ell^4}{48EI}(2\alpha^4 - 3\alpha^3 + \alpha)$
15		$\frac{3}{1258} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	$0,447\ell$	$\frac{p\ell^4}{120EI}(\alpha^5 - 2\alpha^3 + \alpha)$
16		$\frac{1}{328} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	$0,402\ell$	$\frac{p\ell^4}{240EI}(-2\alpha^5 + 10\alpha^4 - 11\alpha^3 + 3\alpha)$
17		$\frac{M\ell^2}{27EI}$	$\frac{1}{3}\ell$	$\frac{M\ell^2}{4EI}(\alpha^3 - 2\alpha^2 + \alpha)$
18		$\frac{1}{384} \frac{p\ell^4}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{p\ell^4}{24EI}(\alpha^4 - 2\alpha^3 + \alpha^2)$
19		$\frac{1}{764} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	$0,525\ell$	$\frac{p\ell^4}{120EI}(\alpha^5 - 3\alpha^3 + 2\alpha^2)$
20		$\frac{7}{3840} \frac{p\ell^4}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{p\ell^4}{960EI}(16\alpha^5 - 40\alpha^3 + 25\alpha^2)$ (**)
21		$\frac{1}{192} \frac{P\ell^3}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{P\ell^3}{48EI}(-4\alpha^3 + 3\alpha^2)$ (**)
22		$\frac{pa}{24EI}(6a^2\ell + 3a^3 - \ell^3)$ $\frac{p\ell^2}{384EI}(5\ell^2 - 24a^2)$	$-a$ $0,5\ell$	$x < 0:$ $\frac{px}{24EI}(x^3 + 4ax^2 + 6a^2x + \ell^3 - 6a^2\ell)$ $0 < x < \ell:$ $\frac{px}{24EI}(x^3 - 2\ell x^2 + 6a^2x - 6a^2\ell + \ell^3)$
23		$\frac{Pa^2}{6EI}(2a + 3\ell)$ $-\frac{Pa\ell^2}{8EI}$	$-a$ $0,5\ell$	$x < 0:$ $\frac{Px}{6EI}(x^2 + 3ax - 3a\ell)$ $0 < x < \ell:$ $\frac{Pa}{2EI}x(x - \ell)$

DESLOCAMENTOS ELÁSTICOS EM VIGAS			
CASO	VINCULAÇÃO E CARREGAMENTO	FLECHA	
		$W_{max}$	$x$
24		$\frac{p}{24EI} (3\ell^4 - 4b^3\ell + b^4)$	0
25		$\frac{pa}{120EI} (20\ell^3 - 10a\ell^2 + a^3)$	0
26		$\frac{pc}{6EI} \left[ \frac{ab}{\ell} \left( 2a\ell - 2a^2 - \frac{c^2}{4} \right) \right] + \frac{c^3}{64}$ (*)	a
27		$\frac{Pa}{24EI} (3\ell^2 - 4a^2)$	0,5ℓ
28		$\frac{23}{648} \frac{P\ell^3}{EI}$	0,5ℓ
29		$\frac{19}{384} \frac{P\ell^3}{EI}$	0,5ℓ
30		$\frac{63}{1000} \frac{P\ell^3}{EI}$	0,5ℓ
31		$\frac{\sqrt{5}}{240} \frac{P\ell^3}{EI}$	0,447ℓ
32		$\frac{1}{24} \frac{Pa^2b}{EI}$	0,5ℓ
33		$\frac{pa}{24EI} (3a^3 + 4a^2\ell - \ell^3)$	-a
34		$\frac{p\ell}{360EI(a+\ell)} (20a^4 - 15a^2\ell^2 - 7a\ell^3 + 12)$	-a
35		$\frac{Pa^2}{3EI} (a + \ell)$	-a
36		$\frac{pa}{48EI} (6a^3 + 6a^2\ell - \ell^3)$	-a
37		$\frac{Pa^2}{6EI} (4a + 3)$	-a
38		$\frac{Ma}{4EI} (\ell + 2a)$	-a

## Anexo 2 – Catálogo das cupilhas da Norelem [19].



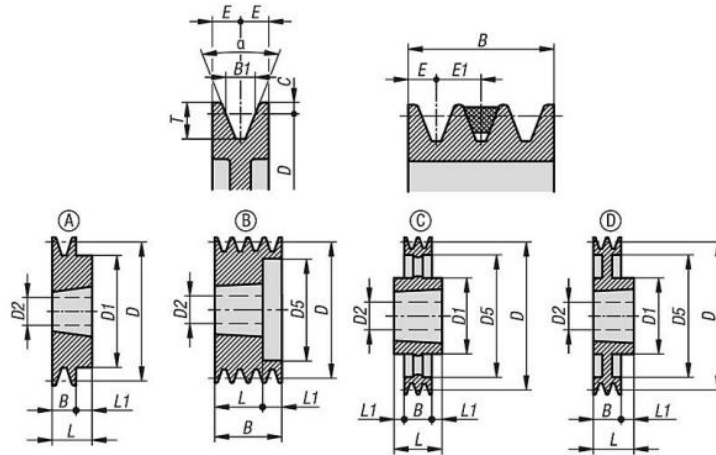
### 07336 Cupilhas DIN EN ISO 1234



#### Visão geral dos artigos

Código do artigo	Material do corpo básico	Diâmetro do furo	D1 máx.	L	A min.	B	C máx.	para parafusos	Para Pinos Ø
07336-2040X50	aço inoxidável	4	3,7	50	2	8	7,4	14-20	12-17
07336-2040X63	aço inoxidável	4	3,7	63	2	8	7,4	14-20	12-17
07336-2050X32	aço inoxidável	5	4,6	32	2	10	9,2	20-27	17-23
07336-2050X36	aço inoxidável	5	4,6	36	2	10	9,2	20-27	17-23
07336-2050X40	aço inoxidável	5	4,6	40	2	10	9,2	20-27	17-23
07336-2050X50	aço inoxidável	5	4,6	50	2	10	9,2	20-27	17-23
07336-2050X63	aço inoxidável	5	4,6	63	2	10	9,2	20-27	17-23
07336-2063X36	aço inoxidável	6,3	5,9	36	2	12,6	11,8	27-39	23-29
07336-2063X40	aço inoxidável	6,3	5,9	40	2	12,6	11,8	27-39	23-29
07336-2063X50	aço inoxidável	6,3	5,9	50	2	12,6	11,8	27-39	23-29
07336-2063X63	aço inoxidável	6,3	5,9	63	2	12,6	11,8	27-39	23-29
07336-2063X80	aço inoxidável	6,3	5,9	80	2	12,6	11,8	27-39	23-29
07336-2080X50	aço inoxidável	8	7,5	50	2	16	15	39-56	29-44
07336-2080X80	aço inoxidável	8	7,5	80	2	16	15	39-56	29-44
07336-2080X100	aço inoxidável	8	7,5	100	2	16	15	39-56	29-44

# Anexo 3 - Catálogo das polias da Norelem [19].



## 22070 Polias para correias trapezoidais em ferro fundido cinzento para montagem com buchas de fixação Taper **norelem**

Visão geral dos artigos

Código do artigo	Versão 1	Versão 2	Forma	N=Quantidade dos furos de mont	B	B1	C	D	D1 máx.	D2	D5	E	E1	L	L1	T	α
22070-12803	tipo spz/10/z	p/bucha cón. taper 2517	C	3	40	8,5	2	280	124	18-65	254	8	12	45	2,5	11	38°
22070-13151	tipo spz/10/z	p/bucha cón. taper 2012	C	1	16	8,5	2	315	110	14-50	288	8	12	32	8	11	38°
22070-13152	tipo spz/10/z	p/bucha cón. taper 2012	C	2	28	8,5	2	315	110	14-50	288	8	12	32	2	11	38°
22070-20711	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1108	A	1	20	11	2,8	71	60	11-28	-	10	15	22	2	13,8	34°
22070-13153	tipo spz/10/z	p/bucha cón. taper 2517	C	3	40	8,5	2	315	120	18-65	288	8	12	45	2,5	11	38°
22070-20712	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1108	J	2	35	11	2,8	71	-	11-28	40	10	15	22	13	13,8	34°
22070-20713	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1108	J	3	50	11	2,8	71	-	11-28	40	10	15	22	28	13,8	34°
22070-20751	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1108	A	1	20	11	2,8	75	60	11-28	-	10	15	22	2	13,8	34°
22070-20752	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1108	J	2	35	11	2,8	75	-	11-28	44	10	15	22	13	13,8	34°
22070-20753	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1108	J	3	50	11	2,8	75	-	11-28	44	10	15	22	28	13,8	34°
22070-20801	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1210	A	1	20	11	2,8	80	84	11-32	-	10	15	25	5	13,8	34°
22070-20802	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1210	J	2	35	11	2,8	80	-	11-32	50	10	15	25	10	13,8	34°
22070-20803	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1210	J	3	50	11	2,8	80	-	11-32	50	10	15	25	25	13,8	34°
22070-20851	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1210	A	1	20	11	2,8	85	88	11-32	-	10	15	25	5	13,8	34°
22070-20852	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1210	J	2	35	11	2,8	85	-	11-32	55	10	15	25	10	13,8	34°
22070-20853	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1210	J	3	50	11	2,8	85	-	11-32	55	10	15	25	25	13,8	34°
22070-20901	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1210	A	1	20	11	2,8	90	90	11-32	-	10	15	25	5	13,8	34°
22070-20902	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	J	2	35	11	2,8	90	-	12-42	60	10	15	25	10	13,8	34°
22070-20903	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	J	3	50	11	2,8	90	-	12-42	56	10	15	25	25	13,8	34°
22070-20951	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1210	A	1	20	11	2,8	95	90	11-32	-	10	15	25	5	13,8	34°
22070-20952	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	J	2	35	11	2,8	95	-	12-42	62	10	15	25	10	13,8	34°
22070-20953	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	J	3	50	11	2,8	95	-	12-42	62	10	15	25	25	13,8	34°
22070-21001	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	A	1	20	11	2,8	100	92	12-42	-	10	15	25	5	13,8	34°
22070-21002	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	J	2	35	11	2,8	100	-	12-42	66	10	15	25	10	13,8	34°
22070-21003	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	B	3	50	11	2,8	100	-	12-42	66	10	15	25	25	13,8	34°
22070-21061	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	A	1	20	11	2,8	106	85	12-42	-	10	15	25	5	13,8	34°
22070-21062	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	J	2	35	11	2,8	106	-	12-42	72	10	15	25	10	13,8	34°
22070-21063	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	B	3	50	11	2,8	106	-	12-42	72	10	15	25	25	13,8	34°
22070-21121	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	A	1	20	11	2,8	112	90	12-42	-	10	15	25	5	13,8	34°
22070-21122	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	J	2	35	11	2,8	112	-	12-42	77	10	15	25	10	13,8	34°
22070-21123	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2012	J	3	50	11	2,8	112	-	14-50	77	10	15	32	18	13,8	34°
22070-21181	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	A	1	20	11	2,8	118	96,4	12-42	-	10	15	25	5	13,8	34°
22070-21182	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	J	2	35	11	2,8	118	-	12-42	85	10	15	25	10	13,8	34°
22070-21183	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2012	B	3	50	11	2,8	118	-	14-50	85	10	15	32	18	13,8	34°
22070-21251	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	A	1	20	11	2,8	125	92	12-42	-	10	15	25	20	13,8	38°
22070-21252	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	J	2	35	11	2,8	125	-	12-42	92	10	15	25	10	13,8	38°
22070-21253	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2012	B	3	50	11	2,8	125	-	14-50	92	10	15	32	18	13,8	38°
22070-21321	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	A	1	20	11	2,8	132	92	12-42	-	10	15	25	5	13,8	38°
22070-21322	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2012	J	2	35	11	2,8	132	-	14-50	97	10	15	32	3	13,8	38°
22070-21323	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2012	B	3	50	11	2,8	132	-	14-50	97	10	15	32	18	13,8	38°
22070-21401	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	A	1	20	11	2,8	140	92	12-42	-	10	15	25	5	13,8	38°
22070-21402	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2012	J	2	35	11	2,8	140	-	14-50	106	10	15	32	3	13,8	38°
22070-21403	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2517	J	3	50	11	2,8	140	-	18-65	106	10	15	45	5	13,8	38°
22070-21501	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	D	1	20	11	2,8	150	92	12-42	-	10	15	25	5	13,8	38°
22070-21502	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2012	J	2	35	11	2,8	150	-	14-50	116	10	15	32	3	13,8	38°
22070-21503	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2517	J	3	50	11	2,8	150	-	18-65	116	10	15	45	5	13,8	38°
22070-21601	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	D	1	20	11	2,8	160	92	12-42	-	10	15	25	5	13,8	38°
22070-21602	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2012	J	2	35	11	2,8	160	-	14-50	126	10	15	32	3	13,8	38°
22070-21603	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 2517	J	3	50	11	2,8	160	-	18-65	126	10	15	45	5	13,8	38°
22070-21701	tipo spa/13/a	p/bucha cón. taper 1610	D	1	20	11	2,8	170	92	12-42	-	10	15	25	5	13,8	38°



Anexo 4 – Fatores de serviço,  $K_s$  das correias trapezoidais [20].

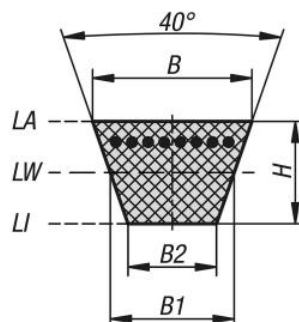
DRIVEN MACHINERY	SOURCE OF POWER	
	NORMAL TORQUE CHARACTERISTIC	HIGH OR NONUNIFORM TORQUE
Uniform	1.0 to 1.2	1.1 to 1.3
Light shock	1.1 to 1.3	1.2 to 1.4
Medium shock	1.2 to 1.4	1.4 to 1.6
Heavy shock	1.3 to 1.5	1.5 to 1.8

Anexo 5 – Tabela da potência característica de uma correia trapezoidal [20].

Tabela 8.7 – Correias Trapezoidais. Potência Característica de uma Correia  $H_{tab}$  (Hp).

BELT SECTION	SHEAVE PITCH DIAMETER, in	BELT SPEED, ft/min				
		1000	2000	3000	4000	5000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 and up	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 and up	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 and up	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
	17.0 and up	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7
	E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1
18.0		9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
20.0		10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
22.0		11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
24.0		12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
26.0		13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
28.0 and up		13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

## Anexo 6 – Catálogo das correias trapezoidais da Norelem [19].



### 22071 Correias trapezoidais norma DIN 2215

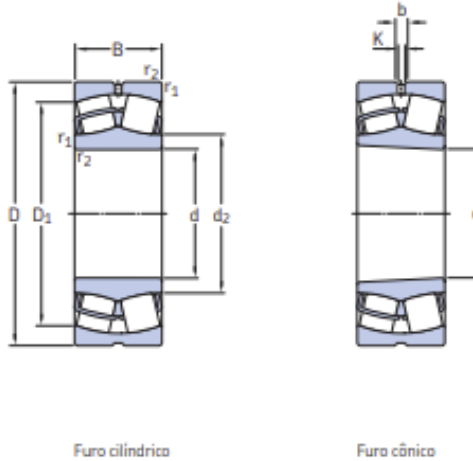


#### Visão geral dos artigos

Código do artigo	Versão 1	B=Largura da correa	B1	B2	H	Comprimento externo LA	Comprimento interno LI	Comprimento efetivo LW
22071-11900	Tipo 10/Z	10	8,5	6,1	6	1938	1900	1923
22071-11975	Tipo 10/Z	10	8,5	6,1	6	2013	1975	1998
22071-12000	Tipo 10/Z	10	8,5	6,1	6	2038	2000	2023
22071-12080	Tipo 10/Z	10	8,5	6,1	6	2118	2080	2103
22071-12120	Tipo 10/Z	10	8,5	6,1	6	2158	2120	2143
22071-12360	Tipo 10/Z	10	8,5	6,1	6	2398	2360	2383
22071-20457	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	495	457	480
22071-20483	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	521	483	506
22071-20508	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	546	508	531
22071-20535	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	573	535	558
22071-20560	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	598	560	583
22071-20580	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	618	580	603
22071-20600	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	638	600	623
22071-20630	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	668	630	653
22071-20660	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	698	660	683
22071-20670	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	708	670	693
22071-20690	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	728	690	713
22071-20710	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	748	710	733
22071-20730	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	768	730	753
22071-20750	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	788	750	773
22071-20767	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	805	767	790
22071-20780	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	818	780	803
22071-20787	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	825	787	810
22071-20800	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	838	800	823
22071-20813	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	851	813	836
22071-20825	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	863	825	848
22071-20838	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	876	838	861
22071-20850	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	888	850	873
22071-20855	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	893	855	878
22071-20875	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	913	875	898
22071-20889	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	927	889	912
22071-20900	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	938	900	923
22071-20914	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	952	914	937
22071-20925	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	963	925	948
22071-20939	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	977	939	962
22071-20950	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	988	950	973
22071-20965	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1003	965	988
22071-20975	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1013	975	998
22071-20991	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1029	991	1014
22071-21000	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1038	1000	1023
22071-21016	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1054	1016	1039
22071-21030	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1068	1030	1053
22071-21041	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1079	1041	1064
22071-21060	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1098	1060	1083
22071-21075	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1113	1075	1098
22071-21090	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1128	1090	1113
22071-21105	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1143	1105	1128
22071-21120	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1158	1120	1143
22071-21143	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1181	1143	1166
22071-21168	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1206	1168	1191
22071-21180	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1218	1180	1203
22071-21200	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1238	1200	1223
22071-21220	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1258	1220	1243
22071-21240	Tipo 13/A	13	11	7,8	8	1278	1240	1263

## Anexo 7 – Catálogo de rolamentos da SKF [22].

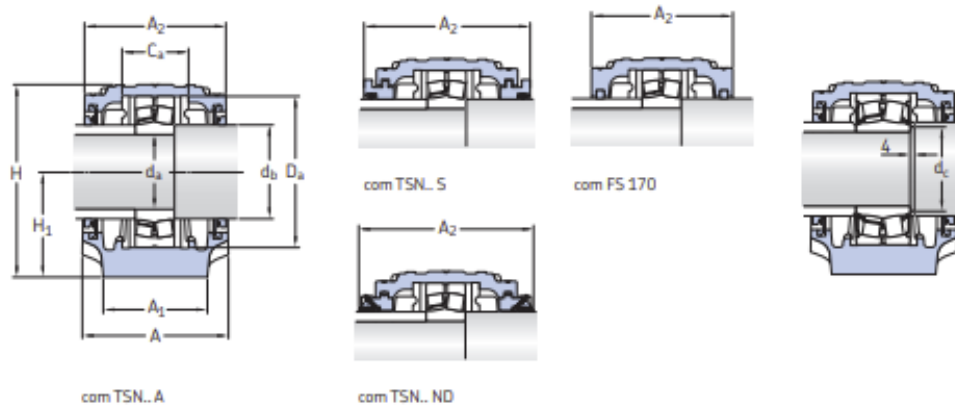
### 8.1 Rolamentos autocompensadores de rolos d de 20 a 60 mm



Dimensões principais		Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga	Classificações de velocidade		Massa	Designações Rolamento com furo cilíndrico		furo cônico
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	P <sub>e</sub>	Velocidade de referência	Velocidade-limite	kg	–	–
mm			kN	kN	kN	r/min				
20	52	18	49	44	4,75	13 000	17 000	0,28	* 22205/20 E	–
25	52	18	49	44	4,75	13 000	17 000	0,26	* 22205 E	* 22205 EK
	62	17	48	41,5	4,55	9 300	12 000	0,28	* 21305 CC	–
30	62	20	64	60	6,4	10 000	14 000	0,29	* 22206 E	* 22206 EK
	72	19	64	61	6,8	8 200	10 000	0,41	* 21306 CC	* 21306 CCK
35	72	23	86,5	85	9,3	9 000	12 000	0,45	* 22207 E	* 22207 EK
	80	21	76,5	72	8,15	7 300	9 500	0,55	* 21307 CC	* 21307 CCK
40	80	23	96,5	90	9,8	8 000	11 000	0,53	* 22208 E	* 22208 EK
	90	23	104	108	11,8	7 000	9 500	0,75	* 21308 E	* 21308 EK
	90	33	150	140	15	6 000	8 000	1,05	* 22308 E	* 22308 EK
45	85	23	102	98	10,8	7 500	10 000	0,58	* 22209 E	* 22209 EK
	85	23	96,5	93	9,65	11 000	10 000	0,58	E2.22209 <sup>1)</sup>	E2.22209 K <sup>1)</sup>
	100	25	125	127	13,7	6 300	8 500	0,99	* 21309 E	* 21309 EK
	100	36	183	183	19,6	5 300	7 000	1,4	* 22309 E	* 22309 EK
50	90	23	104	108	11,8	7 000	9 500	0,63	* 22210 E	* 22210 EK
	90	23	100	102	10,8	10 000	9 500	0,63	E2.22210 <sup>1)</sup>	E2.22210 K <sup>1)</sup>
	110	27	156	166	18,6	5 600	7 500	1,35	* 21310 E	* 21310 EK
	110	40	220	224	24	4 800	6 300	1,9	* 22310 E	* 22310 EK
55	100	25	125	127	13,7	6 300	8 500	0,84	* 22211 E	* 22211 EK
	100	25	120	120	12,5	9 000	8 500	0,84	E2.22211 <sup>1)</sup>	E2.22211 K <sup>1)</sup>
	120	29	156	166	18,6	5 600	7 500	1,7	* 21311 E	* 21311 EK
	120	43	270	280	30	4 300	5 600	2,45	* 22311 E	* 22311 EK
60	110	28	156	166	18,6	5 600	7 500	1,15	* 22212 E	* 22212 EK
	110	28	150	156	16,6	8 000	7 500	1,15	E2.22212 <sup>1)</sup>	E2.22212 K <sup>1)</sup>
	130	31	212	240	26,5	4 800	6 300	2,1	* 21312 E	* 21312 EK
	130	46	310	335	36,5	4 000	5 300	3,1	* 22312 E	* 22312 EK

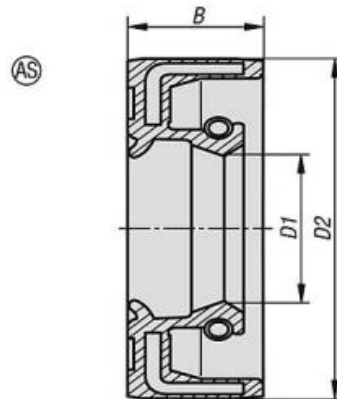
## Anexo 8 – Catálogo das chumaceiras da SKF [22].

### 2.3 Caixas de mancal SNL e SE para rolamentos em assento cilíndrico d 35 – 40 mm



Diâmetro do eixo	Caixa de mancal	Peças apropriadas Rolamento <sup>1)</sup>	Anel de fixação <sup>2)</sup>	Vedações	Tampa de fechamento	Largura com vedações A <sub>2</sub>
d <sub>e</sub>						
mm	-	-				mm
35	SE 207	1207 E	FRB 8.5/72	TSN 207 A	ASNH 509	82
		2207 ETN9	FRB 5.5/72	TSN 207 S		96
		22207 E	FRB 5.5/72	TSN 207 ND		160
		BS2-2207-2CS <sup>3)</sup>	FRB 3/72			
		C 2207 TN9	FRB 5.5/72			
	SE 507-606	1207 E	FRB 8.5/72	4 FS 170	ASNH 507-606	82
		2207 ETN9	FRB 5.5/72			
		22207 E	FRB 5.5/72			
		BS2-2207-2CS <sup>3)</sup>	FRB 3/72			
		C 2207 TN9	FRB 5.5/72			
	SE 208-307	1307 ETN9	FRB 9/80	TSN 307 A	ASNH 510-608	85
		2307 ETN9	FRB 4/80	TSN 307 S		99
		21307 CC	FRB 9/80	TSN 307 ND		145
40	SE 208-307	1208 ETN9	FRB 10.5/80	TSN 208 A	ASNH 510-608	85
		2208 ETN9	FRB 8/80	TSN 208 S		99
		22208 E	FRB 8/80	TSN 208 ND		160
		BS2-2208-2CS <sup>3)</sup>	FRB 5.5/80			
		C 2208 TN9	FRB 8/80			
	SE 508-607	1208 ETN9	FRB 10.5/80	4 FS 170	ASNH 508-607	85
		2208 ETN9	FRB 8/80			
		22208 E	FRB 8/80			
		BS2-2208-2CS <sup>3)</sup>	FRB 5.5/80			
		C 2208 TN9	FRB 8/80			
	SE 510-608	1308 ETN9	FRB 9/90	TSN 308 A	ASNH 510-608	90
		2308 ETN9	FRB 4/90	TSN 308 S		102
		21308 E	FRB 9/90	TSN 308 ND		167
		22308 E	FRB 4/90			
		BS2-2308-2CS <sup>3)</sup>	FRB 1.5/90			

## Anexo 9 – Catálogo dos retentores radiais da Norelem [19].



### 23915 Retentores radiais DIN 3760

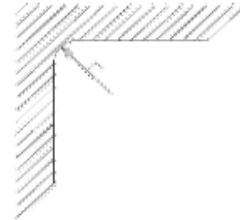
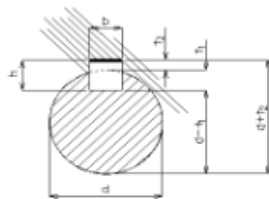


#### Visão geral dos artigos

Código do artigo	Forma	D1	D2	B
23915-12385007	AS	38	50	7
23915-12385207	AS	38	52	7
23915-12385507	AS	38	55	7
23915-12386210	AS	38	62	10
23915-12387210	AS	38	72	10
23915-12405207	AS	40	52	7
23915-12405507	AS	40	55	7
23915-12405508	AS	40	55	8
23915-12405608	AS	40	56	8
23915-12405810	AS	40	58	10
23915-12406010	AS	40	60	10
23915-12406207	AS	40	62	7
23915-12406208	AS	40	62	8
23915-12406210	AS	40	62	10
23915-12406510	AS	40	65	10
23915-12406810	AS	40	68	10
23915-12407207	AS	40	72	7
23915-12407210	AS	40	72	10
23915-12408010	AS	40	80	10
23915-12425507	AS	42	55	7
23915-12425508	AS	42	55	8
23915-12426207	AS	42	62	7
23915-12426208	AS	42	62	8
23915-12426210	AS	42	62	10
23915-12427208	AS	42	72	8
23915-12455807	AS	45	58	7
23915-12456008	AS	45	60	8
23915-12456010	AS	45	60	10
23915-12456510	AS	45	65	10
23915-12456208	AS	45	62	8
23915-12456210	AS	45	62	10
23915-12456508	AS	45	65	8
23915-12457210	AS	45	72	10
23915-12457508	AS	45	75	8
23915-12457510	AS	45	75	10
23915-12458010	AS	45	80	10
23915-12458510	AS	45	85	10
23915-12486208	AS	48	62	8
23915-12486510	AS	48	65	10
23915-12487207	AS	48	72	7
23915-12487208	AS	48	72	8
23915-12487210	AS	48	72	10
23915-12506207	AS	50	62	7
23915-12506508	AS	50	65	8
23915-12506510	AS	50	65	10
23915-12506808	AS	50	68	8
23915-12506810	AS	50	68	10
23915-12507010	AS	50	70	10
23915-12507208	AS	50	72	8
23915-12507210	AS	50	72	10
23915-12507212	AS	50	72	12

Anexo 10 – Tabela de furo e rasgo de chaveta conforme norma DIN 6885/1 [26].

**TABELA DE FURO E RASGO DE CHAVETA  
CONFORME NORMA DIN 6885/1**

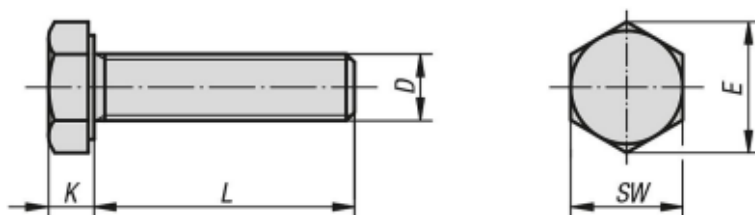


Ø do eixo d		Dimensões da chaveta Aço AISI 1045 Trefilado		Prof. Do rasgo no eixo		Prof. Do rasgo no cubo		Arredondamento no fundo do rasgo r, p/ o eixo e cubo.	
Acima de	Até	Largura b	Altura h	t <sub>1</sub>	Tolerância Admissível	t <sub>2</sub>	Tolerância Admissível	máximo	mínimo
6	8	2	2	1,2	+0,1	1	+0,1	0,16	0,08
8	10	3	3	1,8	+0,1	1,4	+0,1	0,16	0,08
10	12	4	4	2,5	+0,1	1,8	+0,1	0,16	0,08
12	17	5	5	3	+0,1	2,3	+0,1	0,25	0,16
17	22	6	6	3,5	+0,1	2,8	+0,1	0,25	0,16
22	30	8	7	4	+0,2	3,3	+0,2	0,25	0,16
30	38	10	8	5	+0,2	3,3	+0,2	0,4	0,25
38	44	12	8	5	+0,2	3,3	+0,2	0,4	0,25
44	50	14	9	5,5	+0,2	3,8	+0,2	0,4	0,25
50	58	16	10	6	+0,2	4,3	+0,2	0,4	0,25
58	65	18	11	7	+0,2	4,4	+0,2	0,4	0,25
65	75	20	12	7,5	+0,2	4,9	+0,2	0,6	0,4
75	85	22	14	9	+0,2	5,4	+0,2	0,6	0,4
85	95	25	14	9	+0,2	5,4	+0,2	0,6	0,4
95	110	28	16	10	+0,2	6,4	+0,2	0,6	0,4
110	130	32	18	11	+0,2	7,4	+0,2	0,6	0,4
130	150	36	20	12	+0,3	8,4	+0,3	1,0	0,7
150	170	40	22	13	+0,3	9,4	+0,3	1,0	0,7
170	200	45	25	15	+0,3	10,4	+0,3	1,0	0,7
200	230	50	28	17	+0,3	11,4	+0,3	1,0	0,7
230	260	56	32	20	+0,3	12,4	+0,3	1,6	1,2
260	290	63	32	20	+0,3	12,4	+0,3	1,6	1,2
290	330	70	36	22	+0,3	14,4	+0,3	1,6	1,2
330	380	80	40	25	+0,3	15,4	+0,3	2,5	2
380	440	90	45	28	+0,3	17,4	+0,3	2,5	2
440	500	100	50	31	+0,3	19,5	+0,3	2,5	2

Tolerância da largura da chaveta = h9													
Tol. Da largura do rasgo				h9	Acima de	1	3	6	10	18	30	50	90
No eixo		No cubo			Até	3	6	10	18	30	50	90	120
P9	P9	Interf.	*		h9	0	0	0	0	0	0	0	0
N9	JS9	Deslizante	*		JS9	+ 12,5	+15	+ 18	+ 21,5	+26	+ 31	+ 37	+ 43,5
					P9	-6	-12	-15	-18	-22	-26	-32	-37
					N9	-31	-42	-51	-61	-74	-88	-106	-124
					-4	0	0	0	0	0	0	0	
					-29	-30	-38	-43	-52	-62	-74	-87	

\* Conforme especificado no desenho.

## Anexo 11 – Catálogo dos parafusos sextavados da Norelem [19].



07171-406X55	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M6	55	10	11,05	4
07171-406X60	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M6	60	10	11,05	4
07171-408X16	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	16	13	14,38	5,3
07171-408X18	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	18	13	14,38	5,3
07171-408X20	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	20	13	14,38	5,3
07171-408X25	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	25	13	14,38	5,3
07171-408X30	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	30	13	14,38	5,3
07171-408X35	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	35	13	14,38	5,3
07171-408X40	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	40	13	14,38	5,3
07171-408X45	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	45	13	14,38	5,3
07171-408X50	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	50	13	14,38	5,3
07171-408X60	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	60	13	14,38	5,3
07171-408X70	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	70	13	14,38	5,3
07171-408X80	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	80	13	14,38	5,3
07171-408X90	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	90	13	14,38	5,3
07171-408X100	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M8	100	13	14,38	5,3
07171-410X16	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	16	17	18,9	6,4
07171-410X18	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	18	17	18,9	6,4
07171-410X20	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	20	17	18,9	6,4
07171-410X25	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	25	17	18,9	6,4
07171-410X30	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	30	17	18,9	6,4
07171-410X35	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	35	17	18,9	6,4
07171-410X40	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	40	17	18,9	6,4
07171-410X45	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	45	17	18,9	6,4
07171-410X50	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	50	17	18,9	6,4
07171-410X60	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	60	17	18,9	6,4
07171-410X70	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	70	17	18,9	6,4
07171-410X80	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	80	17	18,9	6,4
07171-410X90	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	90	17	18,9	6,4
07171-410X100	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M10	100	17	18,9	6,4
07171-412X20	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	20	19	21,1	7,5

© norelem

www.norelem.com

3/8

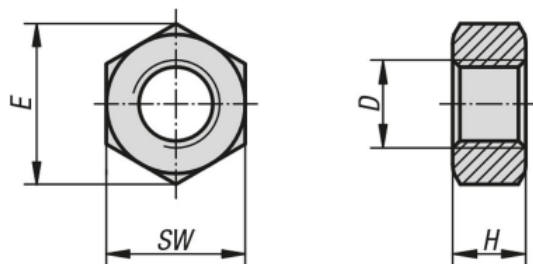
### 07171\_ST Parafusos sextavados DIN 933, aço

norelem

#### Visão geral dos artigos

Código do artigo	Materiais	Cor do corpo básico	Superfície Corpo básico	Classe de resistência	D	L	SW	E	K
07171-412X25	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	25	19	21,1	7,5
07171-412X30	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	30	19	21,1	7,5
07171-412X35	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	35	19	21,1	7,5
07171-412X40	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	40	19	21,1	7,5
07171-412X45	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	45	19	21,1	7,5
07171-412X50	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	50	19	21,1	7,5
07171-412X60	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	60	19	21,1	7,5
07171-412X70	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	70	19	21,1	7,5
07171-412X80	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	80	19	21,1	7,5
07171-412X90	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	90	19	21,1	7,5
07171-412X100	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	100	19	21,1	7,5
07171-412X110	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	110	19	21,1	7,5
07171-412X120	Aço	-	galvanizada com zinco	8,8	M12	120	19	21,1	7,5

## Anexo 12 – Catálogo das porcas sextavadas da Norelem [19].



### 07210\_ST Porcas sextavadas DIN 934 / DIN EN ISO 4032 / DIN EN 24032, aço

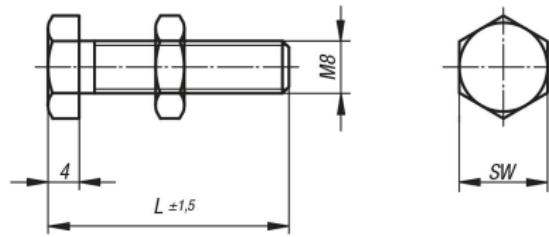


#### Visão geral dos artigos

Código do artigo	Materiais	Superfície Corpo básico	Classe de resistência	D	E	H	SW
07210-12	Aço	superfície sem tratamento	8	M12	21,1	10	19
07210-14	Aço	superfície sem tratamento	8	M14	23,9	11	22
07210-16	Aço	superfície sem tratamento	8	M16	26,76	13	24
07210-20	Aço	superfície sem tratamento	8	M20	32,95	16	30
07210-22	Aço	superfície sem tratamento	8	M22	35	18	32
07210-24	Aço	superfície sem tratamento	8	M24	39,6	19	36
07210-27	Aço	superfície sem tratamento	8	M27	45,2	22	41
07210-30	Aço	superfície sem tratamento	8	M30	50,9	24	46
07210-33	Aço	superfície sem tratamento	8	M33	55,4	26	50
07210-36	Aço	superfície sem tratamento	8	M36	60,8	29	55
07210-203	Aço	zincada	8	M3	6,01	2,4	5,5
07210-204	Aço	zincada	8	M4	7,66	3,2	7
07210-205	Aço	zincada	8	M5	8,79	4	8
07210-206	Aço	zincada	8	M6	11,05	5	10
07210-208	Aço	zincada	8	M8	14,38	6,5	13
07210-210	Aço	zincada	8	M10	18,9	8	17
07210-212	Aço	zincada	8	M12	21,1	10	19
07210-214	Aço	zincada	8	M14	23,9	11	22
07210-216	Aço	zincada	8	M16	26,76	13	24
07210-220	Aço	zincada	8	M20	32,95	16	30
07210-222	Aço	zincada	8	M22	35	18	32
07210-224	Aço	zincada	8	M24	39,6	19	36
07210-227	Aço	zincada	8	M27	45,2	22	41
07210-230	Aço	zincada	8	M30	50,9	24	46
07210-233	Aço	zincada	8	M33	55,4	26	50
07210-236	Aço	zincada	8	M36	60,8	29	55
07210-403	Aço	superfície sem tratamento	10	M3	6,01	2,4	5,5
07210-404	Aço	superfície sem tratamento	10	M4	7,66	3,2	7
07210-405	Aço	superfície sem tratamento	10	M5	8,79	4	8
07210-406	Aço	superfície sem tratamento	10	M6	11,05	5	10
07210-408	Aço	superfície sem tratamento	10	M8	14,38	6,5	13
07210-410	Aço	superfície sem tratamento	10	M10	18,9	8	17
07210-412	Aço	superfície sem tratamento	10	M12	21,1	10	19
07210-414	Aço	superfície sem tratamento	10	M14	23,9	11	22
07210-416	Aço	superfície sem tratamento	10	M16	26,76	13	24
07210-420	Aço	superfície sem tratamento	10	M20	32,95	16	30
07210-422	Aço	superfície sem tratamento	10	M22	35	18	32
07210-424	Aço	superfície sem tratamento	10	M24	39,6	19	36
07210-427	Aço	superfície sem tratamento	10	M27	45,2	22	41
07210-430	Aço	superfície sem tratamento	10	M30	50,9	24	46
07210-433	Aço	superfície sem tratamento	10	M33	55,4	26	50
07210-436	Aço	superfície sem tratamento	10	M36	60,8	29	55
07210-304	Aço	zincada	10	M4	7,66	3,2	7
07210-305	Aço	zincada	10	M5	8,79	4	8
07210-306	Aço	zincada	10	M6	11,05	5	10
07210-308	Aço	zincada	10	M8	14,38	6,5	13
07210-310	Aço	zincada	10	M10	18,9	8	17
07210-312	Aço	zincada	10	M12	21,1	10	19
07210-314	Aço	zincada	10	M14	23,9	11	22
07210-316	Aço	zincada	10	M16	26,76	13	24
07210-320	Aço	zincada	10	M20	32,95	16	30
07210-322	Aço	zincada	10	M22	35	18	32
07210-324	Aço	zincada	10	M24	39,6	19	36



## Anexo 13 – Catálogo dos parafusos limitadores da Norelem [19].



### Visão geral dos artigos

Código do artigo	L	SW
20010-08017	17	13
20010-08022	22	13
20010-08027	27	13
20010-08032	32	13
20010-08035	35	13
20010-08045	45	13
20010-08055	55	13
20010-08065	65	13
20010-08073	73	13
20010-08088	88	13

## Anexo 14 – Tabela das classes de resistências dos parafusos, porcas, pernas e outras peças roscadas [20].

### Metric Mechanical-Property Classes for Steel Bolts, Screws, and Studs\*

PROPERTY CLASS	SIZE RANGE, INCLUSIVE	MINIMUM PROOF STRENGTH, MPa	MINIMUM TENSILE STRENGTH, MPa	MINIMUM YIELD STRENGTH, MPa	MATERIAL	HEAD MARKING
4.6	M5–M36	225	400	240	Low or medium carbon	
4.8	M1.6–M16	310	420	340	Low or medium carbon	
5.8	M5–M24	380	520	420	Low or medium carbon	
8.8	M16–M36	600	830	660	Medium carbon, Q&T	
9.8	M1.6–M16	650	900	720	Medium carbon, Q&T	
10.9	M5–M36	830	1040	940	Low-carbon martensite, Q&T	
12.9	M1.6–M36	970	1220	1100	Alloy, Q&T	

Anexo 15 – Tabela das dimensões nominais das roscas ISO [28].

TABELA 15.10

DIMENSÕES NOMINAIS DAS ROSCAS ISO (MÉTRICO)<sup>1</sup>

1) Parafusos, porcas e pernos com passo grosso

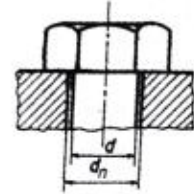
Dimensões em mm; secções em mm<sup>2</sup>

Diâmetro nominal	Passo	Diâmetro dos flancos	Diâmetro interior	Diâmetro para cálculo da secção resistente	Secção (²) resistente
$D = d$	P	$D_2 = d_2$	$D_1 = d_1$	$d_3$	$S_r$
1	<b>0,25</b>	<b>0,838</b>	<b>0,729</b>	<b>0,693</b>	<b>0,460</b>
1,1	0,25	0,938	0,829	0,793	0,588
1,2	<b>0,25</b>	<b>1,038</b>	<b>0,929</b>	<b>0,893</b>	<b>0,732</b>
1,4	0,3	1,205	1,075	1,032	0,983
1,6	<b>0,35</b>	<b>1,373</b>	<b>1,221</b>	<b>1,171</b>	<b>1,27</b>
1,8	0,35	1,573	1,421	1,371	1,70
2	<b>0,4</b>	<b>1,740</b>	<b>1,567</b>	<b>1,509</b>	<b>2,07</b>
2,2	0,45	1,908	1,713	1,648	2,48
2,5	<b>0,45</b>	<b>2,208</b>	<b>2,013</b>	<b>1,948</b>	<b>3,39</b>
3	<b>0,5</b>	<b>2,675</b>	<b>2,459</b>	<b>2,387</b>	<b>5,03</b>
3,5	0,6	3,110	2,850	2,764	6,78
4	<b>0,7</b>	<b>3,545</b>	<b>3,242</b>	<b>3,141</b>	<b>8,78</b>
4,5	0,75	4,013	3,688	3,580	11,3
5	<b>0,8</b>	<b>4,480</b>	<b>4,134</b>	<b>4,019</b>	<b>14,3</b>
6	<b>1</b>	<b>5,350</b>	<b>4,917</b>	<b>4,773</b>	<b>20,1</b>
7	1	6,350	5,917	5,773	28,9
8	<b>1,25</b>	<b>7,188</b>	<b>6,647</b>	<b>6,466</b>	<b>36,6</b>
10	<b>1,5</b>	<b>9,026</b>	<b>8,376</b>	<b>8,160</b>	<b>58,0</b>
12	<b>1,75</b>	<b>10,863</b>	<b>10,106</b>	<b>9,853</b>	<b>84,3</b>
14	2	12,701	11,835	11,546	115
16	2	<b>14,701</b>	<b>13,835</b>	<b>13,546</b>	<b>157</b>
18	2,5	16,376	15,294	14,933	192
20	<b>2,5</b>	<b>18,376</b>	<b>17,294</b>	<b>16,933</b>	<b>245</b>
22	2,5	20,376	19,294	18,933	303
24	3	<b>22,051</b>	<b>20,752</b>	<b>20,319</b>	<b>353</b>
27	3	25,051	23,752	23,319	459
30	<b>3,5</b>	<b>27,727</b>	<b>26,211</b>	<b>25,706</b>	<b>561</b>
33	3,5	30,727	29,211	28,706	694
36	<b>4</b>	<b>33,402</b>	<b>31,670</b>	<b>31,098</b>	<b>817</b>
39	4	36,402	34,670	34,092	976

Anexo 16 – Tabela do diâmetro dos furos de passagem de parafusos em função do diâmetro nominal [28].

TABELA 15.18

DIÂMETRO DOS FUROS DE PASSAGEM DE PARAFUSOS EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO NOMINAL<sup>1</sup>



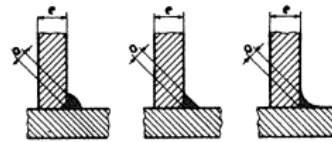
Dimensões em mm

Diâmetro nominal <i>d</i>	Diâmetro do furo de passagem $d_n^2$			Diâmetro nominal <i>d</i>	Diâmetro do furo de passagem $d_n^2$		
	Série fina H 12	Série média H 13	Série grosseira H 14		Série fina H 12	Série média H 13	Série grosseira H 14
1	1,1	1,2	1,3	36	37	39	42
1,2	1,3	1,4	1,5	39	40	42	45
1,4	1,5	1,6	1,8	42	43	45	48
1,6	1,7	1,8	2	45	46	48	52
1,8	2	2,1	2,2				
2	2,2	2,4	2,6	48	50	52	56
2,5	2,7	2,9	3,1	52	54	56	62
3	3,2	3,4	3,6	56	58	62	66
3,5	3,7	3,9	4,2	60	62	66	70
4	4,3	4,5	4,8	64	66	70	74
4,5	4,8	5	5,3				
5	5,3	5,5	5,8	68	70	74	78
6	6,4	6,6	7	72	74	78	82
7	7,4	7,6	8	76	78	82	86
8	8,4	9	10	80	82	86	91
10	10,5	11	12	85	87	91	96
12	13	13,5	14,5	90	93	96	101
14	15	15,5	16,5	95	98	101	107
16	17	17,5	18,5	100	104	107	112
18	19	20	21	105	109	112	117
20	21	22	24	110	114	117	122
22	23	24	26	115	119	122	127
24	25	26	28	120	124	127	132
27	28	30	32	125	129	132	137
30	31	33	35	130	134	137	144
33	34	36	38	140	144	147	155
				150	155	158	165

Anexo 17 – Tabela da espessura dos cordões de soldadura de ângulo em função da espessura da chapa [28].

TABELA 15.9


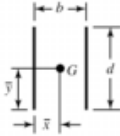
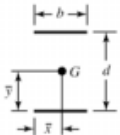
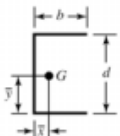
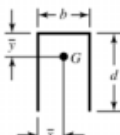
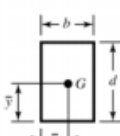
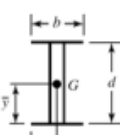

ESPESSURA DOS CORDÕES DE SOLDADURA DE ÂNGULO  
EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DA CHAPA<sup>1</sup>



*Dimensões em mm*

<i>e</i>	<i>a</i>	<i>e</i>	<i>a</i>	<i>e</i>	<i>a</i>	<i>e</i>	<i>a</i>
4	2	14	6	30	10	50	14
6	3	18	7	35	11	55	15
8	4	22	8	40	12	60	16
11	5	26	9	45	13	80	16

Anexo 18 – Expressões do segundo momento de área [20].

Weld	Throat Area	Location of $G$	Unit Second Moment of Area
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

Anexo 19 – Tabela das folgas e apertos de ajustamentos recomendados [28].

TABELA 14.4 (continuação)

Diâmetros (mm)		H6 - p5 e P6 - h5			H6 - r5 e R6 - h5			H6 - s5 e S6 - h5			H6 - t5 e T6 - h5		
		Aperto			Aperto			Aperto			Aperto		
de	até	mn.	médio	máx.	mn.	médio	máx.	mn.	médio	máx.	mn.	médio	máx.
1 incl.	3	2	8	14	5	11	17	8	14	20	-	-	-
3	6	4	10,5	17	7	13,5	20	11	17,5	24	-	-	-
6	10	6	13,5	21	10	17,5	25	14	21,5	29	-	-	-
10	14	7	16,5	26	12	21,5	31	17	26,5	36	-	-	-
14	18	7	16,5	26	12	21,5	31	17	26,5	36	-	-	-
18	24	9	20	31	15	26	37	22	33	44	-	-	-
24	30	9	20	31	15	26	37	22	33	44	28	39	50
30	40	10	23,5	37	18	31,5	45	27	40,5	54	32	45,5	59
40	50	10	23,5	37	18	31,5	45	27	40,5	54	38	51,5	65
50	65	13	29	45	22	38	54	34	50	66	47	63	79
65	80	13	29	45	24	40	56	40	56	72	56	72	88
80	100	15	33,5	52	29	47,5	66	49	67,5	86	69	87,5	106
100	120	15	33,5	52	32	50,5	69	57	75,5	94	82	100,5	119
120	140	18	39,5	61	38	59,5	81	67	88,5	110	97	118,5	140
140	160	18	39,5	61	40	61,5	83	75	96,5	118	109	130,5	152
160	180	18	39,5	61	43	64,5	86	83	104,5	126	121	142,5	164
180	200	21	45,5	70	48	72,5	97	93	117,5	142	137	161,5	186
200	225	21	45,5	70	51	75,5	100	101	125,5	150	151	175,5	200
225	250	21	45,5	70	55	79,5	104	111	135,5	160	167	191,5	216
250	280	24	51,5	79	62	89,5	117	126	153,5	181	186	213,5	241
280	315	24	51,5	79	66	93,5	121	138	165,5	193	208	235,5	263
315	355	26	56,5	87	72	102,5	133	154	184,5	215	232	262,5	293
355	400	26	56,5	87	78	108,5	139	172	202,5	233	258	288,5	319
400	450	28	61,5	95	86	119,5	153	192	225,5	259	290	323,5	357
450	500	28	61,5	95	92	125,5	159	212	245,5	279	320	353,5	387

Anexo 20 – Tabela das tolerâncias fundamentais [28].

TABELA 14.1

TOLERÂNCIAS FUNDAMENTAIS<sup>1</sup>

Valores em micra

Cota nominal (mm)		Qualidades e tolerâncias fundamentais																	
de	até	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
0	1	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	—	—	—	—	—
1	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3	6	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6	10	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10	18	0,5	0,8	1,2	2,0	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18	30	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30	50	0,6	1,0	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50	80	0,8	1,2	2,0	3,0	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80	120	1,0	1,5	2,5	4,0	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120	180	1,2	2,0	3,5	5,0	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180	250	2,0	3,0	4,5	7,0	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250	315	2,5	4,0	6,0	8,0	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315	400	3,0	5,0	7,0	9,0	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400	500	4,0	6,0	8,0	10,0	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

# Anexo 21 – Tabela dos desvios de referência dos furos [28].

Cota nominal (mm)		Desvio inferior, $DI$ ( $\mu\text{m}$ )											Desvio superior, $DS$ ( $\mu\text{m}$ )											Valores para $\Delta$																
		Todos os graus de tolerâncias normalizadas											IT6	IT7	IT8	Até IT8 (incl.)	Acima de IT8	Até IT8 (incl.)	Acima de IT8	Até IT8 (incl.)	Acima de IT8	Até IT7 (incl.)	Graus de tolerâncias normalizadas acima de IT7						Graus de tolerâncias normalizadas											
Acima	Até (inc.)	A <sup>(1)</sup>	B <sup>(1)</sup>	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS <sup>(2)</sup>	J	K <sup>(3)</sup>	M <sup>(4)</sup>	N <sup>(5)</sup>	P a ZC <sup>(6)</sup>	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8				
-	3 <sup>(10)</sup>	+270	+40	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0		+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4																		
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-1+ $\Delta$	-4+ $\Delta$	-4	-8+ $\Delta$	0																			
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	-1+ $\Delta$	-6+ $\Delta$	-6	-10+ $\Delta$	0																			
10	14	+290	+150	+95		+50	+32		+16		+6	0		+6	+10	+15	-1+ $\Delta$	-7+ $\Delta$	-7	-12+ $\Delta$	0																			
14	18																																							
18	24	+300	+160	+110		+65	+40		+20		+7	0		+8	+12	+20	-2+ $\Delta$	-8+ $\Delta$	-8	-15+ $\Delta$	0																			
24	30																																							
30	40	+310	+170	+120		+80	+50		+25		+9	0		+10	+14	+24	-2+ $\Delta$	-9+ $\Delta$	-9	-17+ $\Delta$	0																			
40	50	+320	+180	+130								0		+13	+18	+28	-2+ $\Delta$	-11+ $\Delta$	-11	-20+ $\Delta$	0																			
50	65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0		+16	+22	+34	-3+ $\Delta$	-13+ $\Delta$	-13	-23+ $\Delta$	0																			
65	80	+360	+200	+150								0		+18	+26	+41	-3+ $\Delta$	-15+ $\Delta$	-15	-27+ $\Delta$	0																			
80	100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0		+22	+30	+47	-4+ $\Delta$	-17+ $\Delta$	-17	-31+ $\Delta$	0																			
100	120	+410	+240	+180								0		+25	+36	+55	-4+ $\Delta$	-20+ $\Delta$	-20	-34+ $\Delta$	0																			
120	140	+460	+260	+200								0		+29	+39	+60	-4+ $\Delta$	-21+ $\Delta$	-21	-37+ $\Delta$	0																			
140	160	+520	+280	+210		+145	+85		+43		+14	0		+33	+43	+66	-5+ $\Delta$	-23+ $\Delta$	-23	-40+ $\Delta$	0																			
160	180	+580	+310	+230								0																												
180	200	+660	+340	+240								0																												
200	225	+740	+380	+260		+170	+100		+50		+15	0																												
225	250	+820	+420	+280								0																												
250	280	+920	+480	+300		+190	+110		+56		+17	0																												
280	315	+1050	+540	+330								0																												
315	355	+1200	+600	+360		+210	+125		+62		+18	0																												
355	400	+1350	+680	+400								0																												
400	450	+1500	+760	+440		+230	+135		+68		+20	0																												
450	500	+1650	+840	+480								0																												
500	560					+260	+145		+76		+22	0																												
560	630											0																												
630	710											0																												
710	800											0																												

Valores para  $\Delta$  como para os graus das tolerâncias normalizadas acima de IT7 incrementados de  $\Delta$

Desvios =  $\pm ITn/2$ , sendo  $n$  o valor numérico de IT

# Anexo 22 – Tabela dos desvios de referência dos veios [28].

Cota nominal (mm)		Desvio superior, $d_s$ ( $\mu\text{m}$ )											Desvio inferior, $d_i$ ( $\mu\text{m}$ )																			
		Todos os graus de tolerâncias normalizadas											IT5 e IT6	IT7	IT8	IT4 a IT7	Até IT3 (incl.) e acima de IT7	Todos os graus de tolerâncias normalizadas														
Acima	Até (inc.)	a <sup>1)</sup>	b <sup>1)</sup>	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js <sup>2)</sup>	j	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc			
-	3 <sup>1)</sup>	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	Desvios = ± ITn/2, sendo n o valor numérico de IT	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23	+28		+35	+42	+50	+80		
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97	
10	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0		-3	-6	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130	
14	18													+39	+45			+60	+77	+108	+150											
18	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0		-4	-8	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188	
24	30													+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274										
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0		-5	-10	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43		+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
40	50	-320	-180	-130		-100	-60		-30		-10	0		-7	-12	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405	
50	65	-340	-190	-140		-120	-72		-36		-12	0		-9	-15	+2	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585	
65	80	-360	-200	-150		-140	-85		-43		-14	0		-11	-18	+2	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800	
80	100	-380	-220	-170		-160	-100		-50		-15	0		-13	-21	+3	0	+17	+31	+50	+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250	
100	120	-410	-240	-180		-180	-110		-56		-17	0		-16	-26	+4	0	+20	+34	+56	+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350	
120	140	-460	-260	-200		-200	-125		-62		-18	0		-18	-28	+4	0	+21	+37	+62	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550	
140	160	-520	-280	-210		-230	-135		-68		-20	0		-20	-32	+5	0	+23	+40	+68	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900	
160	180	-580	-310	-230		-250	-150		-76		-22	0		-22	-40			+26	+44	+78	+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100	
180	200	-660	-340	-240		-280	-170		-86		-26	0		-26	-48			+30	+50	+88	+155	+310	+450	+660								
200	225	-740	-380	-260		-300	-190		-98		-28	0		-28	-60			+34	+56	+100	+175	+340	+500	+740								
225	250	-820	-420	-280		-330	-210		-110		-30	0		-30	-80			+40	+66	+120	+185	+380	+560	+840								
250	280	-920	-480	-300		-360	-230		-125		-32	0		-32	-100			+48	+78	+140	+220	+470	+680	+1050								
280	315	-1050	-540	-330		-400	-250		-135		-34	0		-34	-120			+58	+92	+170	+260	+580	+840	+1300								
315	355	-1200	-600	-360		-440	-270		-150		-36	0		-36	-145			+68	+110	+195	+300	+640	+960	+1450								
355	400	-1350	-680	-400		-480	-290		-165		-38	0		-38	-170			+76	+135	+240	+330	+720	+1050	+1600								
400	450	-1500	-760	-440		-520	-310		-180		-40	0		-40	-200			+88	+150	+280	+400	+900	+1350	+2000								
450	500	-1650	-840	-480		-560	-330		-195		-42	0		-42	-220			+100	+170	+330	+500	+1100	+1650	+2300								
500	560					-260	-145		-76		-22	0		-42	-240			+114	+208	+390	+540	+1250	+1900	+2700								
560	630					-290	-160		-80		-24	0		-42	-260			+132	+252	+460	+660	+1500	+2200	+3100								
630	710					-320	-170		-86		-26	0		-42	-280			+150	+280	+500	+700	+1750	+2500	+3500								
710	800					-350	-195		-98		-28	0		-42	-300			+175	+340	+580	+800	+2000	+2800	+3900								
800	900					-390	-220		-110		-30	0		-42	-320			+210	+430	+700	+940	+2300	+3200	+4400								
900	1000					-430	-240		-120		-32	0		-42	-340			+220	+470	+780	+1050	+2500	+3500	+4800								
1000	1120					-480	-260		-130		-34	0	-42	-360			+250	+520	+840	+1150	+2700	+3800	+5100									
1120	1250					-520	-290		-145		-38	0	-42	-380			+260	+580	+940	+1300	+2900	+4100	+5400									
1250	1400					-580	-310		-160		-40	0	-42	-400			+300	+640	+1050	+1450	+3200	+4500	+5900									
1400	1600					-680	-400		-200		-50	0	-42	-420			+330	+720	+1100	+1600	+3500	+4900	+6400									
1600	1800					-760	-440		-230		-56	0	-42	-440			+370	+820	+1200	+1850	+4000	+5500	+7100									
1800	2000					-840	-480		-270		-64	0	-42	-460			+400	+920	+1350	+2000	+4300	+5900	+7600									
2000	2240					-920	-520		-300		-72	0	-42	-480			+440	+1000	+1500	+2300	+4600	+6300	+8100									
2240	2500					-1050	-580		-340		-84	0	-42	-500			+460	+1100	+1650	+2500	+4800	+6600	+8500									
2500	2800					-1200	-660		-400		-100	0	-42	-520			+550	+1250	+1900	+2900	+5200	+7100	+9100									
2800	3150					-1350	-740		-460		-120	0	-42	-540			+580	+1400	+2100	+3200	+5600	+7600	+9700									

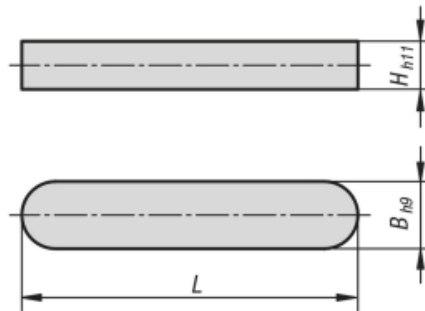
1) As posições de campo a e b não deverão ser usados para cotas nominais menores ou iguais a 1 mm. 2) Para as classes de tolerância js7 a js11, se o valor de IT, n, é um valor ímpar, ele deverá ser arredondado ao valor par imediatamente abaixo, de modo que os desvios resultantes, i.e. ±ITn/2, possam ser expressos num número inteiro de microns.



Anexo 23 – Tabela de rugosidades, desvios dimensionais e geométricos obtidos em diferentes processos tecnológicos [28].

Dimensões	Função das superfícies	sem contacto	contacto fixo	centragem contacto móvel guiamento	estanquidade trajectória precisa								Tolerâncias Geométricas (µm)			
	Natureza das superfícies	bruta	precisão média	boa precisão	precisão elevada											
Rugosidade	Qualidade IT	16-15-14-13-12	11-10-9	8-7-6				5-4-3-2-1-0-01								
	Aspecto	mate	semi mate				brilhante				espelhado					
	Simbolos antigos	~	∇	∇∇				∇∇∇								
	Qualidade	grosseira		média				fina				Muito fina				
	Nº classe (ISO 1302)	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1				
	Rt (µm)	120	55	27	12	5.7	2.8	1.4	0.6	0.25	0.1	0.05				
	Ra (µm)	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	//	⊥	⊙	∠
Fundição em areia	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Fundição em cera perdida																
Fundição em coquilha																
Fundição injectada																
Estampagem a quente																
Extrusão a quente																
Extrusão a frio																
Oxicorte	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Sinterização												20		20		
Fresagem com aço rápido												50-10	30	5-20	10	
Fres. c/ ferr. de carbonetos												20-10	20		10	
Torneamento pesado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Torneamento fino												20-10	20	5-10	10	
Torn. com ferr. diamantada												10	20	10	10	
Corte por arrombamento												200	100	100	100	
Mandrilamento												5	10	10	10	
Brochagem												2		2		
Rectificação de produção																
Rectificação de precisão												1	1	2	2	
Honing												0.5	1	2	2	
Lapping																
Polimento mecânico																
Polimento electrolítico																
Super acabamento												0.5	1	5	2	
Maquinagem electrolítica																
	Valores económicos						Valores possíveis									

## Anexo 24 – Catálogo das chavetas da Norelem [19]

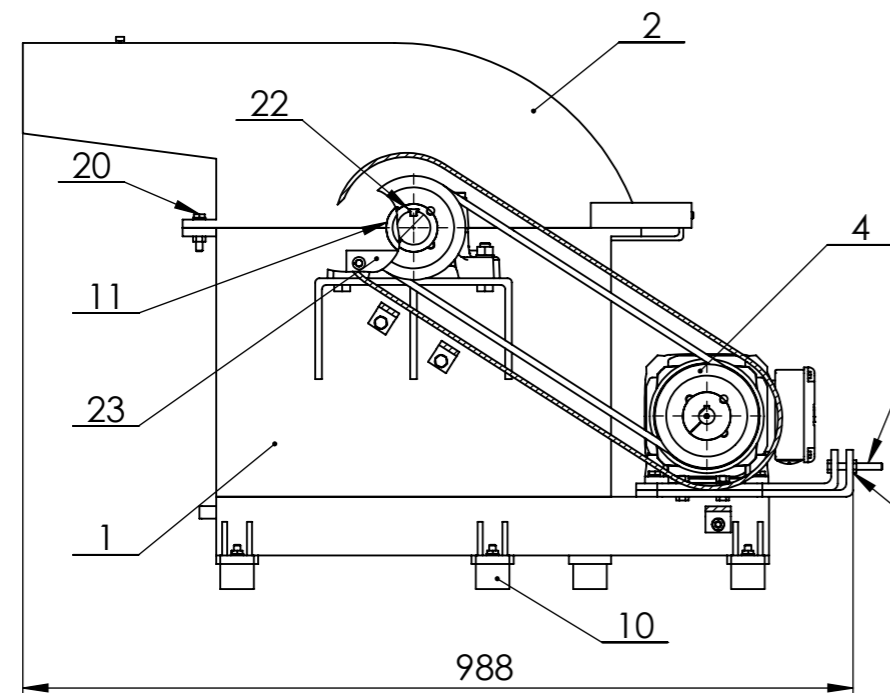


### 03288 Chavetas paralelas DIN 6885 A

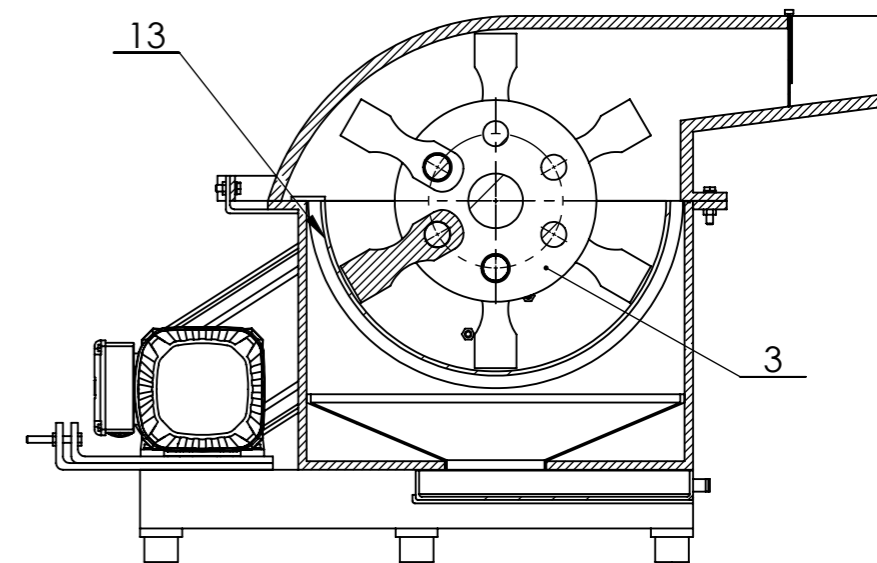
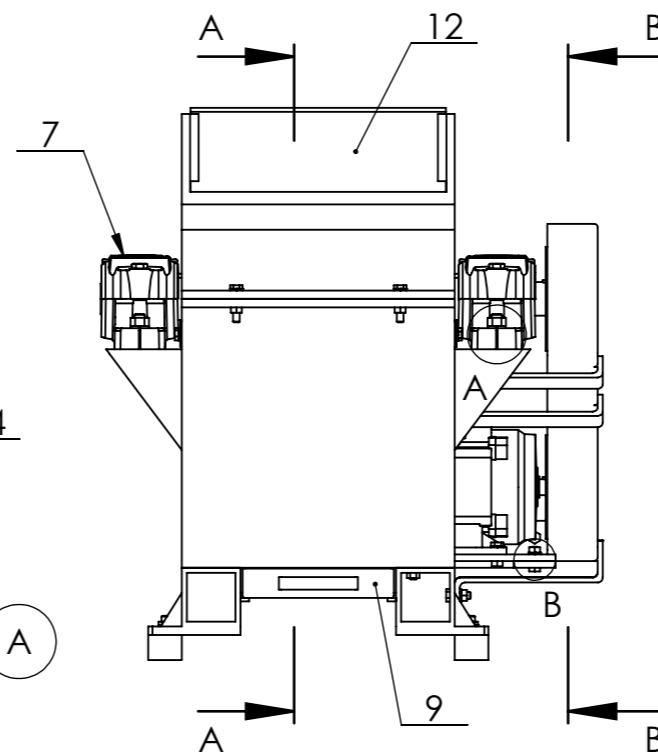
norelem

#### Visão geral dos artigos

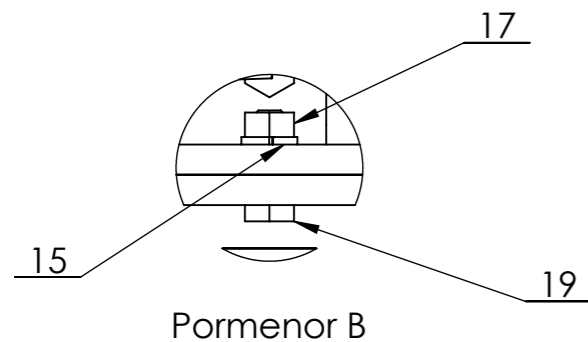
Código do artigo	Material do corpo básico	B	H	L = comprimento
03288-04X14	Aço	4	4	14
03288-04X16	Aço	4	4	16
03288-04X18	Aço	4	4	18
03288-04X20	Aço	4	4	20
03288-04X22	Aço	4	4	22
03288-04X25	Aço	4	4	25
03288-04X28	Aço	4	4	28
03288-05X12	Aço	5	5	12
03288-05X14	Aço	5	5	14
03288-05X16	Aço	5	5	16
03288-05X18	Aço	5	5	18
03288-05X20	Aço	5	5	20
03288-05X22	Aço	5	5	22
03288-05X25	Aço	5	5	25
03288-05X28	Aço	5	5	28
03288-05X32	Aço	5	5	32
03288-05X36	Aço	5	5	36
03288-05X40	Aço	5	5	40
03288-06X12	Aço	6	6	12
03288-06X14	Aço	6	6	14
03288-06X16	Aço	6	6	16
03288-06X18	Aço	6	6	18
03288-06X20	Aço	6	6	20
03288-06X22	Aço	6	6	22
03288-06X25	Aço	6	6	25
03288-06X28	Aço	6	6	28
03288-06X32	Aço	6	6	32
03288-06X36	Aço	6	6	36
03288-06X40	Aço	6	6	40
03288-06X45	Aço	6	6	45
03288-08X14	Aço	8	7	14
03288-08X16	Aço	8	7	16
03288-08X18	Aço	8	7	18
03288-08X20	Aço	8	7	20
03288-08X22	Aço	8	7	22
03288-08X25	Aço	8	7	25
03288-08X28	Aço	8	7	28
03288-08X32	Aço	8	7	32
03288-08X36	Aço	8	7	36
03288-08X40	Aço	8	7	40
03288-08X45	Aço	8	7	45
03288-08X50	Aço	8	7	50
03288-08X70	Aço	8	7	70
03288-10X22	Aço	10	8	22
03288-10X25	Aço	10	8	25
03288-10X28	Aço	10	8	28
03288-10X32	Aço	10	8	32
03288-10X36	Aço	10	8	36
03288-10X40	Aço	10	8	40
03288-10X45	Aço	10	8	45
03288-10X50	Aço	10	8	50



Corte B-B



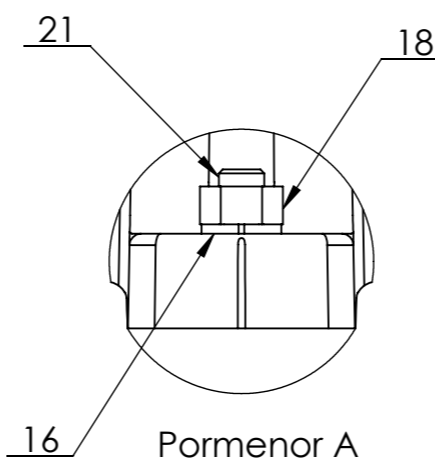
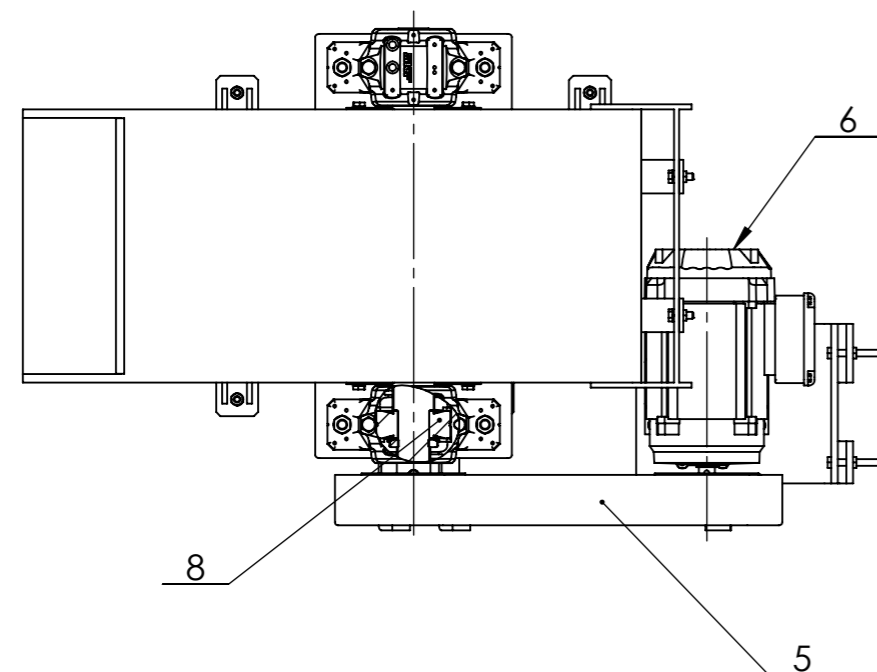
Corte A-A



Pormenor B

**Referências para aquisição:**

- Item Nº6: DRN80MS2/FI
- Item Nº7: SNL 510-608 + 22308
- Item Nº8: 22308 E
- Item Nº10: A023345
- Item Nº11: 23915-12506508
- Item Nº14: 20010-08065
- Item Nº15: 04478
- Item Nº16: 044712
- Item Nº17: 07210-308
- Item Nº18: 07210-312
- Item Nº19: 07171-408X25
- Item Nº20: 07171-408X40
- Item Nº21: 07171-412X50
- Item Nº22: 03288-12X32



Pormenor A

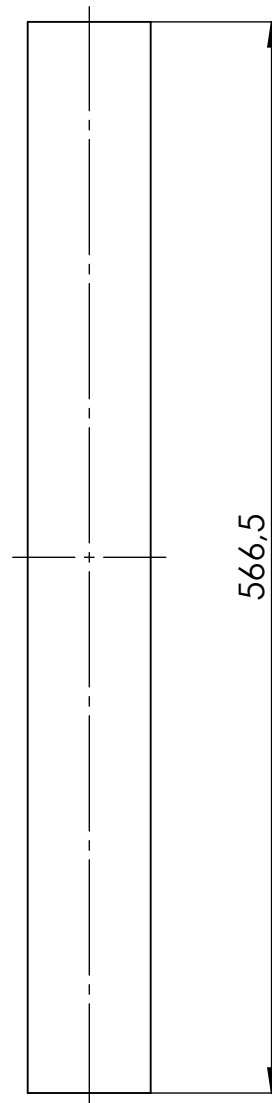
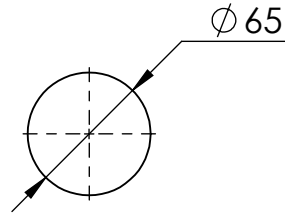
2	Trava do retentor	A27	Aço 1.0577	23		0.07	F. Ramada. S.A
1	Chaveta	DIN 6885 A	Aço 1.1192	22			Norelem
4	Parafuso M12	DIN 933	Aço	21			Norelem
4	Parafuso M8 x 40	DIN 933	Aço	20			Norelem
15	Parafuso M8 x 25	DIN 933	Aço	19			Norelem
4	Porca M12	DIN 934	Aço	18			Norelem
22	Porca M8	DIN 934	Aço	17			Norelem
4	Anilha M12	DIN 127	Aço Inox	16			Wurth
22	Anilha M8	DIN 127	Aço Inox	15			Wurth
2	Parafuso limitador		Aço	14			Norelem
1	Grelha	A25	AlSi 4337	13		8.1	F. Ramada. S.A
1	Porta	A23	Aço 1.0577	12		0.6	F. Ramada. S.A
2	Retentor	DIN 3760	Vários	11			Norelem
5	Suporte antivibrações	DIN 1.4401	Vários	10			Manutan
1	Gaveta	A26	Aço 1.0577	9		2.9	F. Ramada. S.A
2	Rolamento			8		1	SKF
2	Chumaceira			7		3.4	SKF
1	Motor			6			SEW
1	Proteção da correia de transmissão	B4	Aço 1.0577	5		7.5	F. Ramada. S.A
1	Sistema de transmissão	B3	Vários	4			F. Ramada. S.A
1	Rotor	B2	Vários	3		43.4	F. Ramada. S.A
1	Tampa conjunto	B5	Vários	2		81.9	F. Ramada. S.A
1	Corpo conjunto + tremonha	B6	Aço 1.0577	1		81.3	F. Ramada. S.A
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA NºDO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO	PESO	OBSERVAÇÕES

Projectou		2022-02-25	FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21	<b>Daniel Lajas 51962 MIEMc</b>
Desenhou		2022-02-25		
Verificou		2022-02-25		
Escalas		1:9		<b>Moinho de martelos</b>
Toleran.				
				<b>B0</b>

Projectou		2021-10-29
Desenhou		2021-10-29
Verificou		2021-10-29

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



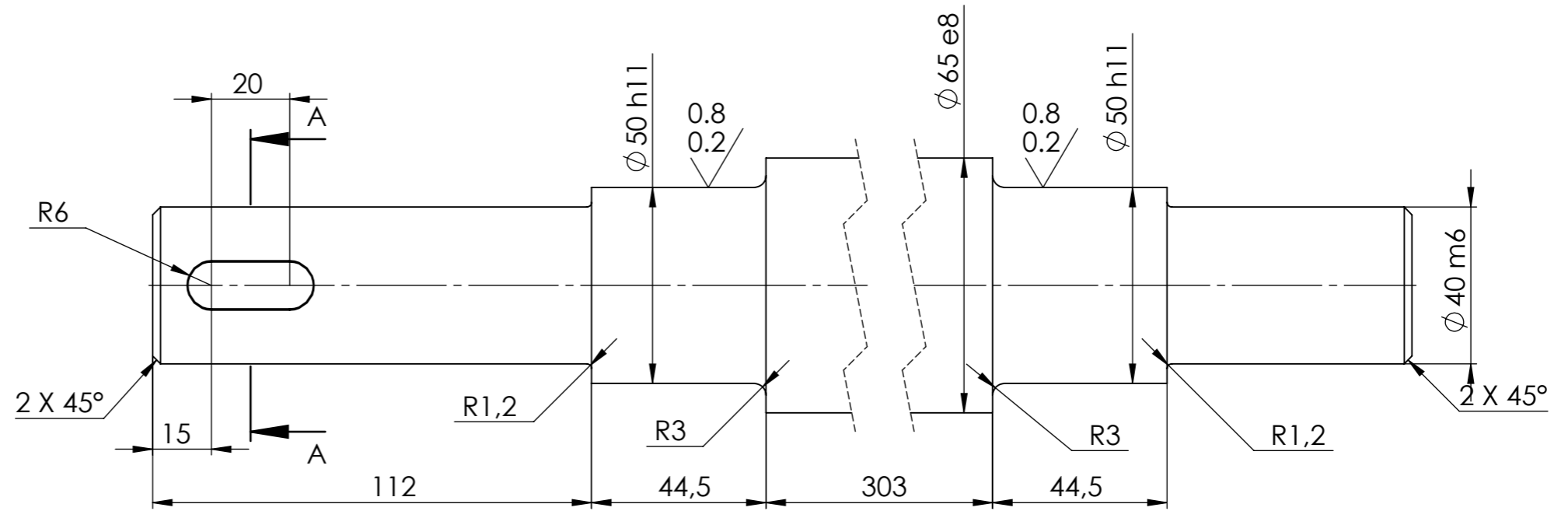
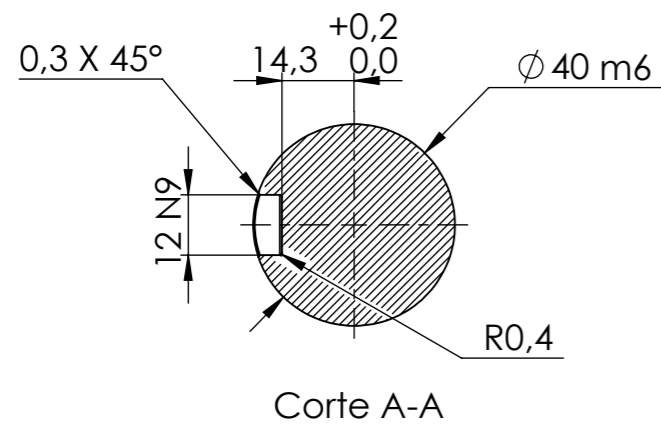
1:4

Veio

A0

Substitui:

Substituído:

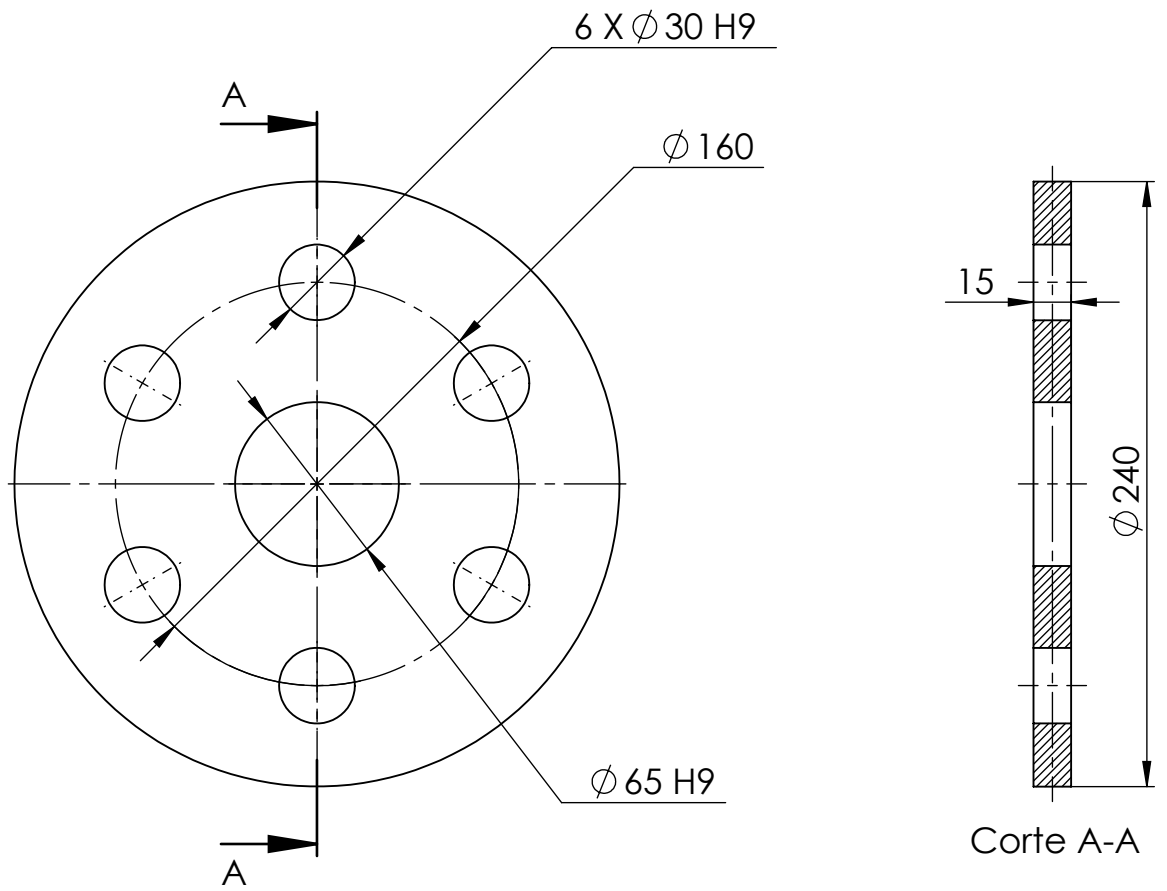


Projectou	2022-02-18	FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21	<b>Daniel Lajas 51962 MIEMc</b>
Desenhou	2022-02-18		
Verificou	2022-02-18		
Escalas		<b>Veio</b>	A1
1:2			
Tolerâncias			

Projectou		2021-10-29
Desenhou		2021-10-29
Verificou		2021-10-29

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



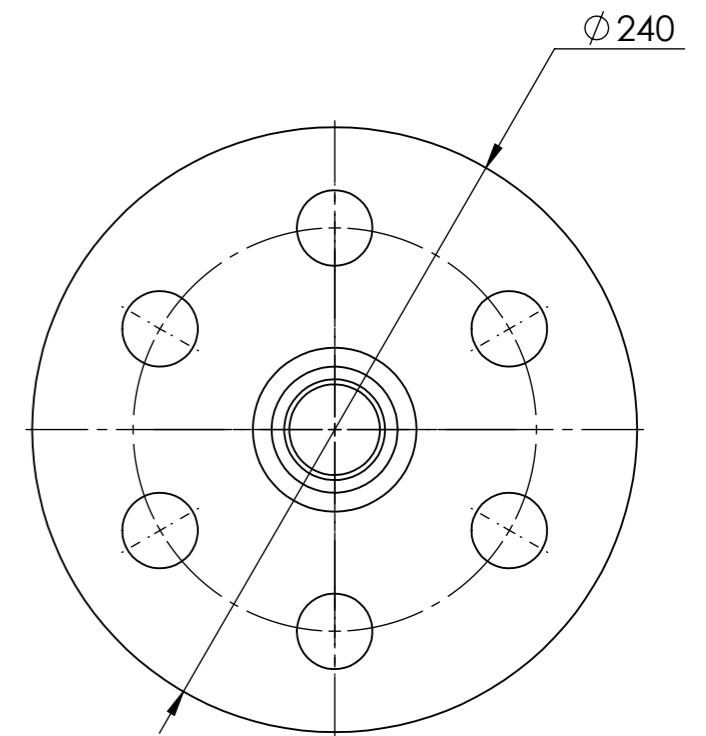
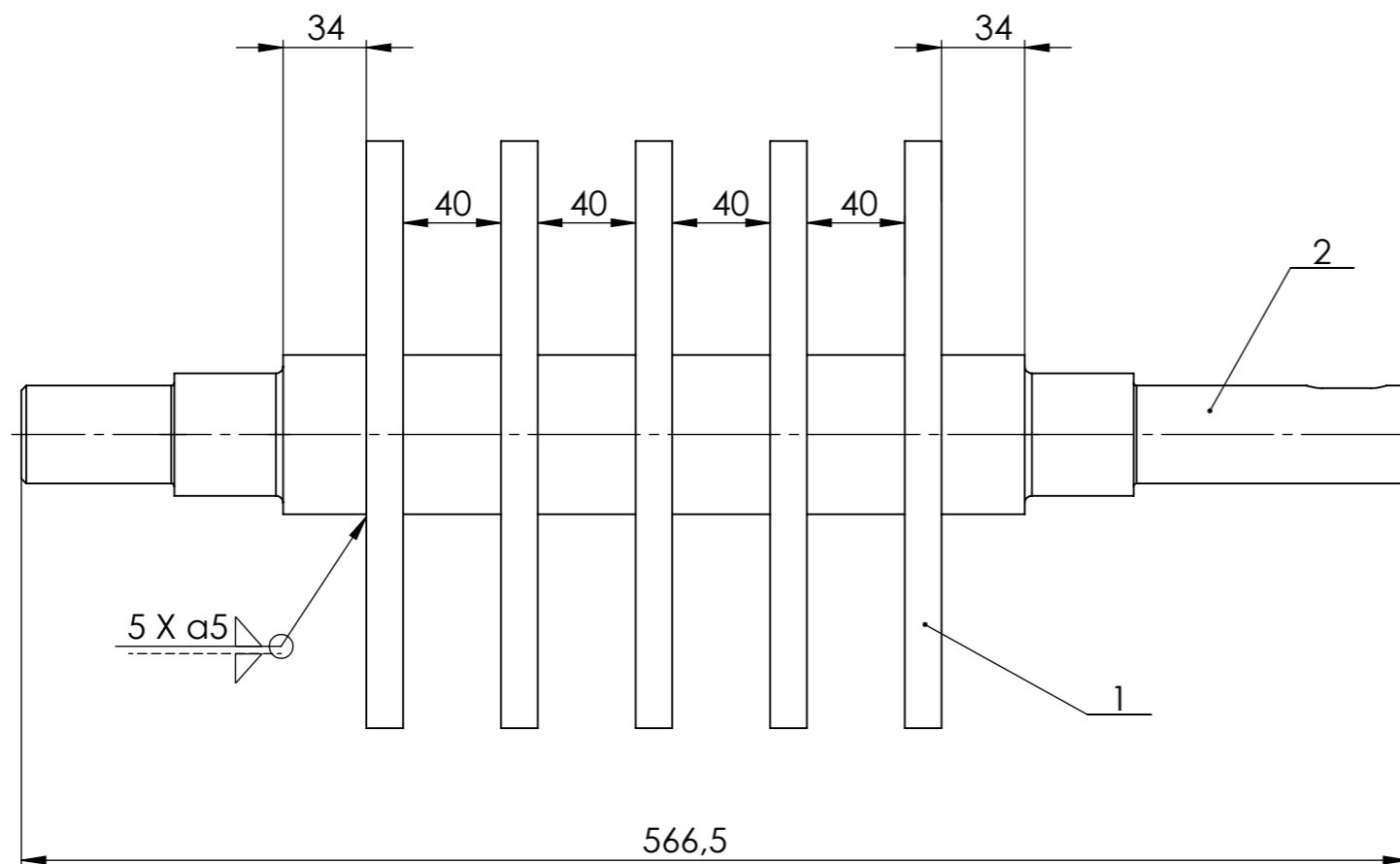
1:3

Disco

A2

Substitui:

Substituido:



**Montagem:**

- 1º - Soldar os discos no veio de 65 mm (desenho A0);
- 2º - Fazer um tratamento térmico ao veio e aos discos já soldados, de modo a aliviar as tensões;
- 3º - Maquinar o veio de acordo com o desenho A1.

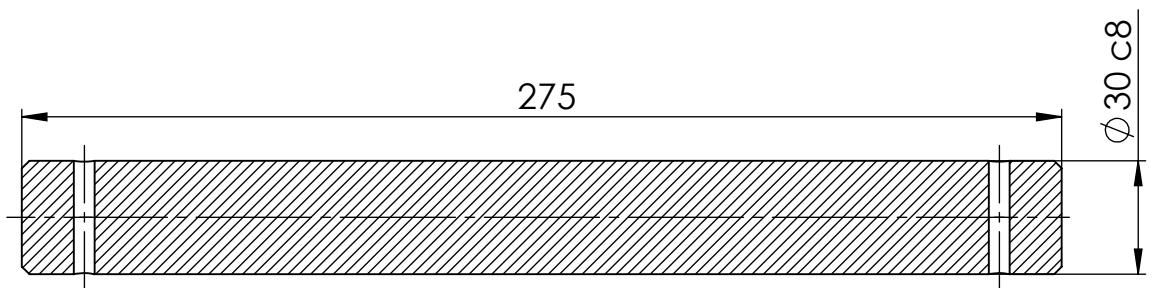
**Nota:** Caso não seja possível soldar todos os discos em ambos os lados, é suficiente soldar apenas um dos lados.

1	Veio	A0	AlSi 4337	2		14.7	F. Ramada. S.A								
5	Disco	A2	Aço 1.0577	1		4.4	F. Ramada. S.A								
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA NºDO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO	PESO	OBSERVAÇÕES								
		Projectou	2021-10-29	FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21		<b>Daniel Lajas 51962 MIEMc</b>									
		Desenhou	2021-10-29	Moinho de martelos											
		Verificou	2021-10-29												
		Escalas	1:3		<b>Veio + Discos</b>										
		Toleran.													
					B1										
					<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>										

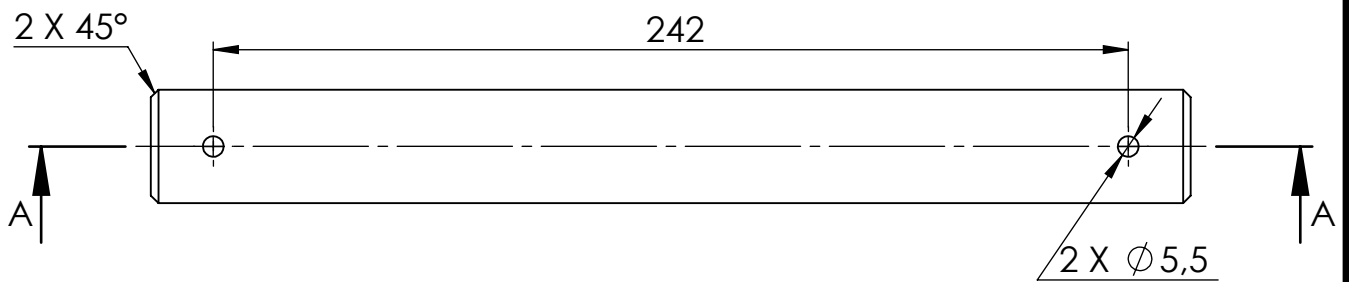
Projectou		2021-10-29
Desenhou		2021-10-29
Verificou		2021-10-29

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



Corte A-A



1:2

Eixo do martelo

A3

Substitui:

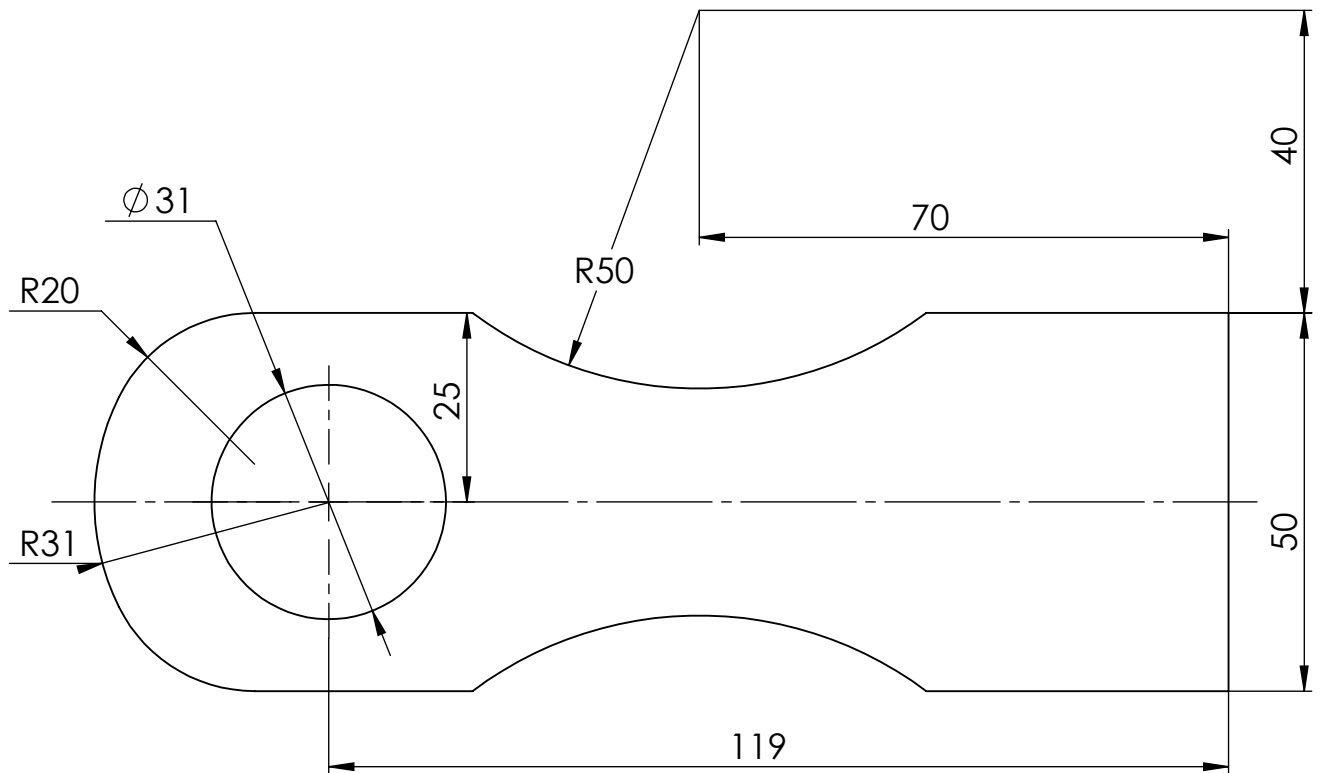
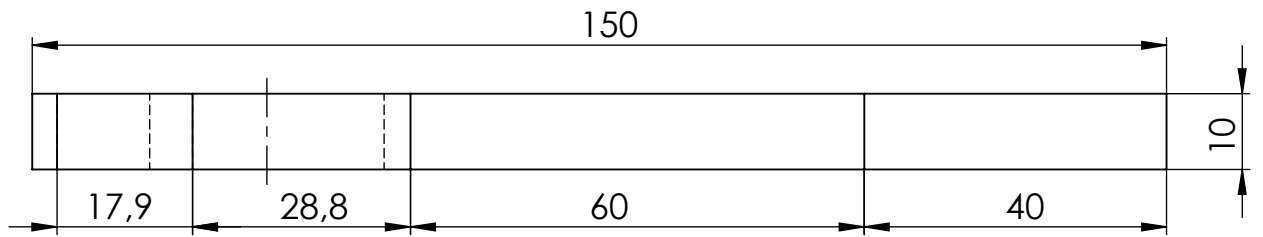
Substituído:



Projectou		2021-10-29
Desenhou		2021-10-29
Verificou		2021-10-29

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



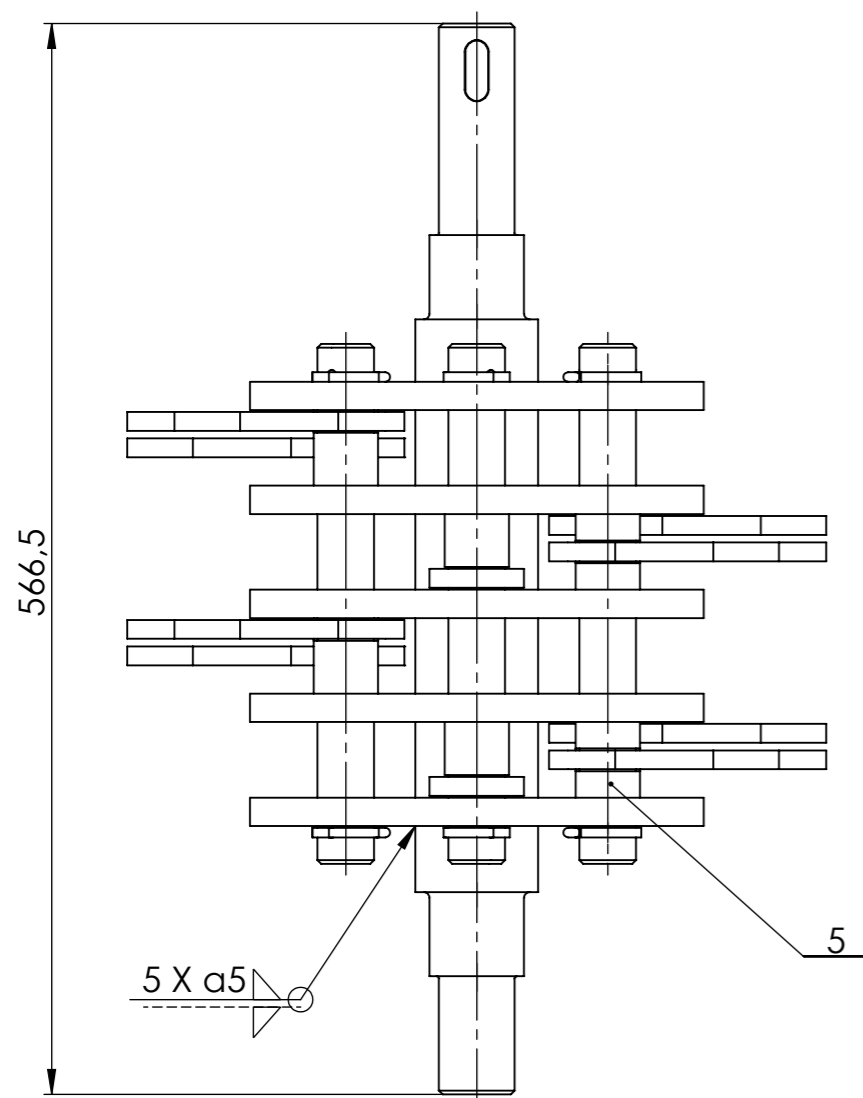
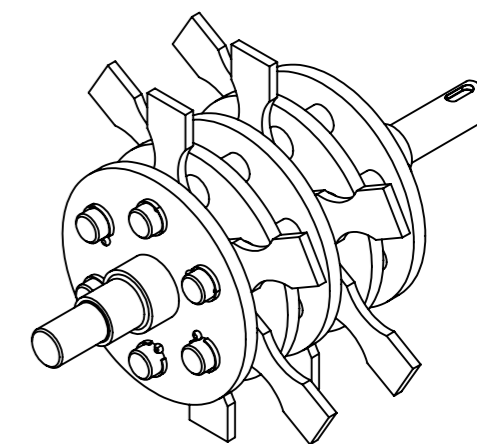
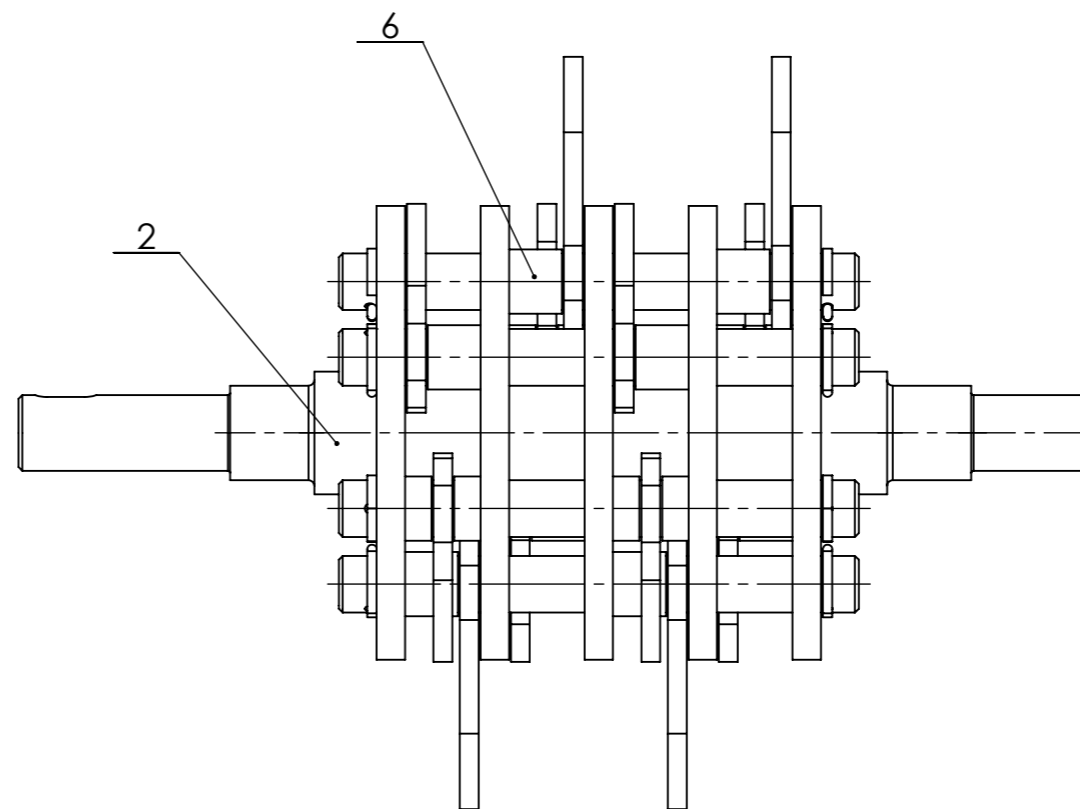
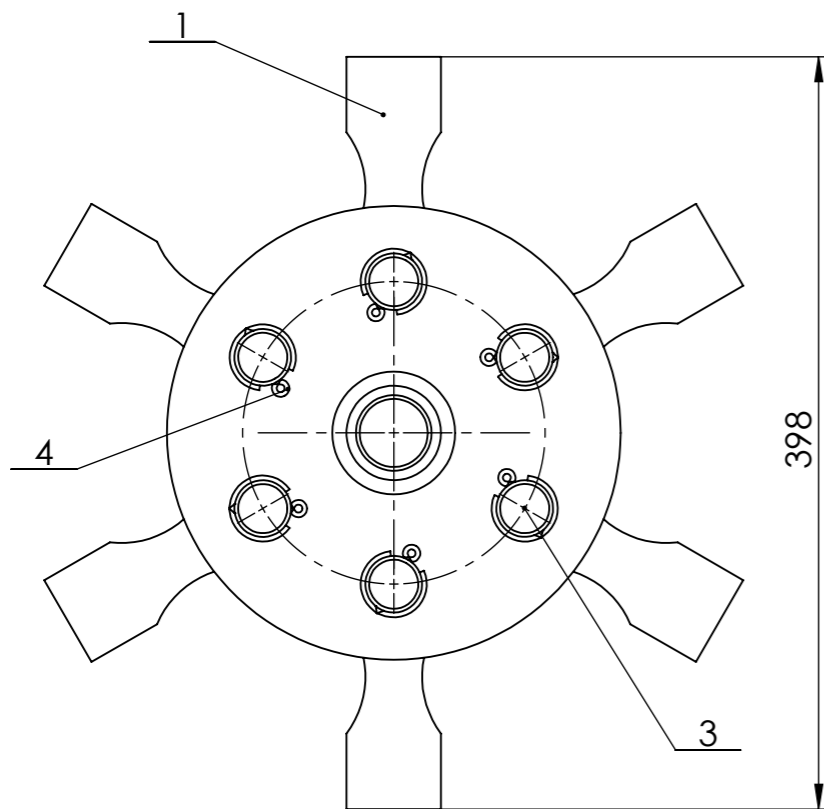
1:1

Martelo

A4

Substituí:

Substituído:



**Referências para aquisição:**

Item N°5: 07336-2050X63  
 Item N°6: EGB3015-E40  
 Item N°7: EGB3015-E50

**Montagem:**

1º- Montar os eixos nos furos dos discos, com os casquilhos e os martelos;  
 2º- Fixar os eixos com as cupilhas.

8	Casquilhos		Aço	6		0.04	Schaeffler
8	Casquilhos		Aço	5		0.02	Schaeffler
12	Cupilha	DIN ES ISO 1234	Aço 1.4310	4			Norelem
6	Eixo martelo	A3	AISI 4337	3		1.5	F. Ramada. S.A
1	Veio + Discos	B1	Vários	2		33	F. Ramada. S.A
12	Martelo	A4	AISI A128	1		0.45	F. Ramada. S.A
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA NºDO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO	PESO	OBSERVAÇÕES

**ALTERAÇÕES:** Necessário reduzir o comprimento do item N° 6 em 1mm e do item N°7 em 2mm.

Projectou	2021-10-29
Desenhou	2021-10-29
Verificou	2021-10-29

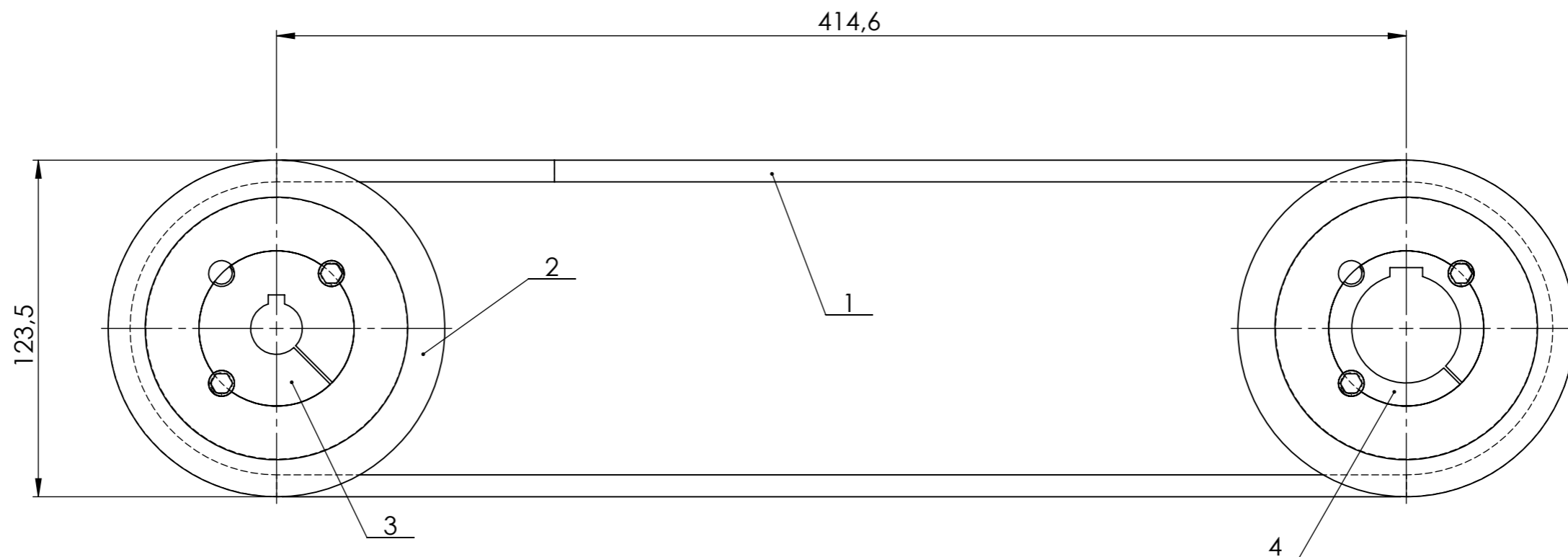
FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21  
**Moinho de martelos**

**Daniel Lajas 51962 MIEMc**

Escalas  
1:4  
1:8  
Toleran.

**Rotor**

B2



**Rerências para aquisição:**

Item Nº1: 22071-21200  
 Item Nº2: 22070-21181  
 Item Nº3: 23200-0571925  
 Item Nº4: 23200-0574025

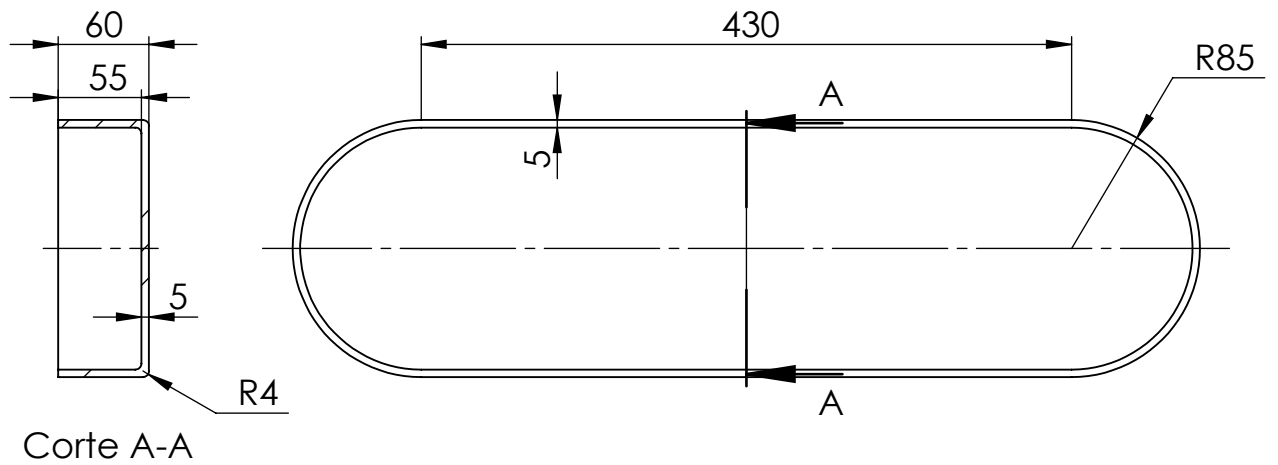
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA NºDO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO	PESO	OBSERVAÇÕES
1	Bucha veio	DIN 6855/1	Ferro fundido	4			Norelem
1	Bucha motor	DIN 6855/1	Ferro fundido	3			Norelem
2	Polia	DIN 2211	Ferro fundido	2			Norelem
1	Correia	DIN 2215	Neopropeno	1			Norelem

		Projectou	2021-11-07	FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21 Moinho de martelos		
		Desenhou	2021-11-07			
		Verificou	2021-11-07			
		<b>Sistema de transmissão</b>			<b>Daniel Lajas 51962 MIEMc</b>	
Escalas					<b>B3</b>	
1:2						
Toleran.						

Projectou		2021-10-29
Desenhou		2021-10-29
Verificou		2021-10-29

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

**Daniel Lajas 51962**  
**MIEMc**



1:5

Proteção da correia  
de transmissão

A5

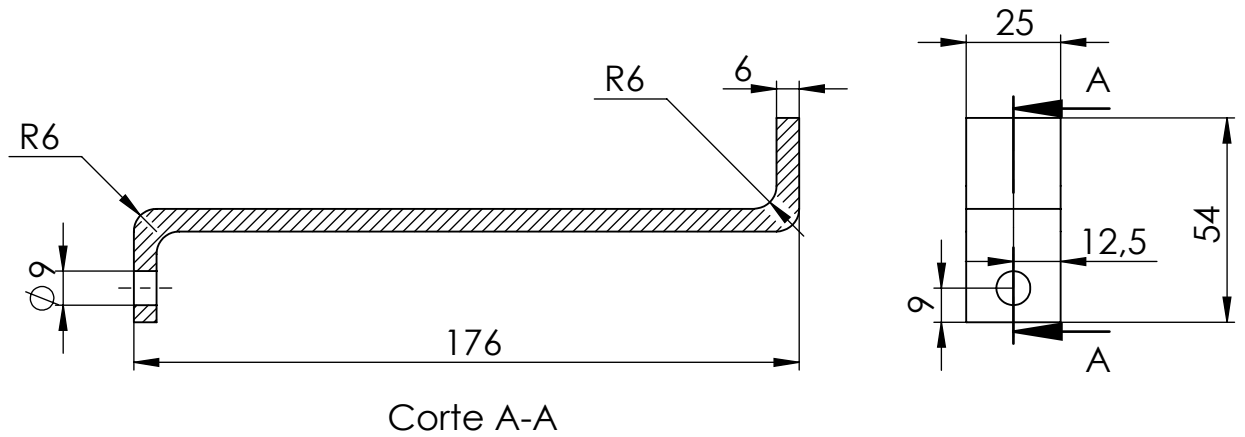
Substitui:

Substituído:

Projectou		2021-10-29
Desenhou		2021-10-29
Verificou		2021-10-29

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



1:2

Suporte superior da  
proteção da correia

A6

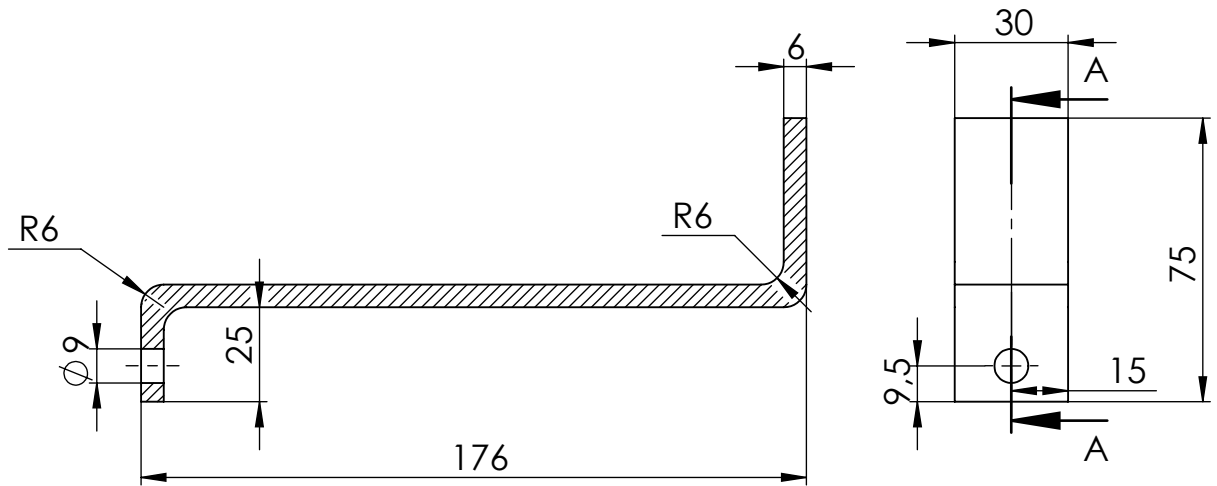
Substitui:

Substituído:

Projectou		2021-11-03
Desenhou		2021-11-03
Verificou		2021-11-03

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



Corte A-A

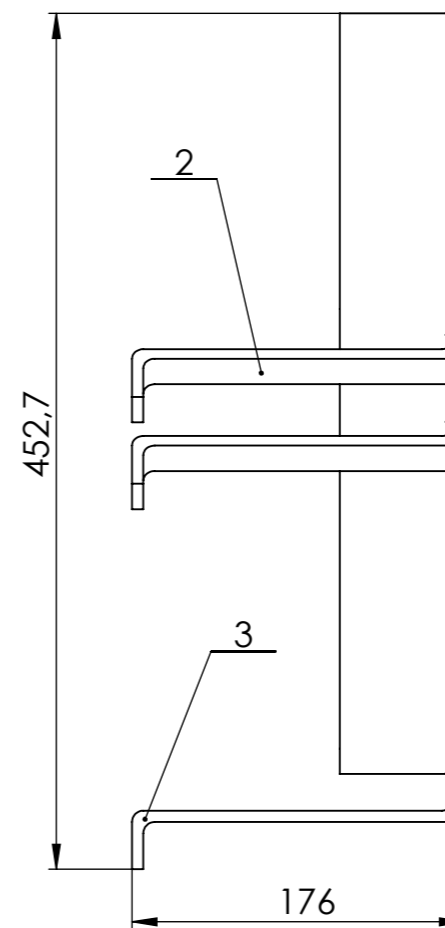
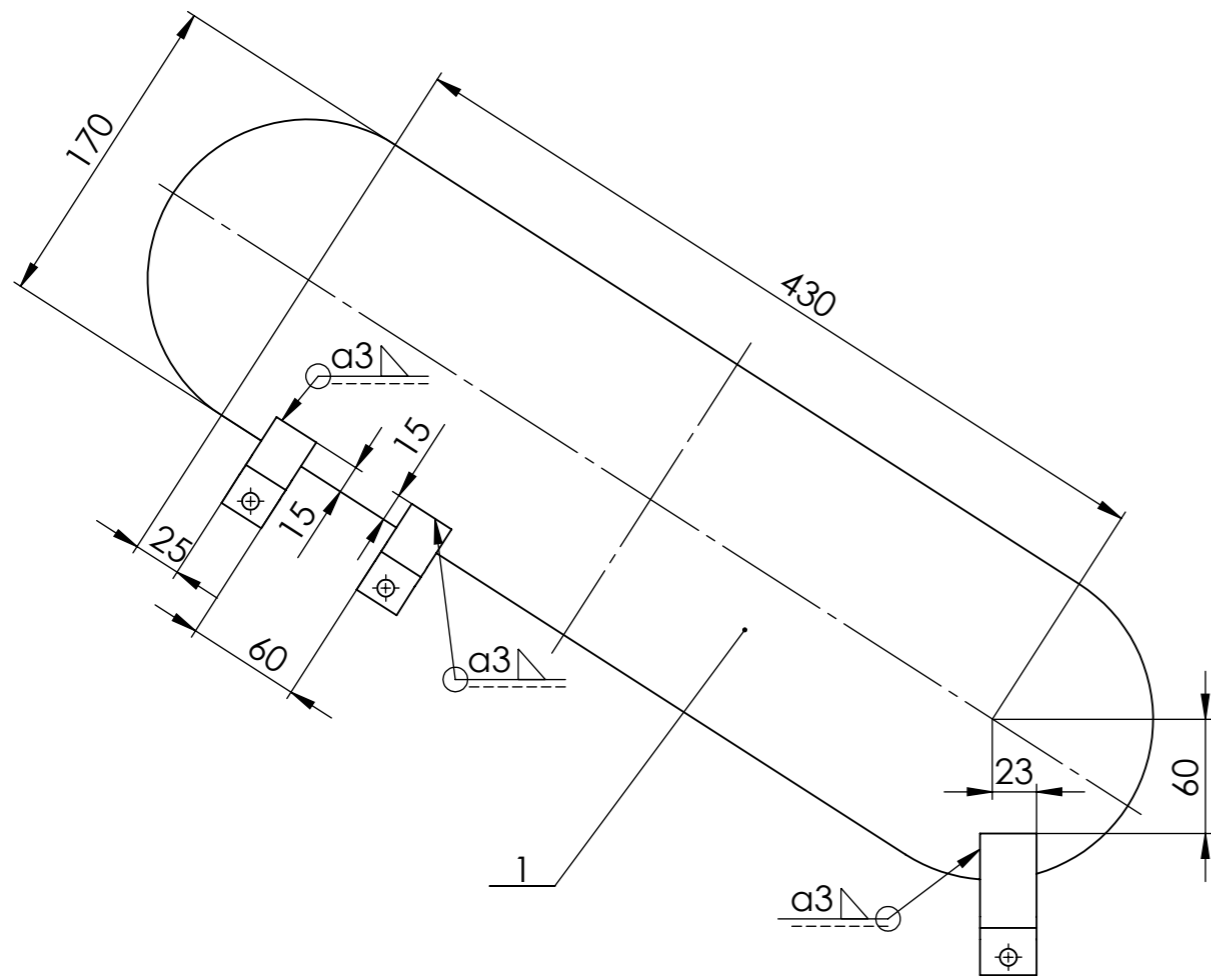
1:2

Suporte inferior da  
proteção da correia

A7

Substitui:

Substituído:



2	Suporte inf. proteção da correia	A7	Aço 1.0577	3		0.34	F. Ramada. S.A
1	Suporte sup. proteção da correia	A6	Aço 1.0577	2		0.26	F. Ramada. S.A
1	Proteção da correia de transmissão	A5	Aço 1.0577	1		6.7	F. Ramada. S.A
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA NºDO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO	PESO	OBSERVAÇÕES

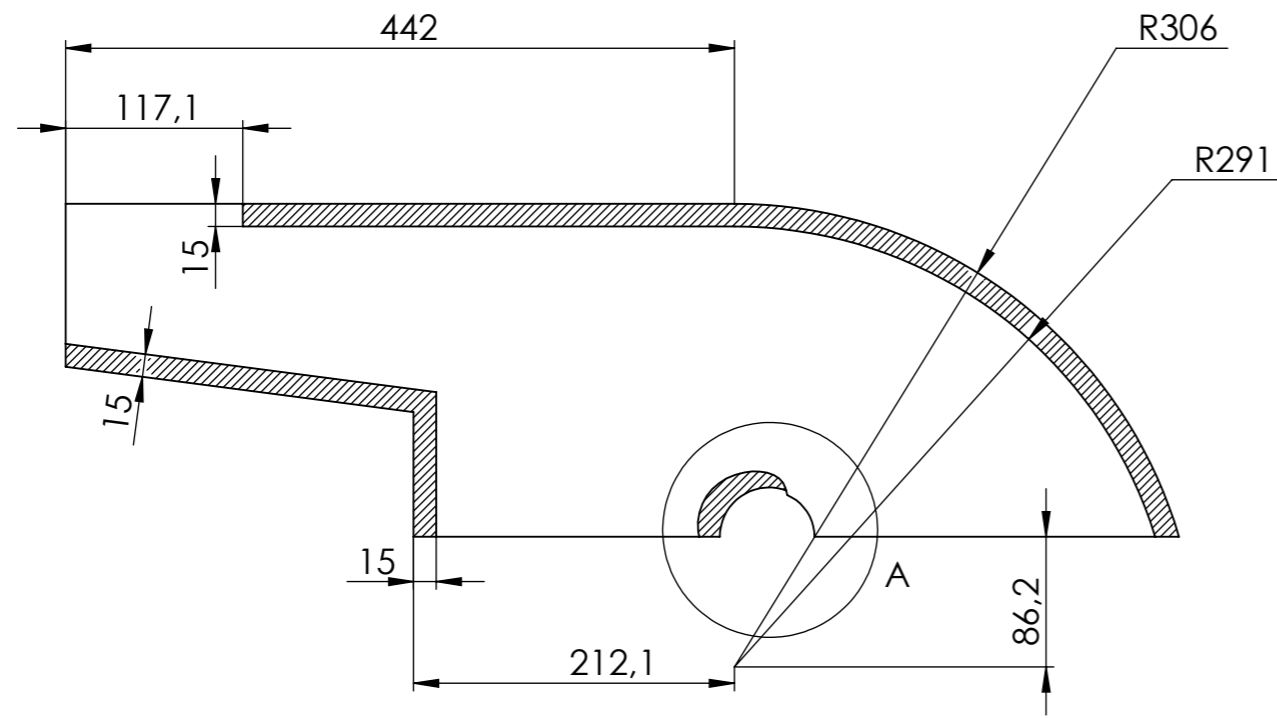
Projectou	2021-10-29	FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21 Moinho de martelos
Desenhou	2021-10-29	
Verificou	2021-10-29	

**Daniel Lajas 51962  
MIEMc**

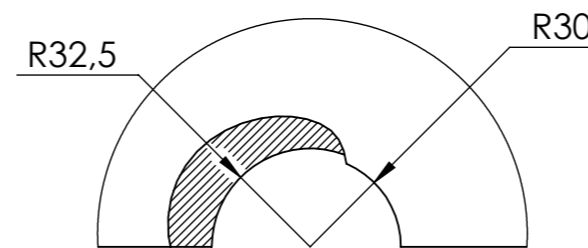
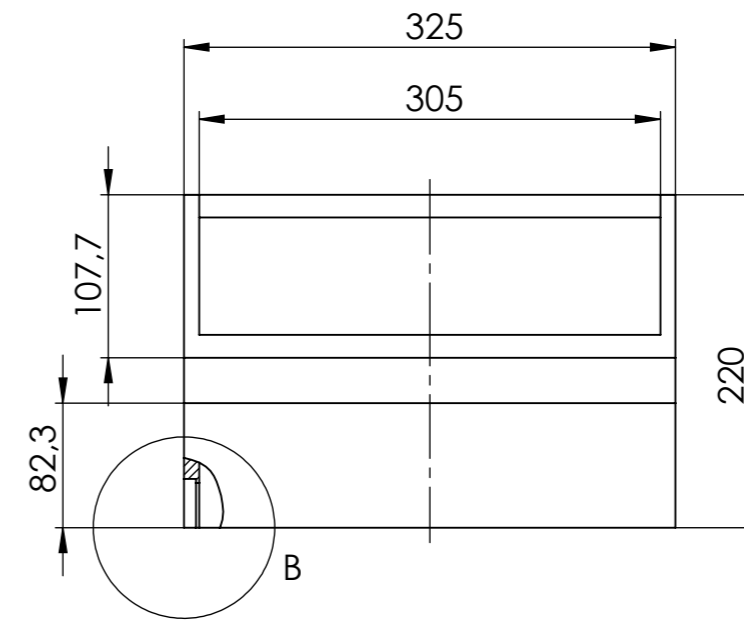
Escalas	1:4
Toleran.	

**Proteção da correia de transmissão conjunto**

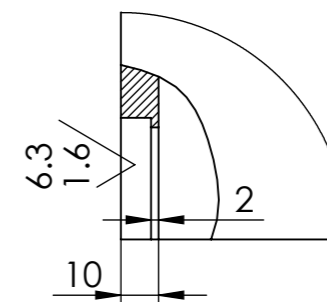
B4



CorteA-A

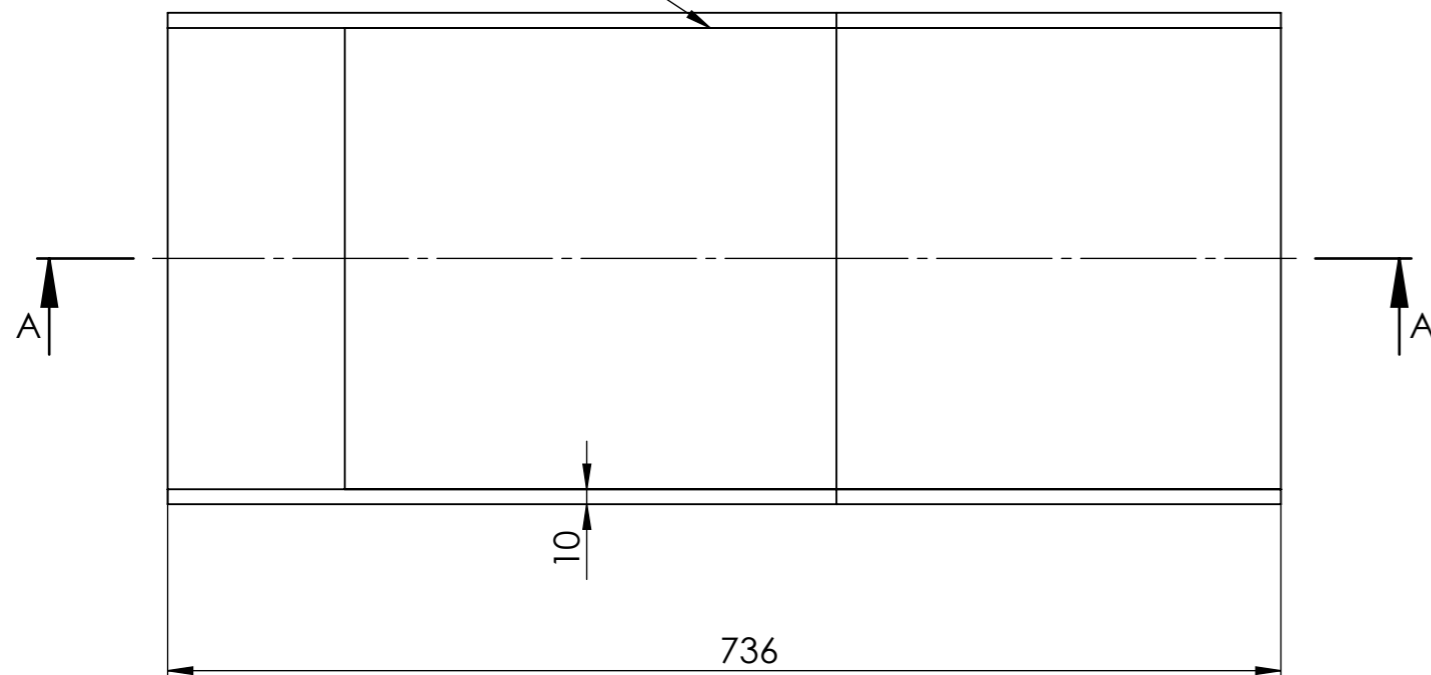


Pormenor A



Pormenor B

a6



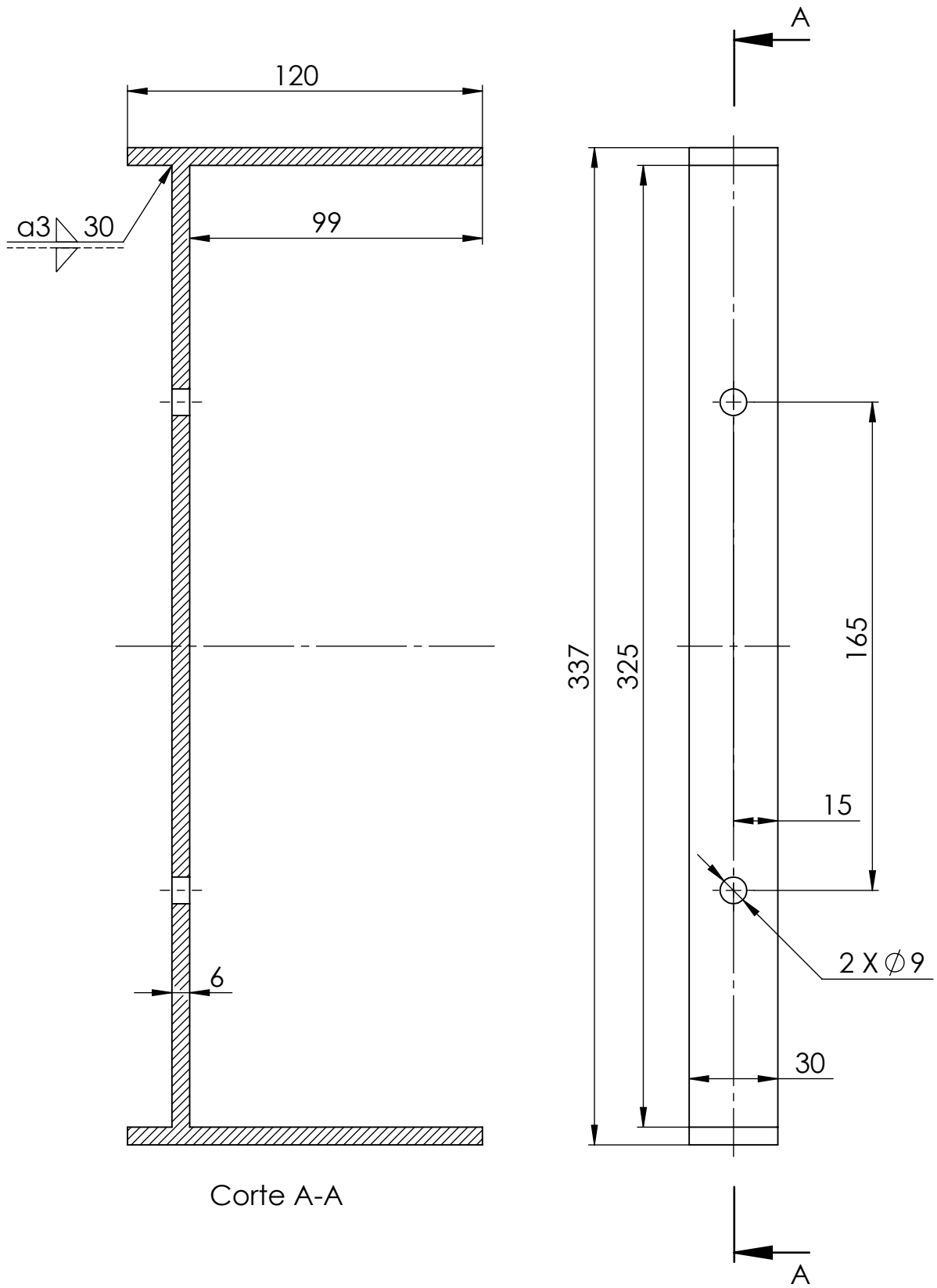
Projectou	2022-02-24	FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21 Moinho de martelos	Daniel Lajas 51962 MIEMc		
Desenhou	2022-02-24				
Verificou	2022-02-24				
Escalas	1:5 1:2	<b>Tampa</b>		A8	
Tolerâncias					



Projectou		2021-10-29
Desenhou		2021-10-29
Verificou		2021-10-29

FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



Corte A-A

1:2

Pega

A9

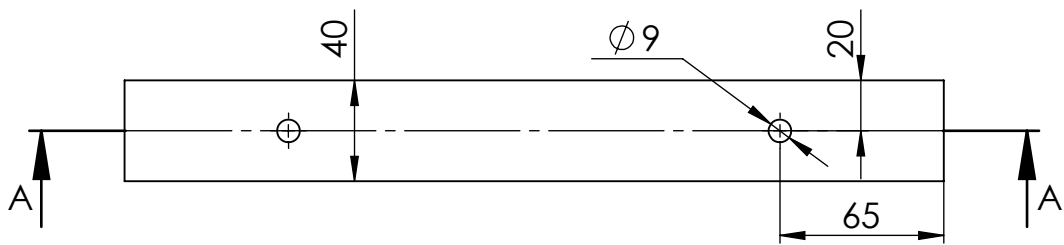
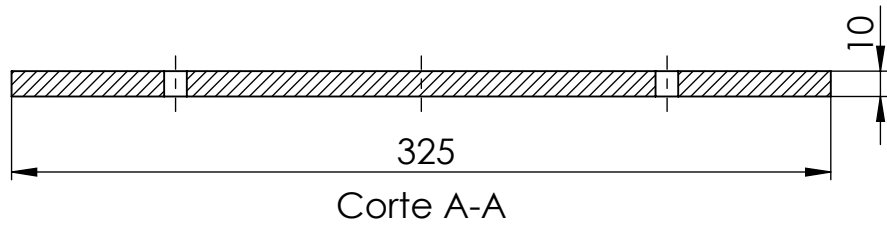
Substitui:

Substituido:

Projectou		2021-11-07
Desenhou		2021-11-07
Verificou		2021-11-07

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



1:3

Aba traseira

A10

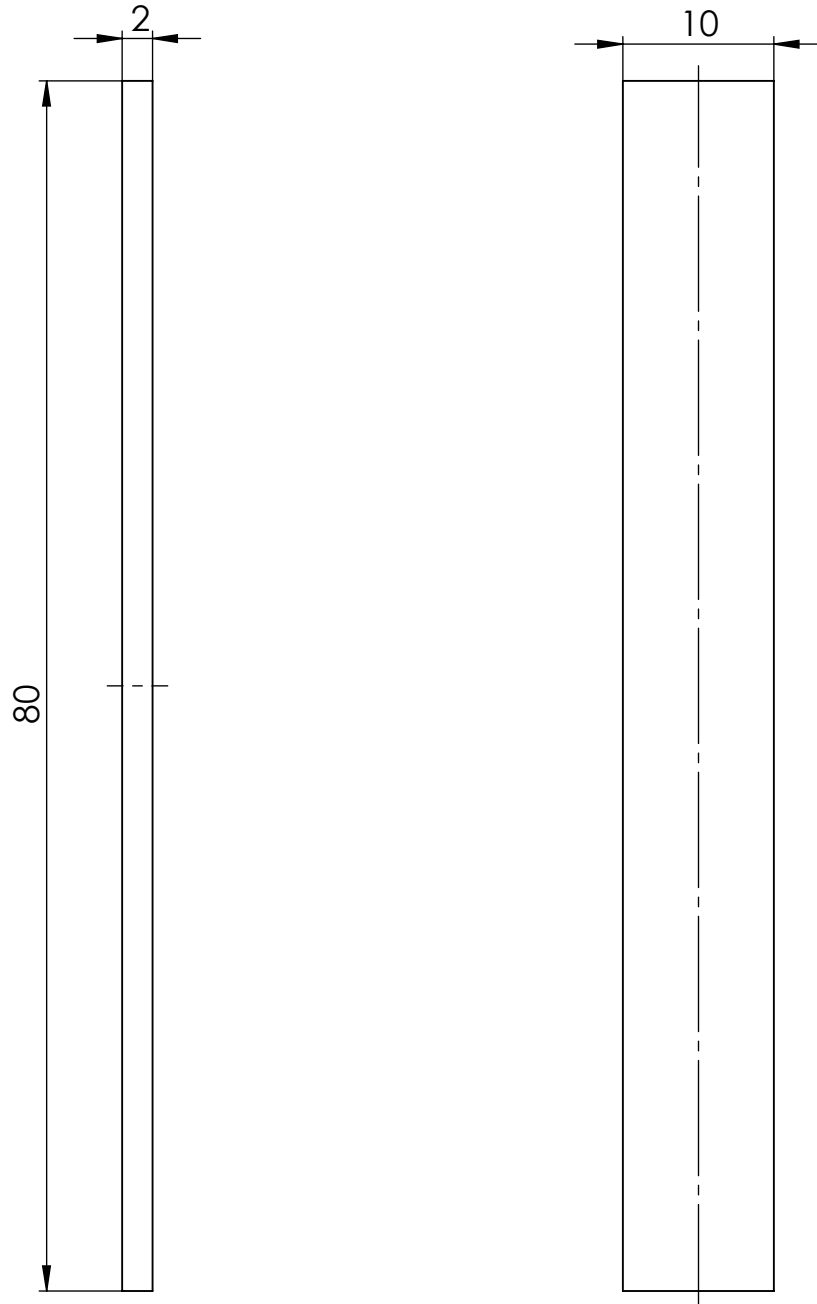
Substitui:

Substituído:

Projectou		2021-10-29
Desenhou		2021-10-29
Verificou		2021-10-29

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

**Daniel Lajas 51962**  
**MIEMc**



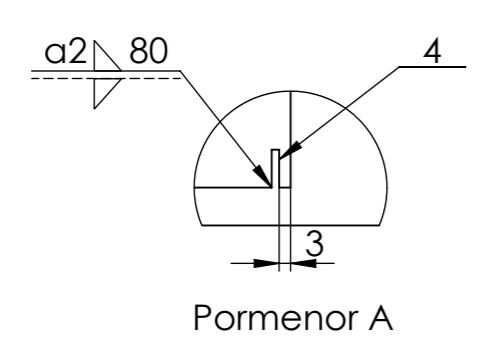
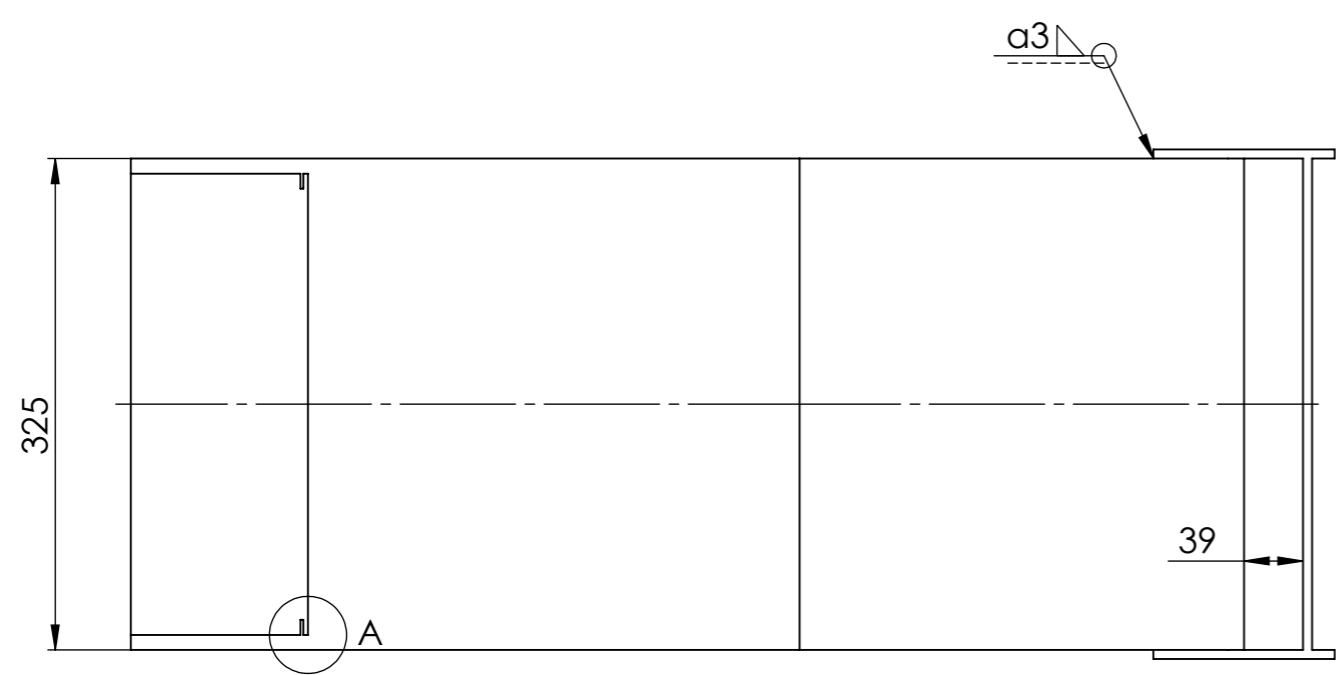
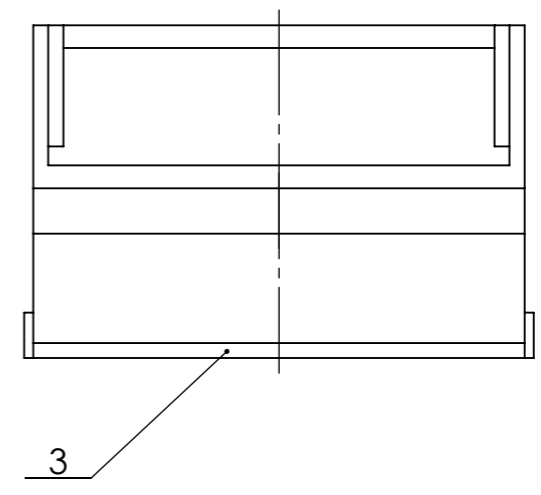
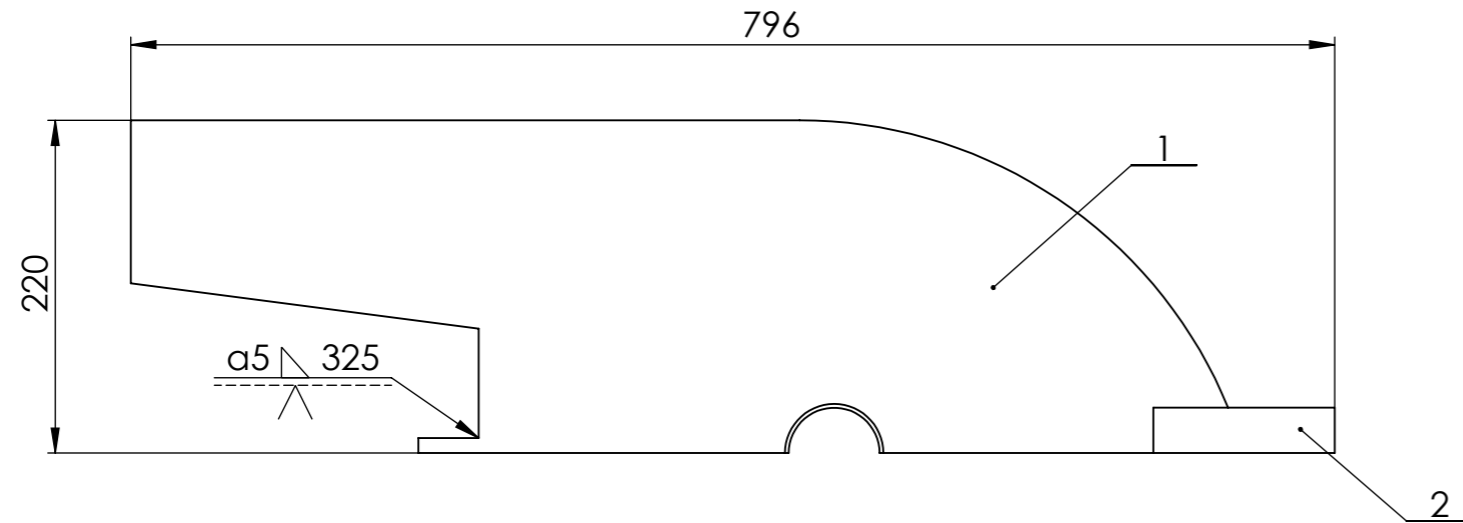
2:1

Guia da porta

A11

Substitui:

Substituído:



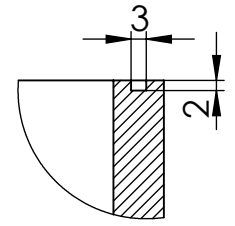
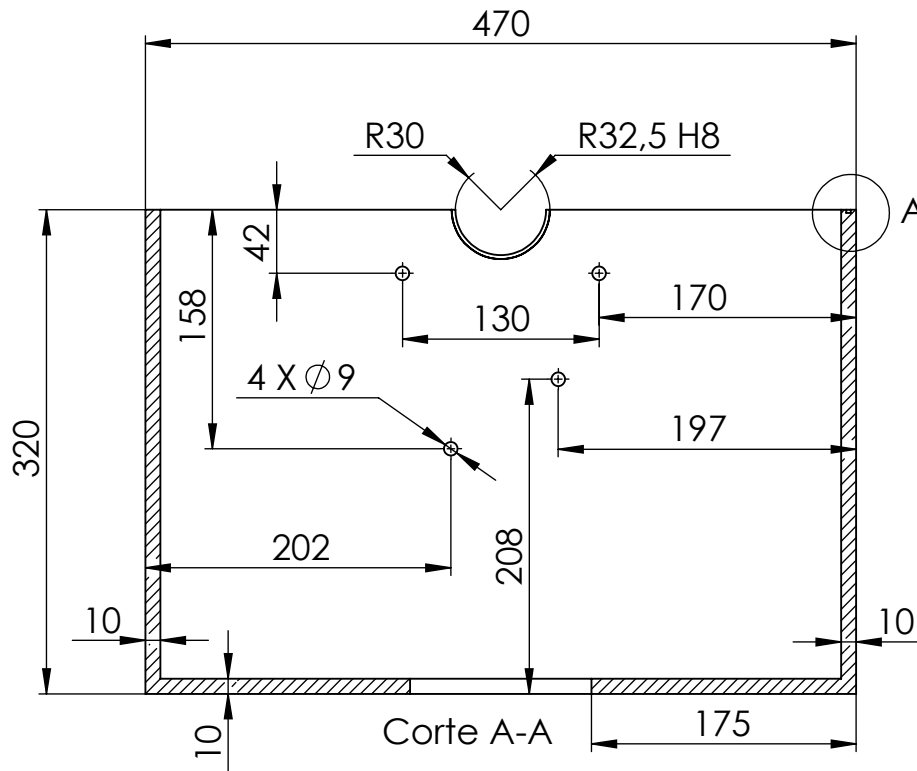
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA NºDO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO	PESO	OBSERVAÇÕES
2	Guia da porta	A11	Aço 1.0577	4		0.01	F. Ramada. S.A
2	Aba traseira	A10	Aço 1.0577	3		1	F. Ramada. S.A
1	Pega	A9	Aço 1.0577	2		0.8	F. Ramada. S.A
1	Tampa	A8	Aço 1.0577	1		77.9	F. Ramada. S.A

Projectou	2022-02-27	FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21	<b>Daniel Lajas 51962 MIEMc</b>	
Desenhou	2022-02-27			
Verificou	2022-02-27			
Escalas		<b>Tampa conjunto</b>	<b>B5</b>	
1:5				
1:2				
Tolerâncias				

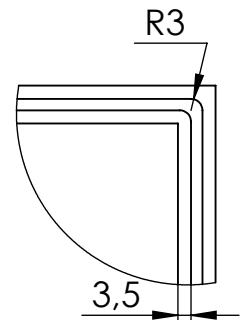
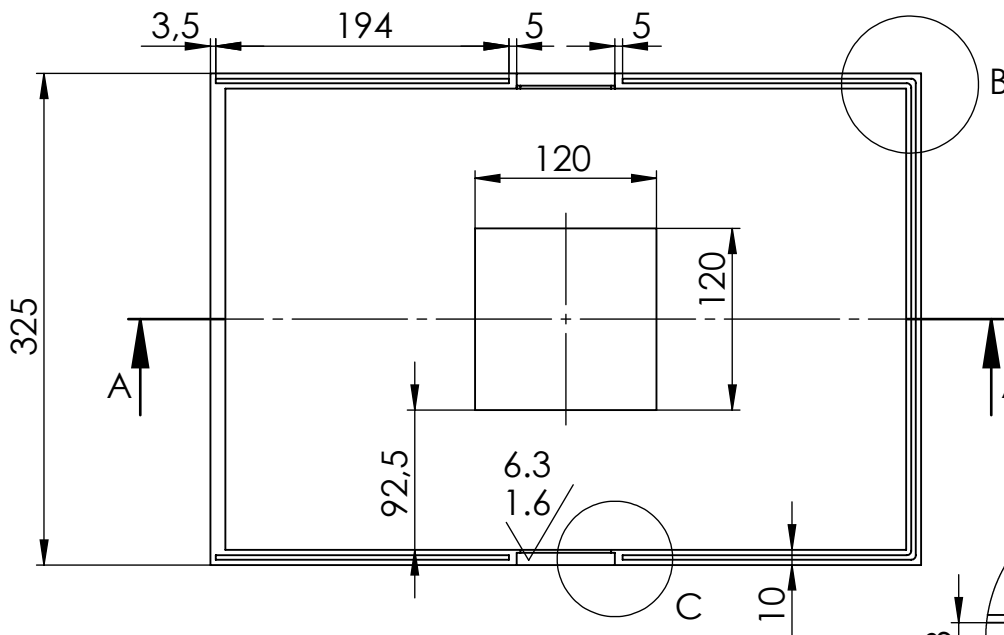
Projectou	2021-11-08
Desenhou	2021-11-08
Verificou	2021-11-08

FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

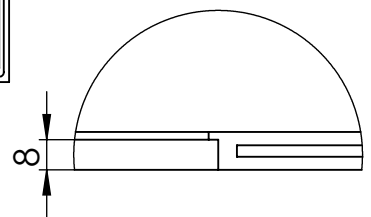
Daniel Lajas 51962  
MIEMc



Pormenor A



Pormenor B



Pormenor C

1:5

Corpo

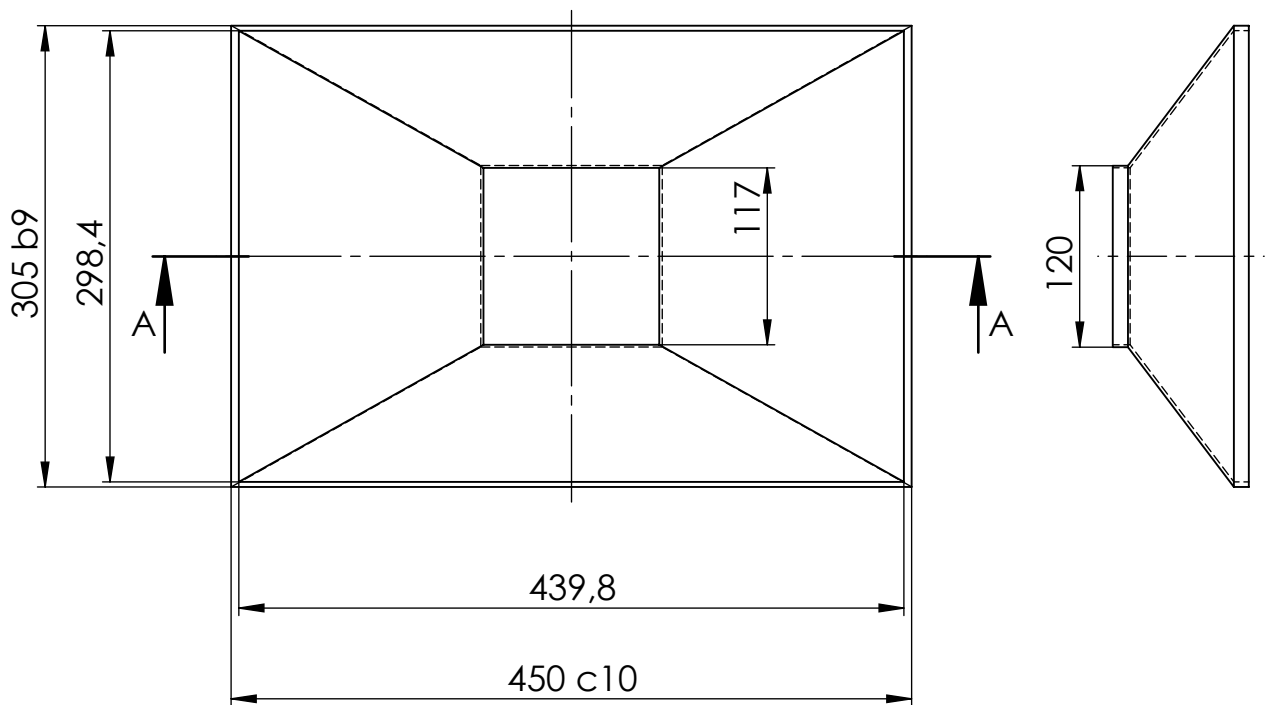
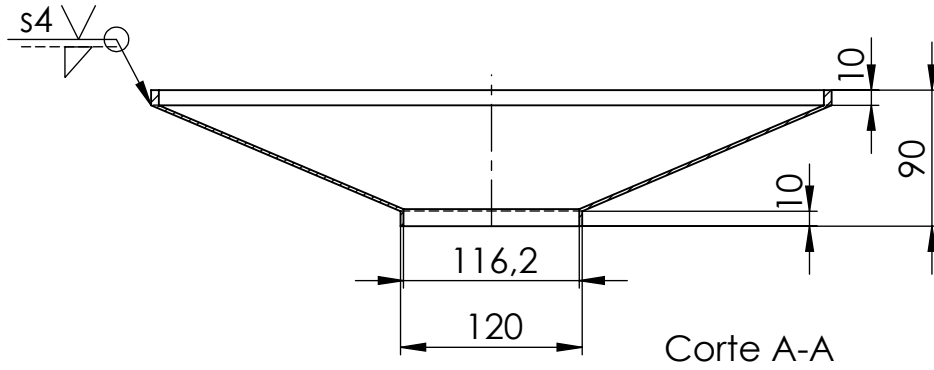
A12

Substitui:  
Substituído:

Projectou		2021-11-08
Desenhou		2021-11-08
Verificou		2021-11-08

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



1:5

Tremonha

A13

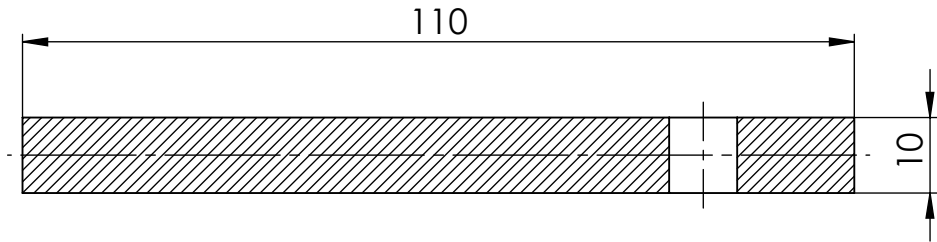
Substitui:

Substituído:

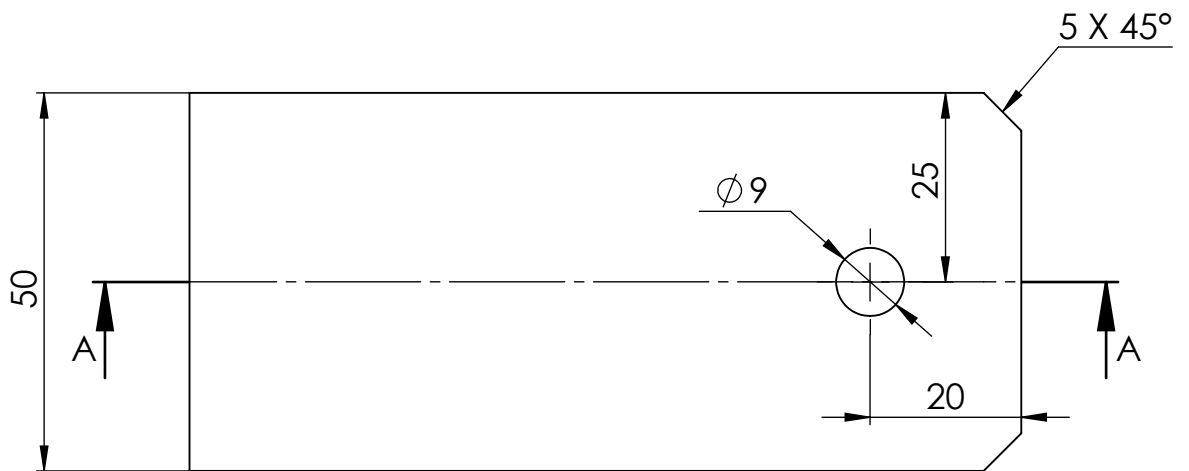
Projectou		2021-11-07
Desenhou		2021-11-07
Verificou		2021-11-07

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



Corte A-A



1:1

Pé

A14

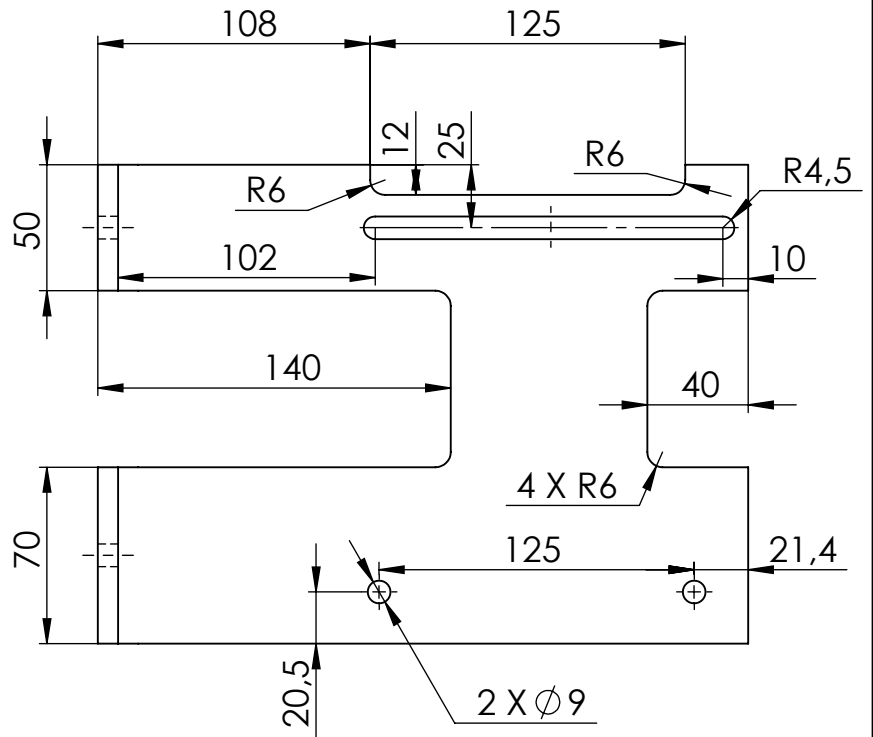
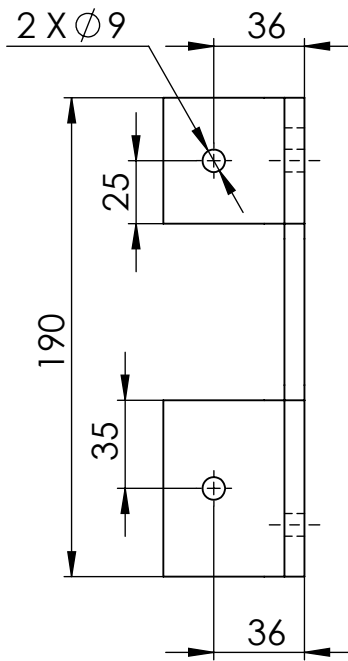
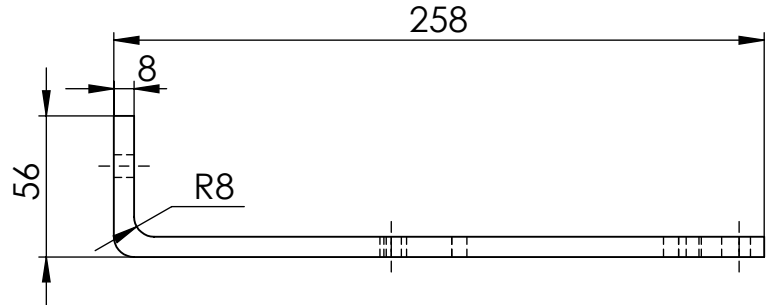
Substitui:

Substituído:

Projectou	2021-11-04
Desenhou	2021-11-04
Verificou	2021-11-04

FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



1:3

Suporte inferior do motor

A15

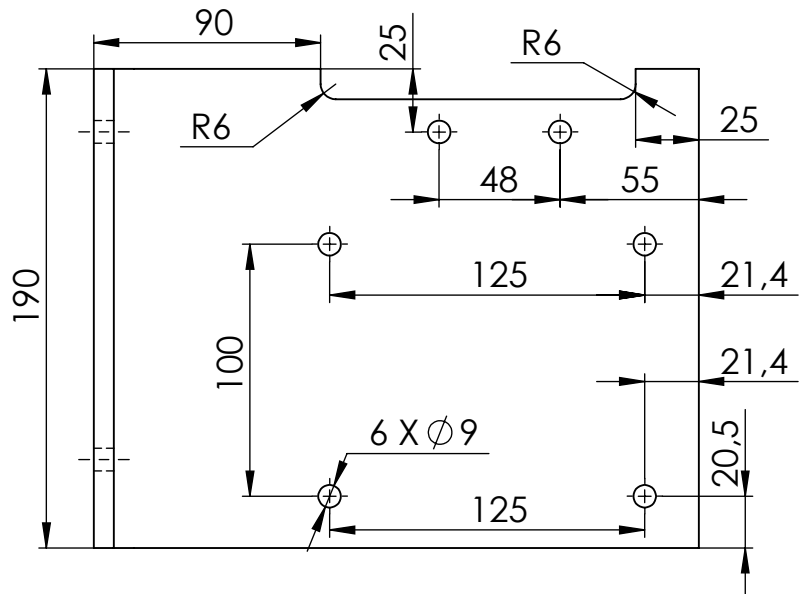
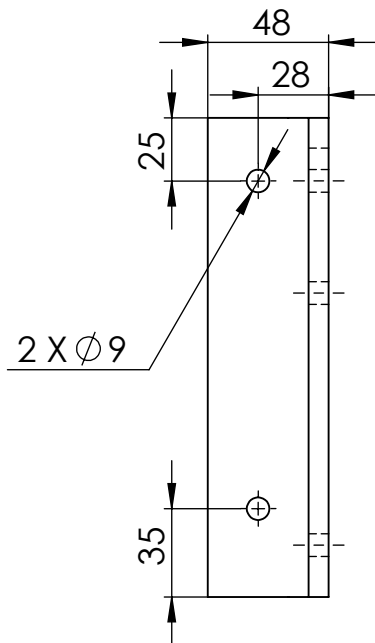
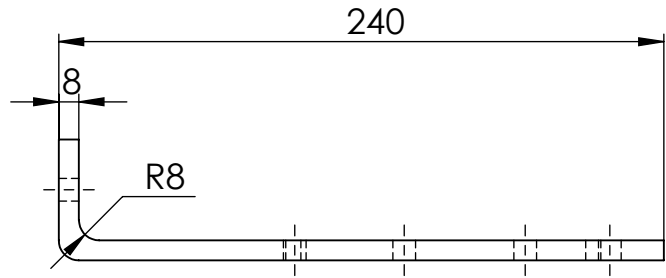
Substituí:  
Substituído:



Projectou		2021-11-04
Desenhou		2021-11-04
Verificou		2021-11-04

FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



1:3

Suporte superior do motor

A16

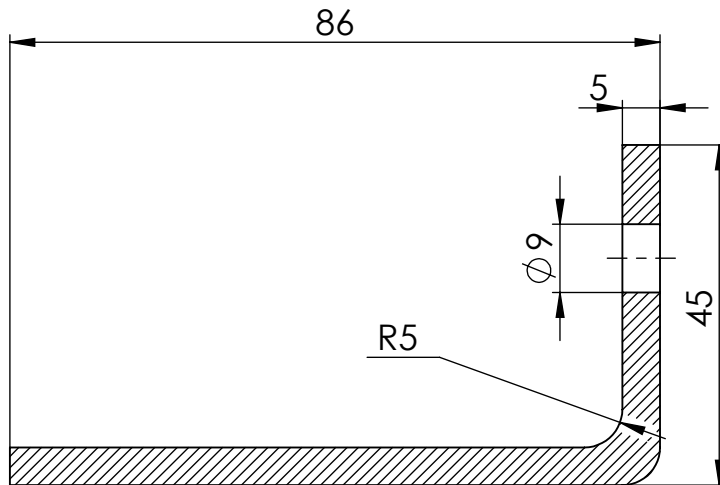
Substitui:

Substituído:

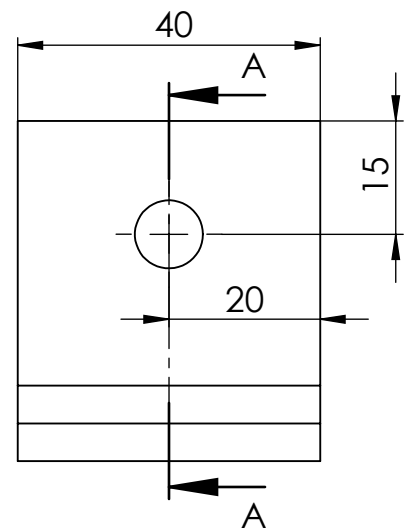
Projectou		2021-11-08
Desenhou		2021-11-08
Verificou		2021-11-08

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



Corte A-A



1:1

Suporte da  
pega

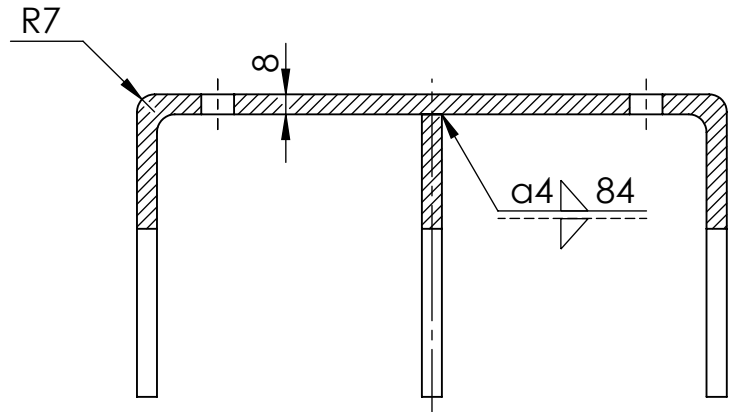
A17

Substitui:  
Substituido:

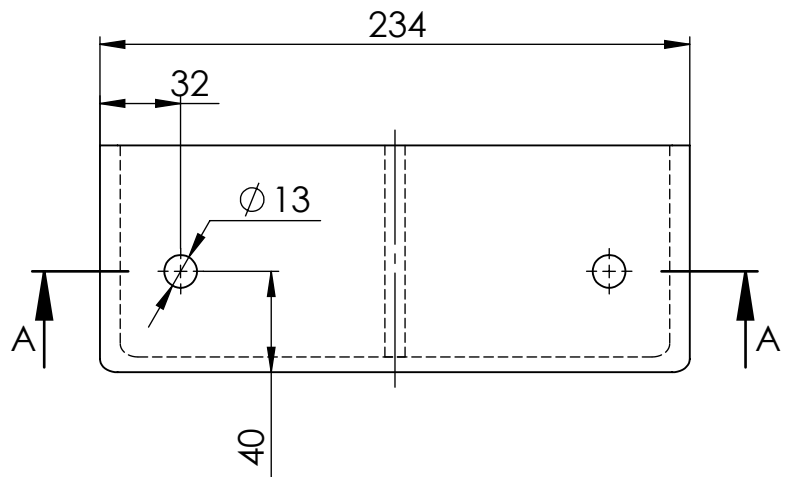
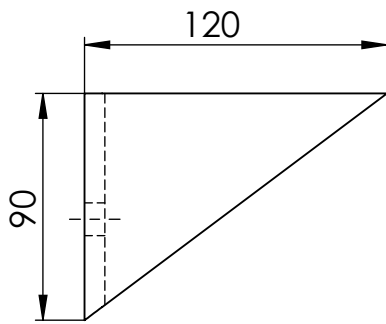
Projectou		2021-11-08
Desenhou		2021-11-08
Verificou		2021-11-08

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



Corte A-A



1:3

Suporte da  
chumaceira

A18

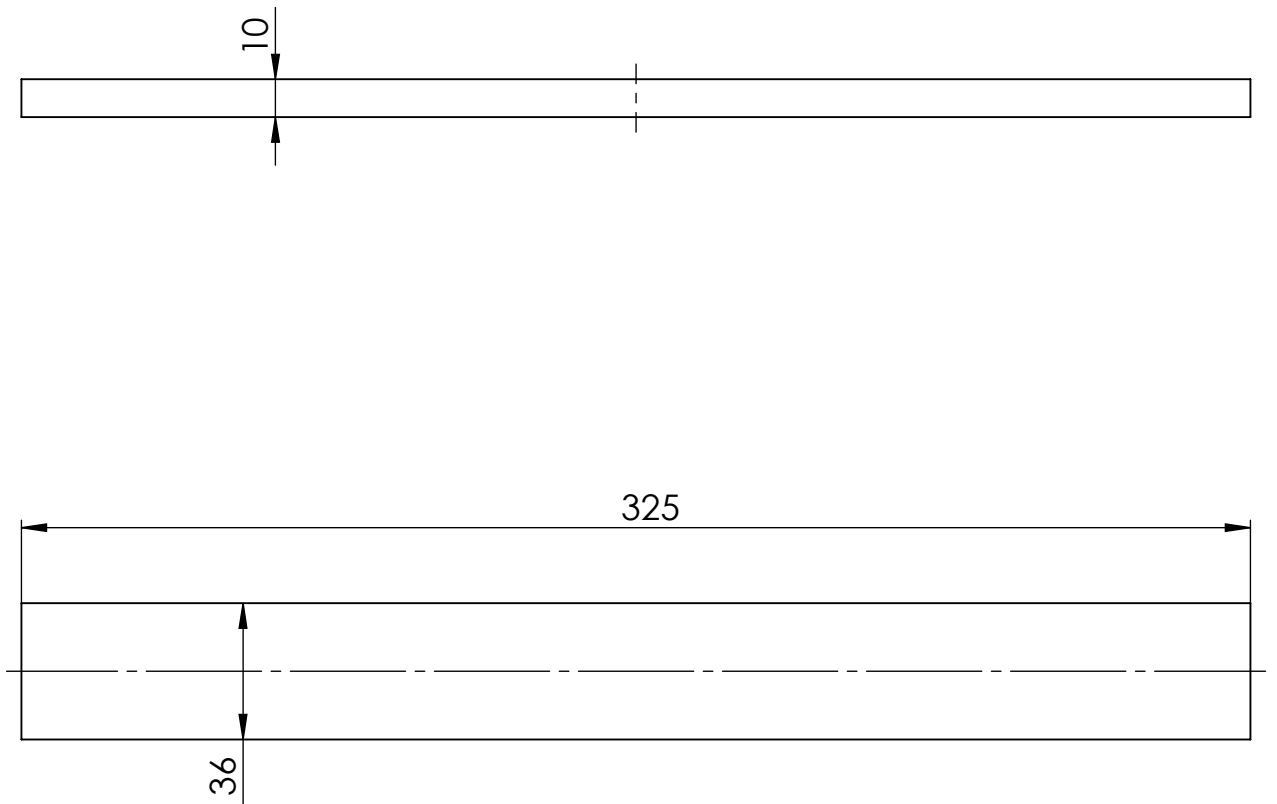
Substitui:

Substituído:

Projectou		2021-11-07
Desenhou		2021-11-07
Verificou		2021-11-07

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

**Daniel Lajas 51962**  
**MIEMc**



1:2

**Aba frontal**

A19

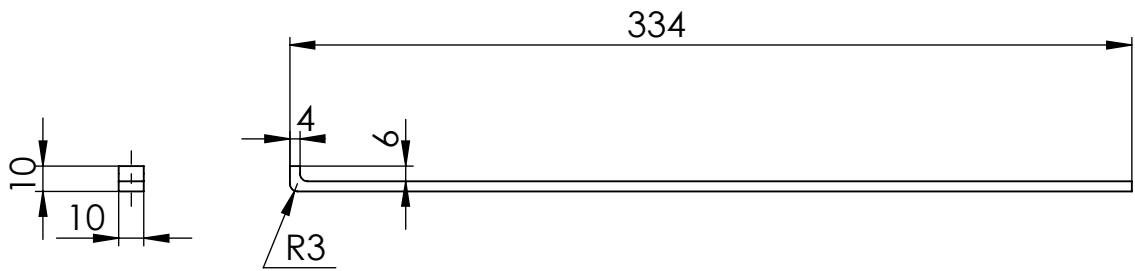
Substitui:

Substituído:

Projectou	2021-11-08
Desenhou	2021-11-08
Verificou	2021-11-08

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

**Daniel Lajas 51962**  
**MIEMc**



1:3

Suporte da  
gaveta

A20

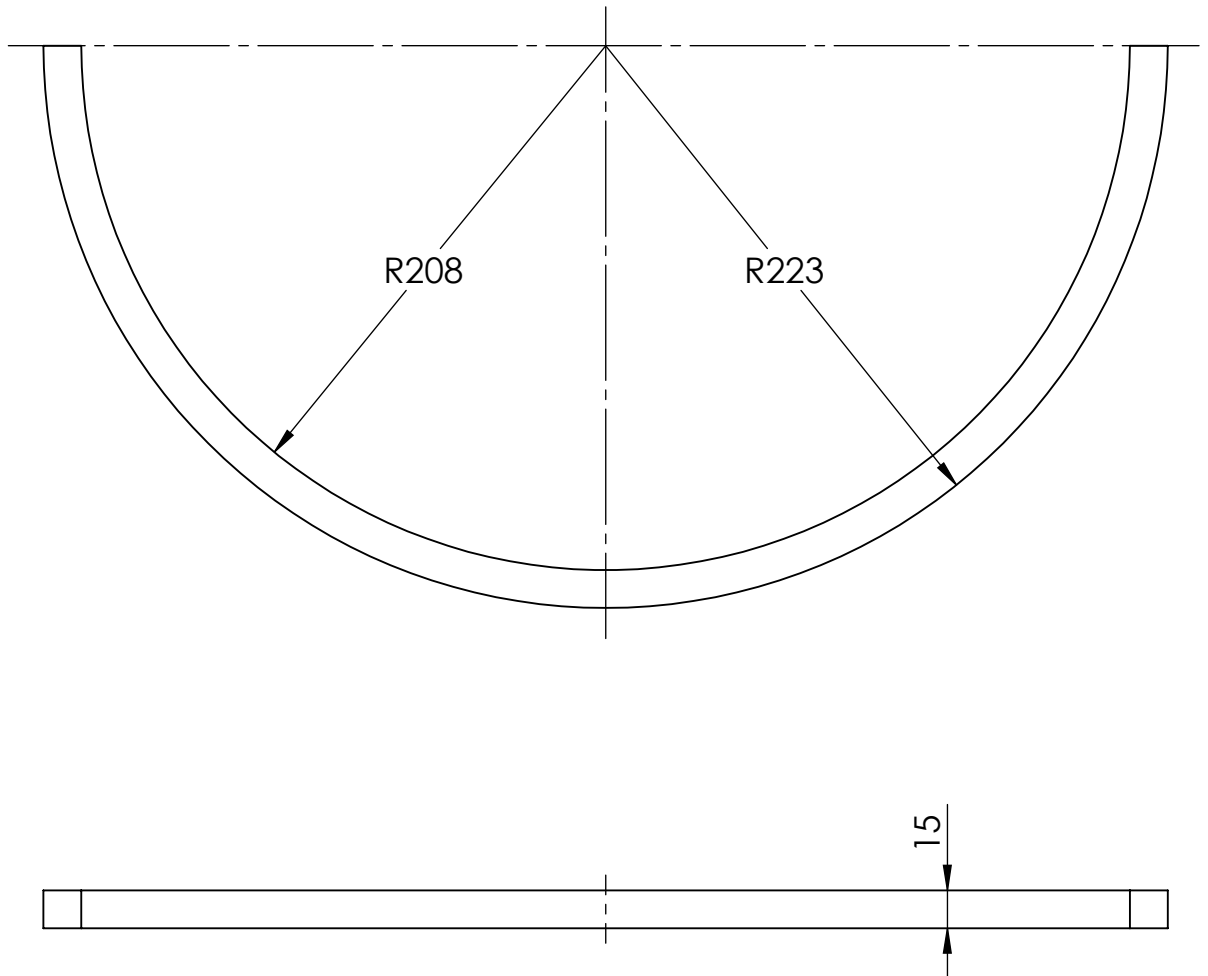
Substitui:

Substituído:

Projectou		2021-11-08
Desenhou		2021-11-08
Verificou		2021-11-08

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

**Daniel Lajas 51962**  
**MIEMc**



1:3

**Suporte da  
grelha**

A21

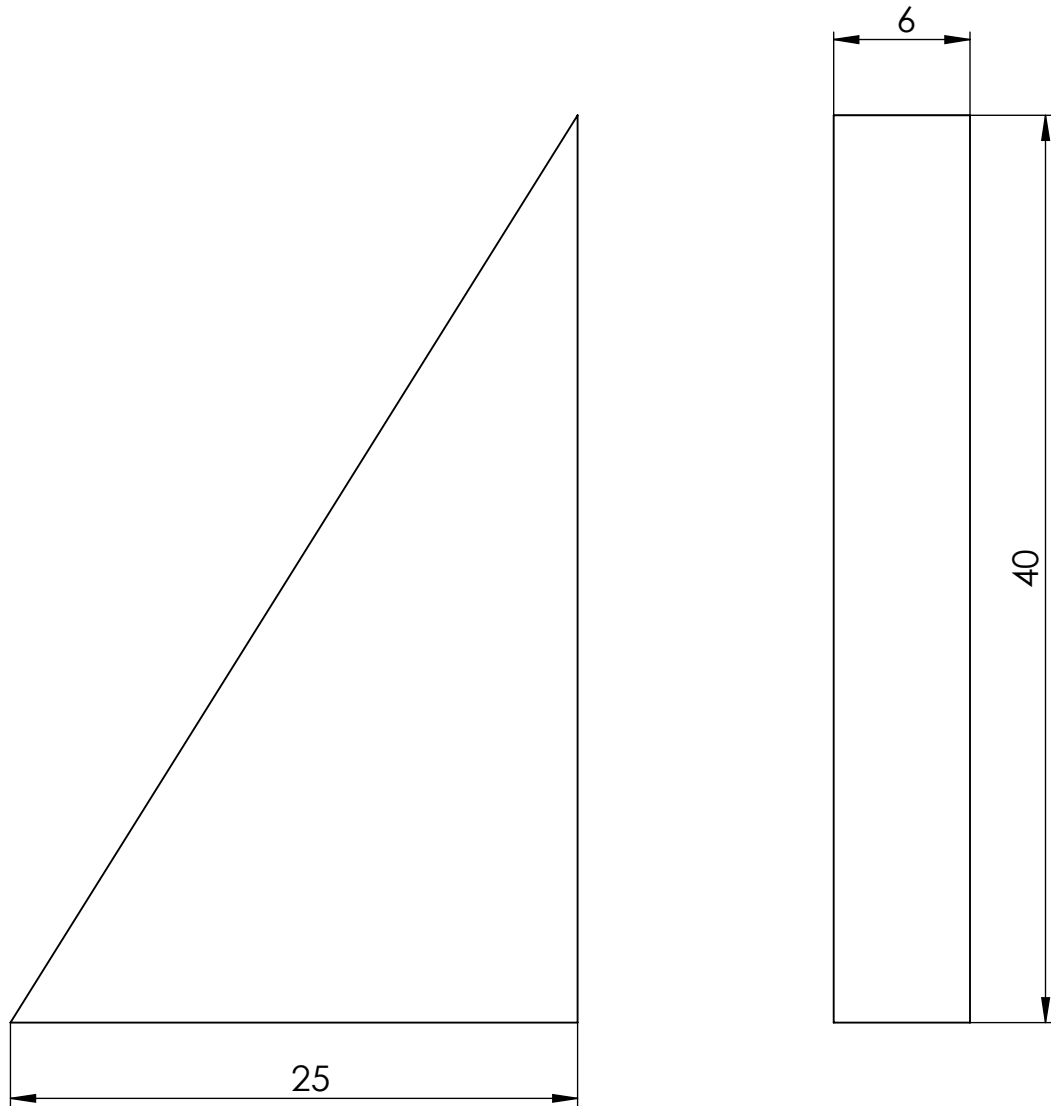
Substitui:

Substituído:

Projectou		2021-11-08
Desenhou		2021-11-08
Verificou		2021-11-08

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

**Daniel Lajas 51962**  
**MIEMc**



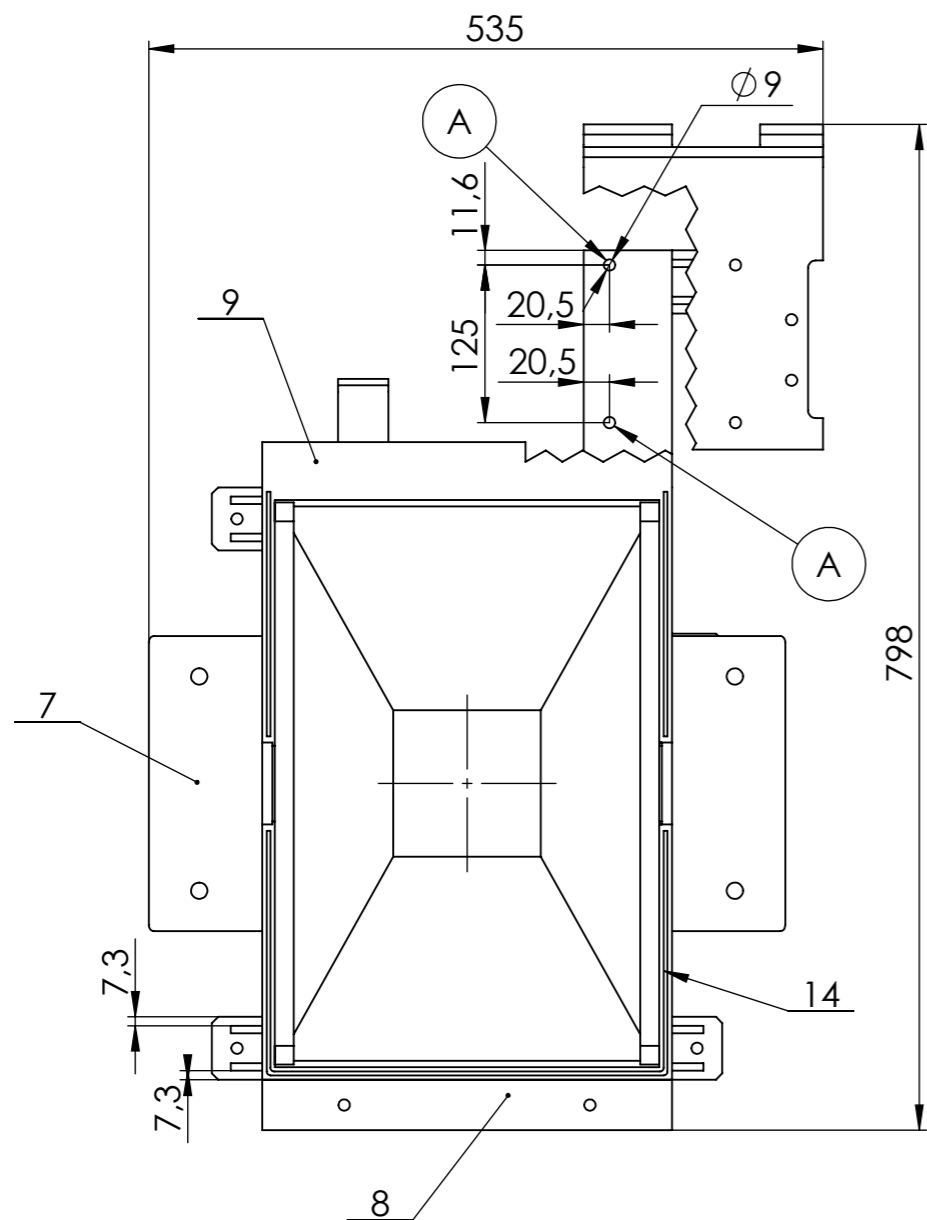
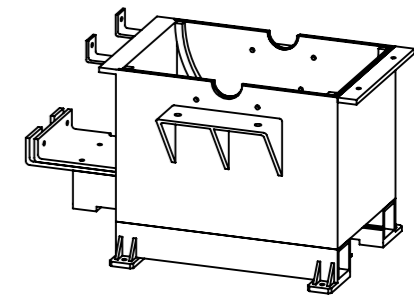
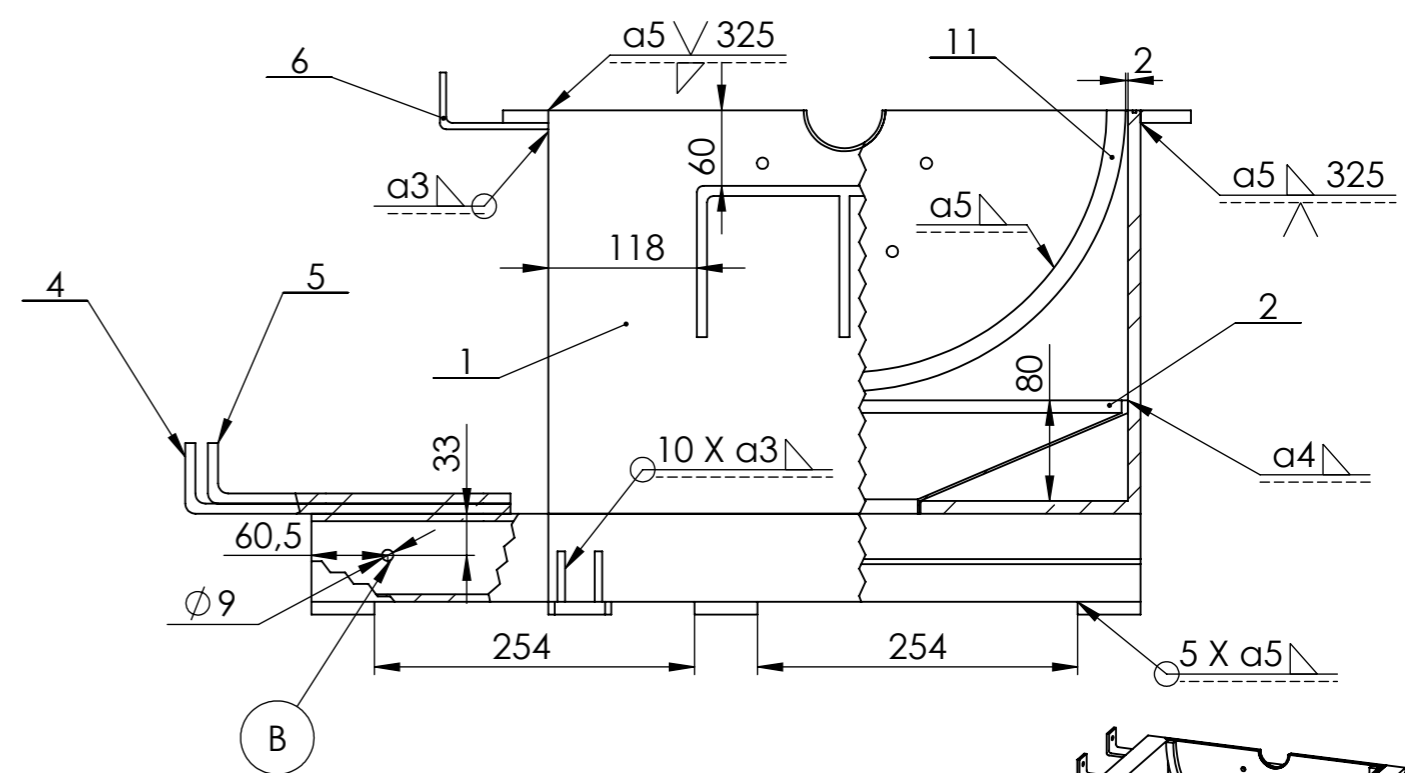
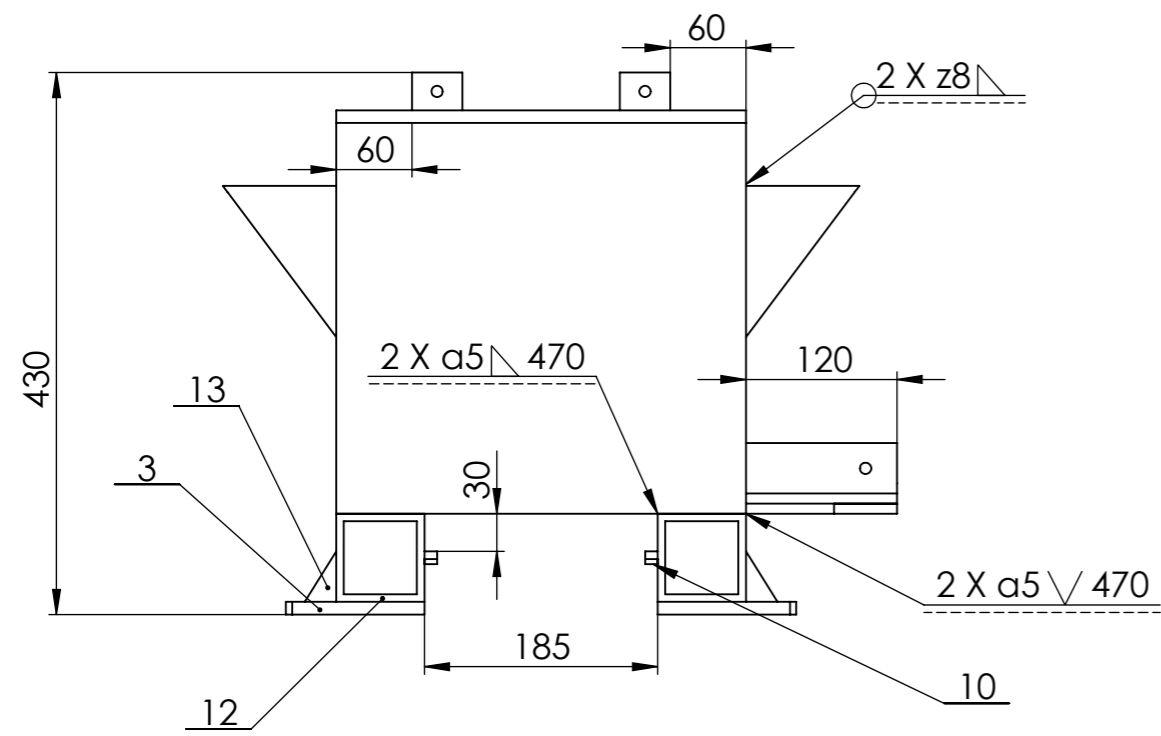
3:1

**Reforço dos pés**

A22

Substitui:

Substituído:



**Referências para aquisição:**

Item Nº 12: Perfil oco quadrado 70 mm x 70 mm com 6 mm de espessura  
 Item Nº14: 132006219

**Montagem:**

-Necessário soldar primeiro a tremonha em relação ao suporte da grelha, para que seja possível realizar a montagem da tremonha.  
 -A borracha vedante será encaixada no rasgo da face superior do corpo.

1	Borracha vedante		Borracha	14		Borrachas Mgo	
10	Reforço do pé	A22	Aço 1.0577	13	0.02	F. Ramada. S.A	
2	Perfil oco quadrado	EN 10219-1/2	S355J2H	12	13.5	Grupo Ferpinta	
2	Suporte da grelha	A21	Aço 1.0577	11	1.2	F. Ramada. S.A	
2	Suporte da gaveta	A20	Aço 1.0577	10	0.1	F. Ramada. S.A	
1	Aba frontal	A19	Aço 1.0577	9	0.91	F. Ramada. S.A	
1	Aba traseira	A10	Aço 1.0577	8	1	F. Ramada. S.A	
2	Suporte da chumaceira	A18	Aço 1.0577	7	2.1	F. Ramada. S.A	
2	Suporte da pega	A17	Aço 1.0577	6	0.19	F. Ramada. S.A	
1	Suporte superior do motor	A16	Aço 1.0577	5	3.2	F. Ramada. S.A	
1	Suporte inferior do motor	A15	Aço 1.0577	4	2.4	F. Ramada. S.A	
5	Pé	A14	Aço 1.0577	3	0.42	F. Ramada. S.A	
1	Tremonha	A13	Aço 1.0577	2	2.7	F. Ramada. S.A	
1	Corpo	A12	Aço 1.0577	1	48.8	F. Ramada. S.A	
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA NºDO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO	PESO	OBSERVAÇÕES

**Alterações:**

- Necessário cortar 2 perfis ocos quadrados com 470 mm e 658 mm.
- Necessário fazer os furos iguais, assinalados com as letras A e B no perfil oco, alinhados com dois dos furos dos suportes do motor.

Projectou	2021-11-05	FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21
Desenhou	2021-11-05	
Verificou	2021-11-05	

Moinho de martelos

**Daniel Lajas 51962 MIEMc**

Escalas	1:6
Toleran.	

**Corpo conjunto + tremonha**

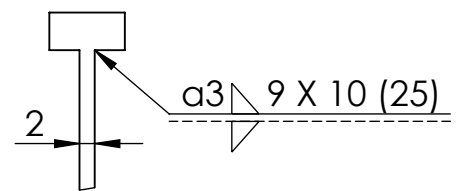
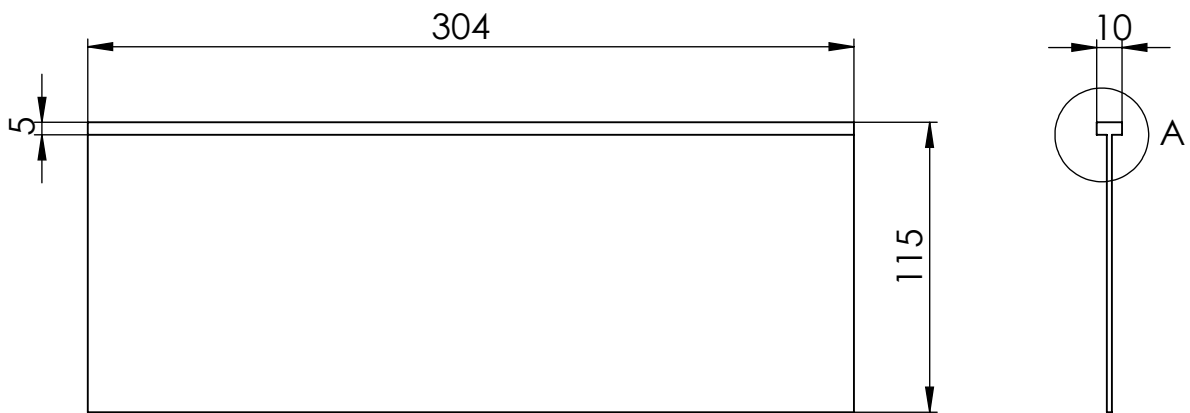
B6



Projectou		2022-02-25
Desenhou		2022-02-25
Verificou		2022-02-25

FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica  
**Moinho de martelos**

**Daniel Lajas 51962**  
**MIEMc**



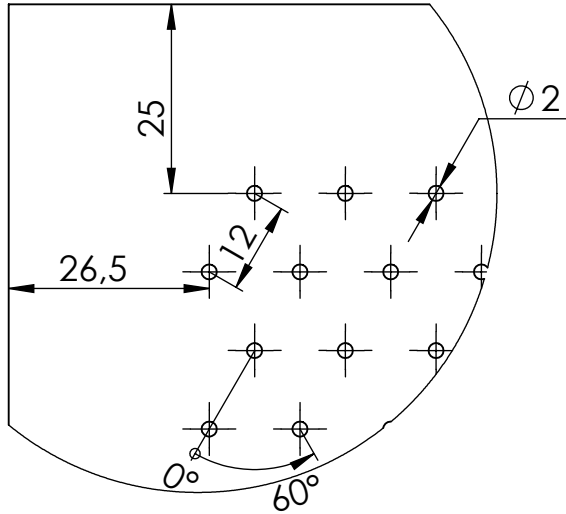
Pormenor A

	1:3	<b>Porta</b>	A23				
			Substitui: _____ Substituido: _____				

Projectou	2021-11-08
Desenhou	2021-11-08
Verificou	2021-11-08

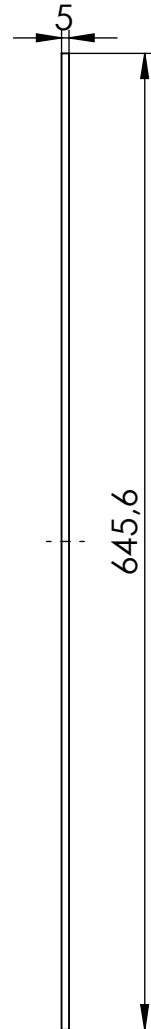
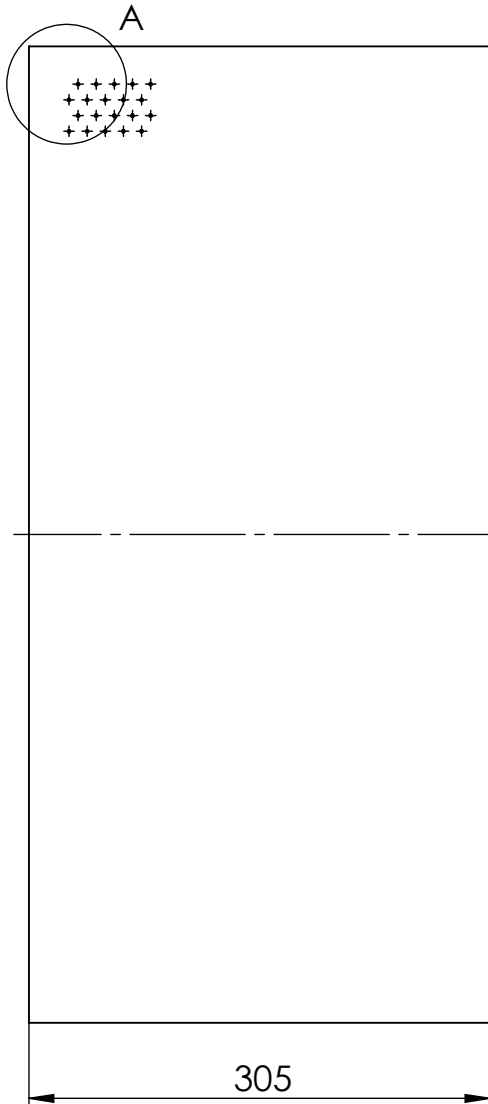
FCT/UNL - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



O padrão dos furos será repetido ao longo da chapa, obtendo 1225 furos.

Pormenor A



1:5

Grelha planificada

A24

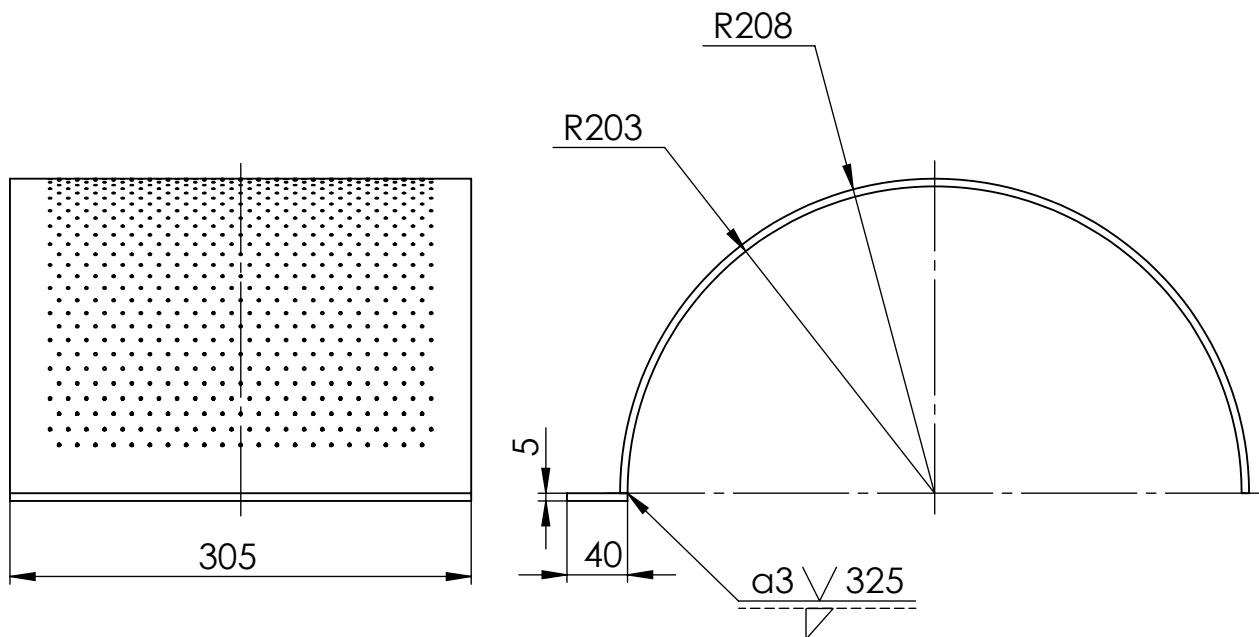
Substitui:

Substituído:

Projectou		2021-11-08
Desenhou		2021-11-08
Verificou		2021-11-08

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



**Nota:**

Após obter a chapa furada (desenho A24), é necessário colocar a chapa na calandra para obter o raio pretendido e de seguida é preciso soldar uma chapa com as seguintes dimensões: 305 mm x 40 mm x 5 mm.

1:5

Grelha

A25

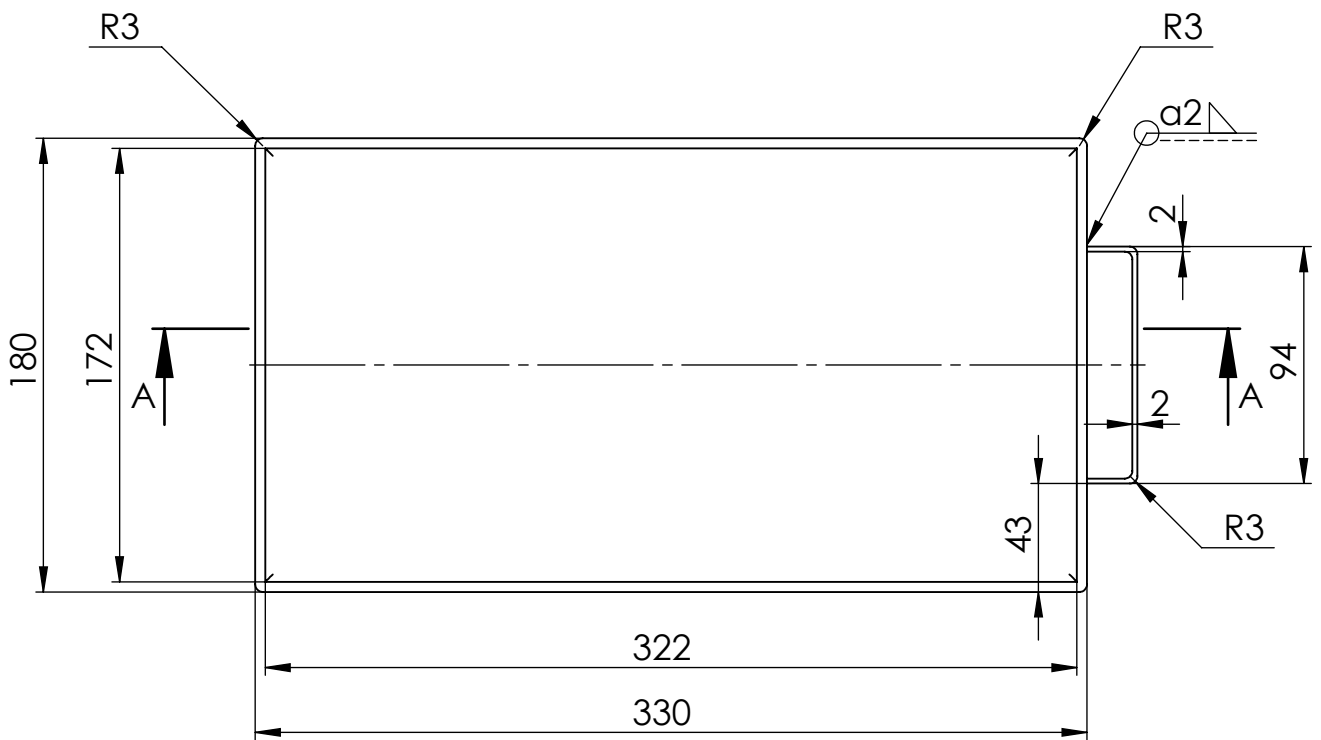
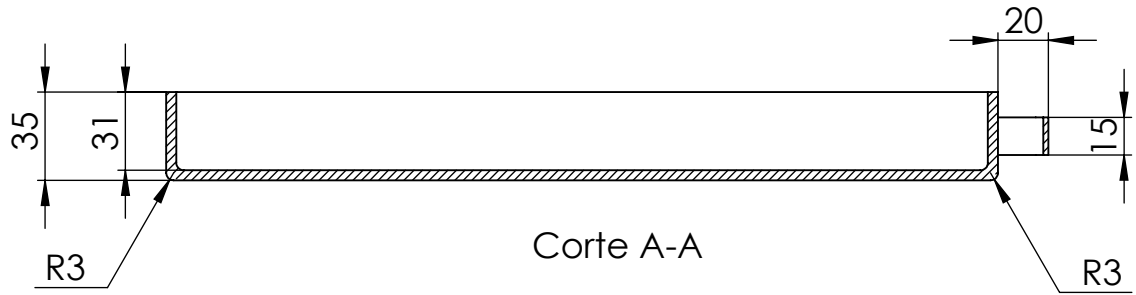
Substitui:

Substituído:

Projectou		2021-11-08
Desenhou		2021-11-08
Verificou		2021-11-08

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



1:3

Gaveta

A26

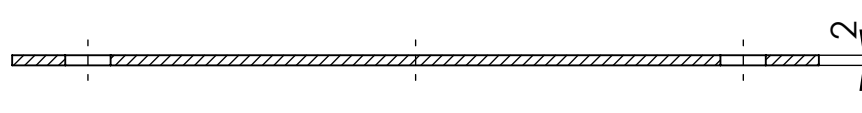
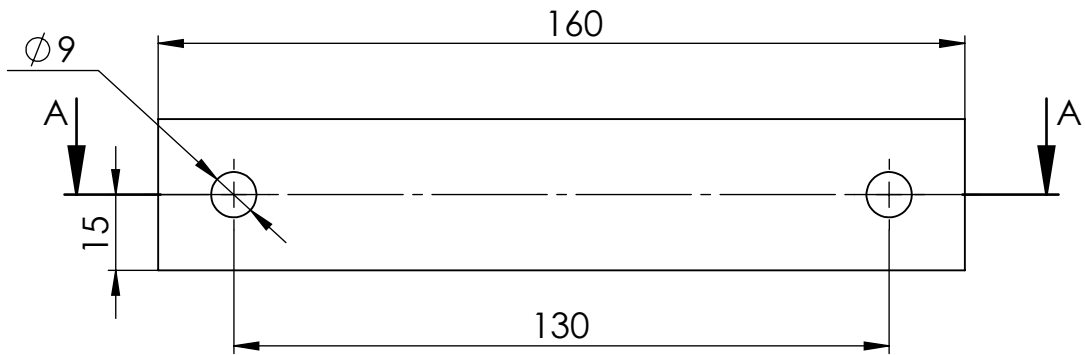
Substitui:

Substituído:

Projectou		2021-10-29
Desenhou		2021-10-29
Verificou		2021-10-29

FCT/UNL - Mestrado Integrado em  
Engenharia Mecânica - 2020/21  
Moinho de martelos

Daniel Lajas 51962  
MIEMc



Corte A-A

2:3

Trava do retentor

A27

Substitui:

Substituído: