



## **PROJECTO DE UM PROJÉCTIL DE CALIBRE 155mm PARA COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS**

**João Filipe Caetano Calado**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Mecânica**

**Júri**

Presidente: Prof. Luís Manuel Varejão de Oliveira Faria  
Orientador: Prof. Luís Filipe Galvão dos Reis  
Co-orientador: Prof. José Alberto de Jesus Borges  
Vogais: Prof. Manuel José Moreira de Freitas  
Cap. Manuel José Silva Neves Morgado

**Outubro de 2013**



## Agradecimentos

Com este pequeno texto quero deixar um profundo agradecimento às pessoas que directa ou indirectamente me ajudaram a chegar à conclusão deste trabalho e de tudo o que ele significa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luís Filipe Galvão dos Reis e co-orientador José Alberto de Jesus Borges pela paciência, ajuda, esclarecimento de dúvidas e sugestões que foram dando ao longo do projecto.

Ao Director de Curso de Serviço Material da Academia Militar, Tenente-Coronel de Material João Paulo Barreiros Pereira da Silva pelo esforço e dedicação que sempre demonstrou na defesa dos alunos do Serviço de Material.

À Indústria de Desmilitarização e Defesa, na pessoa do Engenheiro Rogério Prina pela transmissão de conhecimentos e ideias para o projecto e pela cedência e um projectil inerte de 155mm para estudo.

Ao Laboratório de Explosivos da Marinha, aos seus militares e à Primeiro Tenente Engenheira Sara Almada pela disponibilidade e ajuda prestada no esclarecimento de algumas questões e na análise efectuada a um projectil inerte de 155mm.

Aos meus camaradas de Artilharia Tenente Cristóvão Fernandes, Alferes João Arnaut e Alferes João Silva pela prontidão e disponibilidade que demonstraram em ajudar nas questões relacionadas com a Artilharia.

Aos amigos que fiz no Instituto Superior Técnico pela ajuda na integração nas turmas e pelas sessões de estudo das várias unidades curriculares.

Aos meus camaradas de Engenharias da Academia Militar, em especial para aqueles que de mais perto lidaram comigo, pelos 6 anos de interajuda, sacrifícios, bons e maus momentos que passamos juntos.

Às minhas amigas Claudemira, Alexandra, Inês, Catarina, Filipa Inês e à minha prima Catarina pelo apoio e motivação e algumas sugestões para o projecto.

Aos meus amigos da “terrinha”, Ruben, “Caricas”, “Jonets”, “Rafa”, Gonçalo e Joel por aquilo que são, pelos conselhos, motivação e ânimo que sempre me deram para ultrapassar obstáculos e pela verdadeira amizade que sempre tiveram desde há uns bons anos em especial ao meu amigo desde nascença Frederico Gamas.

Aos meus avós por rezarem pelo meu sucesso todos os dias.

À minha irmã, Joana Rita, por me dar motivos para me orgulhar dela.

E porque os últimos são sempre os primeiros, aos meus pais, Rui e Edite, pela educação que me deram e, acima de tudo, por me terem ensinado a “pescar”...



## Resumo

Todos os anos milhares de hectares são consumidos pelas chamas durante a época de incêndios. As medidas preventivas têm-se revelado insuficientes e as capacidades dos meios de combate estão condicionadas por terrenos inacessíveis, condições de visibilidade reduzida e condições meteorológicas adversas. Com a introdução do projectil projectado nesta dissertação pretende-se preencher de algum modo o vazio deixado por essas condicionantes.

Este projecto dá continuidade ao projecto FIREND<sup>®</sup> que é a última evolução de um conceito idealizado em 2005 e que se tem vindo a desenvolver numa parceria entre a Academia Militar e o Instituto Superior técnico.

O conhecimento assimilado pela revisão bibliográfica de algumas patentes, dos projectos FIREND<sup>®</sup> anteriores e sobre o funcionamento de projecteis de artilharia convencionais, foi complementada com os conhecimentos de balística e de projecto mecânico, resultando no desenvolvimento sólido de um projectil de 155mm de detonação electrónica. O projectil funciona com base num micro gerador de gás que aumenta a pressão interior e desta forma ejecta a carga contida no compartimento de carga.

Foram utilizadas as capacidades de desenho tridimensional do *software SolidWorks*<sup>®</sup> e estimou-se, através deste, o peso, volume, momentos de inércia dos componentes e a capacidade de carga do projectil. Estes dados são fundamentais neste projecto para garantir a sua compatibilidade com os obuses e tábuas de tiro utilizadas pela Artilharia do Exército Português.

Como resultado, projectou-se um projectil de 155mm com peso equivalente ao de uma granada convencional e com cotas máximas que lhe conferem total compatibilidade com os Obuses de Artilharia existentes. O projectil consegue conter, no seu compartimento de carga, aproximadamente  $7,5 \text{ dm}^3$  de volume, o que lhe confere a capacidade para actuar numa área de aproximadamente  $75\text{m}^2$ .

## Palavras Chave:

Projectil de Artilharia  
Combate a Incêndios  
Projecto Mecânico  
Micro gerador de gás  
Tábuas de tiro  
Engenharia Inversa



## Abstract

Thousands of square meters are burnt every year during fire season. Preventive measures have been proving to be insufficient and the capabilities of firefighting means are conditioned by rough terrain, low visibility conditions and the inability to operate with adverse weather conditions. The introduction of the proposed project in this thesis aims to fill the void left by these constraints.

This project gives continuity to the FIREND<sup>®</sup> project, which is the latest evolution of a concept idealized in 2005 that is being developed in a partnership between Academia Militar and Instituto Superior Técnico.

The knowledge obtained from the literature review of patents, previous FIREND<sup>®</sup> projects and artillery manuals was complemented with the knowledge of ballistics and mechanical design to achieve a solid development of a 155mm electronic detonated projectile. The projectile concept is based on micro gas generators that, upon actuation, produce high pressure values within the projectile vessel, therefore ejecting the transported cargo.

The tridimensional capabilities of *SolidWorks*<sup>®</sup> software were used for drawing and computation of weight, volume, inertia moments of the projectile components and the available cargo capacity. This data is crucial for the project to assure its compatibility with the howitzers and tabular firing tables that are in use by the Portuguese Army Artillery.

The result of the present Master Thesis is the project of a firefighting projectile that complies with the conventional 155mm artillery projectiles in terms of weight, external dimensions (length and diameter) and center of mass, which is capable of transporting 7,5 dm<sup>3</sup> of cargo and that has the capability to act on an area with approximately 75 m<sup>2</sup>.

## Keywords:

Artillery Shell

Fire Fighting

Mechanical Design

Micro Gas Generator

Tabular Fire Tables

Reverse Engineering



# Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	iii
Abstract.....	v
Índice .....	vii
Lista de Quadros e Figuras .....	ix
Lista de Abreviações .....	xiii
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento, importância e aplicações .....	1
1.2. Objectivo e tarefas.....	2
1.3. Estrutura da dissertação .....	2
2. Revisão Bibliográfica .....	3
2.1. Outros conceitos .....	3
2.2. Projecteis de 155mm com libertação de carga.....	5
2.3. Descrição da evolução tecnológica do projecto FIREND® .....	8
2.3.1. Espoleta .....	10
2.3.2. Chassis .....	10
2.3.3. Veio .....	11
2.3.4. Êmbolo.....	11
2.3.5. Tampa.....	12
2.3.6. Matriz e Punção .....	13
2.3.7. Membrana fusível.....	14
2.3.8. Mola.....	14
2.3.9. Cinta de Travamento .....	15
2.4. Análise ao conceito FIREND® de 2012.....	15
3. Motivação e justificação de inovações .....	19
3.1. Alterações face aos projectos anteriores .....	19
3.2. Requisitos e Constrangimentos .....	23
3.3. Conceito geral .....	25
4. Projecto dos componentes do projectil.....	27
4.1. Corpo principal (A).....	27
4.2. Corpo secundário (B).....	28
4.3. Base (C) .....	29
4.4. Cinta de travamento (D) .....	30
4.5. Corpo da espoleta (E) .....	32
4.6. Tampa da espoleta (F).....	34
4.7. Gerador de gás (G) .....	34
4.8. Grupo de o-rings (H).....	35
4.9. Grupo de parafusos (I) .....	36

4.10. Grupo de pinos (J) .....	37
5. Dimensionamento de componentes .....	39
5.1. Corpo principal (A).....	39
5.2. Corpo secundário (B).....	45
5.3. Base (C) .....	46
5.4. Cinta de travamento (D) .....	49
5.5. Corpo da espoleta (E) .....	49
5.6. Tampa da espoleta (F).....	50
5.7. Gerador de gás (G) .....	52
5.8. Grupo de o-rings (H).....	52
5.9. Grupo de parafusos (I) .....	53
5.10. Grupo de pinos (J) .....	55
5.11. Montagem .....	56
5.11.1. Sequência de montagem para o conjunto “corpo” .....	57
5.11.2. Sequência de montagem para o conjunto “espoleta” .....	59
5.12. Projétil final.....	61
6. Conclusões e propostas de trabalho futuro .....	63
6.1. Conclusões .....	63
6.2. Propostas de trabalho futuro .....	64
7. Bibliografia.....	65
Anexos.....	69

## Lista de Quadros e Figuras

### QUADROS

Quadro 2.1 – Sequência de Montagem proposto por Castanheira [2].	17
Quadro 5.1 – Propriedades mecânicas do aço DIN 20MnV6 [36].	39
Quadro 5.2 – Propriedades mecânicas do aço AISI H13 [39].	46
Quadro 5.3 – Propriedades mecânicas do latão CuZn5 [29; 30]	49
Quadro 5.4 – Propriedades mecânicas do aço AISI 1045 [24]	50
Quadro 5.5 – Resumo de dados do gerador de gás MOSA MDS-1 [31]	52
Quadro 5.6 – Dimensões das caixas de expansão dos o-rings seleccionados [33].	53
Quadro 5.7 – Tensões admissíveis das classes de resistência A2 e 45H [41]	55
Quadro 5.8 – Dados do projectil	61
Quadro 5.9 – Zonas de Peso em kg [8]	61

### FIGURAS

Figura 2.1 – Projectil avançado [3].	3
Figura 2.2 – Dispositivo de lançamento de pequenos projecteis de detonação por impacto [5].	4
Figura 2.3 – Projectil no momento da detonação do explosivo pulverizando a sua carga [6].	4
Figura 2.4 – Projectil para utilização em espaços interiores; a)Projectil para interiores de activação manual ou térmica; b)Pormenor de percutor térmico [7].	5
Figura 2.5 – Projectil de 155mm HE [9].	6
Figura 2.6 – Projectil de 155mm de Fumos em corte [8].	6
Figura 2.7 – Projectil de 155mm Iluminante M485A2 com carga semi-extraída [10].	7
Figura 2.8 – Projectil de 155mm lança-granadas M483A1 em corte [11].	7
Figura 2.9 – SMarT 155mm em corte [14].	8
Figura 2.10 – Conceito obtido por engenharia inversa e as 3 evoluções [2].	8
Figura 2.11 – Vista em alçado principal do FIREND®; a) Aspecto exterior; b) Vista em corte [2].	9
Figura 2.12 – Espoleta do FIREND®; a) Espoleta semiesférica [15]; b) Espoleta do FIREND® [2].	10
Figura 2.13 – Elementos do chassis do FIREND®; a) Corpo do chassis; b) Subsistema da espoleta; c) Acoplamento [2].	11
Figura 2.14 – Veio FIREND® [16].	11
Figura 2.15 – Êmbolo e Placa estanque do FIREND®; a) Ligação veio-êmbolo em corte [16]; b) Êmbolo FIREND® [2]; c) Placa estanque [2].	12
Figura 2.16 – Tampa FIREND® com ligação aparafusada ao veio [2].	12
Figura 2.17 – Subsistema de membrana fusível em corte. (Punção a amarelo; Membrana fusível a vermelho; e Matriz a laranja) [15].	13
Figura 2.18 – Matriz e suporte da matriz [16].	13
Figura 2.19 – Membrana fusível do FIREND®; a) Pormenor das tensões na membrana de 1mm sob carga da mola [16]; b) Membrana fusível em corte [16].	14

Figura 2.20 – Mola do FIREND <sup>®</sup> ; a) Mola comprimida [16]; b) Foto da mola [2].	14
Figura 2.21 – Cinta de travamento do FIREND <sup>®</sup> ; a) Vista em pormenor da união entre cinta de travamento e corpo do projectil [2]; b) Vista em corte da cinta de travamento [2].	15
Figura 2.22 – Ferramentas especiais para montagem do FIREND <sup>®</sup> a) Chave de furos; b) Chave TAMAC; c) Chave de suporte; d) Prensa.	15
Figura 2.23 – Projectil já extraído do solo junto a um dos locais de impacto.	16
Figura 3.1 – Proposta de novo projectil visto em perspectiva	19
Figura 3.2 – Sistema de altimetria.	20
Figura 3.3 – Volante com sistema de <i>airbag</i> ( <i>gerador de gás e bolsa</i> ) em corte [20].	21
Figura 3.4 – Cotas de atravancamento da granada explosiva M107 (Centro de massa sem espoleta).	24
Figura 3.5 – Zona da base vista em corte.	25
Figura 3.6 – Comparação entre extintor e projectil de combate a incêndios; a) Extintor portátil de pó químico [23]; b) Projectil vazio em corte.	26
Figura 3.7 – Projectil em vista explodida.	26
Figura 4.1 – Corpo principal do projectil visto em perspectiva.	27
Figura 4.2 – Corpo secundário visto em perspectiva: a) Vista superior; b) Vista inferior.	28
Figura 4.3 – Base vista em perspectiva.	29
Figura 4.4 – Base em corte vista de alçado principal.	30
Figura 4.5 – Cinta de travamento vista em perspectiva.	30
Figura 4.6 – Cano estriado em corte [28].	31
Figura 4.7 – Perfil da cinta de travamento visto em corte.	31
Figura 4.8 – Espaço interior disponível na espoleta.	32
Figura 4.9 – Espoleta vista em perspectiva: a) Vista inferior; b) Vista superior.	33
Figura 4.10 – Grupo de medição do sistema de altimetria.	33
Figura 4.11 – Tampa da espoleta vista em perspectiva: a) Vista superior; b) Vista inferior.	34
Figura 4.12 – Gerador de gás de um <i>airbag</i> frontal para condutor [31].	35
Figura 4.13 – O-rings FKM [32].	35
Figura 4.14 – Parafuso e perno usado na montagem do projectil: a) Parafuso de fenda com cabeça cilíndrica DIN84 [34]; b) Perno com sextavado interior DIN916 [34].	36
Figura 4.15 – Gerador de gás fixo através de parafusos.	36
Figura 4.16 – Base com os pernos na posição final.	37
Figura 4.17 – Pino de alinhamento: a) Pino cilíndrico DIN7 [35]; b) Detalhe de pino montado no corpo secundário.	37
Figura 5.1 – Vista em corte da parte inferior do corpo principal com algumas cotas.	39
Figura 5.2 – Representação da evolução das tensões num detalhe do corpo principal.	40
Figura 5.3 – Vista em corte da parte superior do corpo principal com algumas cotas.	44
Figura 5.4 – Corpo secundário visto em perspectiva inferior.	45
Figura 5.5 – Gráfico de espessura mínima da base em função do diâmetro de saída (em milímetros).	45

Figura 5.6 – Vista em corte do corpo secundário com algumas cotas. ....	46
Figura 5.7 – Representação de pressão exercida na base. ....	47
Figura 5.8 – Vista em corte da base com algumas cotas. ....	48
Figura 5.9 – Detalhes da Figura 5.8 a) Detalhe do furo roscado; b) Detalhe do furo de alinhamento. .	48
Figura 5.10 – Vista em corte do corpo da espoleta com algumas cotas. ....	49
Figura 5.11 – Vista em corte da tampa da espoleta com cotas .....	50
Figura 5.12 – Vista em corte da espoleta sem o sistema de altimetria .....	51
Figura 5.13 – Conjunto de montagem “corpo”. ....	56
Figura 5.14 – Conjunto de montagem "espoleta" .....	56
Figura 5.15 – Passo final da montagem do projectil.....	57
Figura 5.16 – Montagem da cinta de travamento (D) no corpo principal (A). ....	57
Figura 5.17 – Montagem do corpo secundário (B) no corpo principal (A). ....	58
Figura 5.18 – Montagem dos pinos de alinhamento. ....	58
Figura 5.19 – Montagem da base (C) no chassis (A,B). ....	58
Figura 5.20 – Pormenor de alinhamento dos pinos em transparência. ....	59
Figura 5.21 - Posição final dos pernos (I). ....	59
Figura 5.22 – Montagem do grupo de medição na espoleta (E). ....	59
Figura 5.23 – Grupo de controlo fixo na tampa da espoleta .....	60
Figura 5.24 – Montagem da tampa da espoleta na espoleta .....	60
Figura 5.25 – Montagem do gerador de gás.....	60
Figura 5.26 – Cotas de atravancamento do projectil (em mm): a) Vista de baixo; b) Planta; c) Alçado principal .....	62



## Lista de Abreviações

### NOMENCLATURA

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
AM	Academia Militar
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
Cu	Cobre
DIN	Deutsches Institut für Normung
$d_m$	Compressão inicial da mola
$dm^3$	Decímetros cúbicos (litros)
$d_s$	Distância percorrida no subsolo após embate
FKM	<i>Fluorcarbon Rubber</i>
HB	<i>Hardness Brinell</i> (Dureza Brinell)
HC	<i>Hexachloroethane-Zinc</i> (fumo branco)
HE	<i>High Explosive</i> (Alto Explosivo)
HRC	<i>Hardness Rockwell C</i> (Dureza Rockwell C)
HV	<i>Hardness Vickers</i> (Dureza Vickers)
IDD	Indústrias de Desmilitarização e Defesa, SA
IST	Instituto Superior Técnico
k	Constante de elasticidade da mola
kg	Quilograma
$kg/m^3$	Quilograma por metro cúbico
kPa	Quilopascal
m	Metro
m/s	Metro por segundo
$m^2$	Metro quadrado
mm	Milímetro
$mm^2$	Milímetro quadrado
Mn	Manganês
MPa	Megapascal
$m_t$	Massa total a extrair
N/m	Newton por Metro
NBR	<i>Nitrile Butadiene Rubber</i>
°C	Graus Celsius
s	segundos
SMARt	<i>Suchzünder Munition für die Artillerie</i> (Munição com espoleta de sensor para Artilharia)
TNT	Trinitrotolueno
V	Vanádio
$v_s$	Velocidade de embate no solo
VT	<i>Variable Time</i> (Espoleta de aproximação)
Wr. N.	<i>Werkstoff Number</i> (Número de Werkstoff)

Zn Zinco

### EQUAÇÕES

$\sigma_{ced}$	Tensão de cedência
$\sigma_r$	Tensão de rotura
$A_B$	Área interior da base
$A_{Y\tau}$	Área da região Y sujeita ao corte
$A_{crit}$	Área crítica ao corte
$A_e$	Área dos filetes ao esmagamento
$A_f$	Área dos filetes ao corte
$A_p$	Área projectada
$A_t$	Área à tracção
$A_{\tau M3}$	Área de um perno M3 ao corte
$F_Y$	Força aplicada na tampa da espoleta
$F_i$	Força exercida na área projectada
$F_{min}$	Força mínima para corte dos 3 pernos
$F'_{min}$	Força mínima para corte de 1 perno
$F_t$	Força de tiro
$P_r$	Perímetro da raiz da rosca
$V_f$	Volume do compartimento de carga
$V_i$	Volume inicial do gerador de gás
$d_o$	Diâmetro interior do o-ring
$d_{Yi}$	Diâmetro interior da região Y
$d_b$	Diâmetro interno da base
$d_i$	Diâmetro interior do corpo principal
$d_r$	Diâmetro da raiz da rosca
$d_s$	Diâmetro da secção do o-ring
$p_f$	Pressão no compartimento de carga
$p_i$	Pressão inicial do gerador de gás
$p_{i\_min}$	Pressão mínima no interior para corte dos pernos
$p_t$	Pressão máxima de tiro
$t_1$	Tempo da fase acelerada
$t_2$	Tempo da fase não acelerada
$t_Y$	Espessura da região Y
$t_e$	Tempo de ejeção
$t_{min}$	Espessura mínima da base

$t_p$	Tempo de paragem
$v_0$	Velocidade inicial
$v_{max}$	Velocidade máxima atingida pela carga com aceleração da mola
$v_s$	Velocidade de saída
$x_0$	Posição inicial
$\tau_Y$	Tensão de corte na região Y
$\tau_{ced}$	Tensão de cedência ao corte
$\tau_f$	Tensão de corte nos filetes
$\alpha$	Aceleração angular
$\sigma$	Tensão normal
$A$	Amplitude do movimento (Movimento Harmónico Simples)
$I$	Produto de inércia
$J$	Momento de inércia
$Pa$	Passo das estrias
$T$	Binário
$a$	Aceleração (Movimento Rectilíneo Uniforme)
$d$	Diâmetro da rosca
$d$	Diâmetro exterior do o-ring
$l$	Comprimento do cano do Obus
$p$	Passo da rosca
$t$	Tempo (Movimento Harmónico Simples)
$v$	Velocidade (Movimento Harmónico Simples)
$x$	Posição final
$\tau$	Tensão de corte
$\varphi$	Fase (Movimento Harmónico Simples)
$\omega$	Frequência angular (Movimento Harmónico Simples)



# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento, importância e aplicações

Todos os anos, com a chegada dos meses quentes de Verão, a comunicação social bombardeia a sociedade com notícias sobre os incêndios florestais. Apresentam-se causas e consequências, culpas e desculpas, quem ganha e quem perde. A prevenção tem mostrado não ser eficiente em evitar estes incêndios e os meios de combate aos mesmos têm as suas limitações. Os bombeiros são altamente vulneráveis, os meios terrestres deparam-se com locais inacessíveis e os meios aéreos estão condicionados às condições meteorológicas e de visibilidade. Neste projecto vai apresentar-se um meio de combate a incêndios florestais, lançado à distância, em quaisquer condições meteorológicas ou de visibilidade e utilizando recursos já existentes ao serviço do nosso país. O projectil de 155mm de combate a incêndios dá continuidade ao projecto FIREND<sup>®</sup> iniciado em 2005 [1] e já ensaiado em condições de tiro como protótipo em 2012 [2]. O projecto FIREND<sup>®</sup> nasceu da iniciativa do Tenente-Coronel de Artilharia Marquês de Sousa, do Professor-Doutor Pedro Vilaça da Silva, e do ex-aluno da Academia Militar Francisco Lima, numa colaboração entre a Academia Militar e o Instituto Superior Técnico, com o objectivo de “desenvolver um conceito e dimensionar um projectil de detonação mecânica, ..., mantendo a configuração exterior dos projecteis de artilharia de calibre 105 mm. ..., esta munição deve permitir a sua aplicação militar quer em tempo de guerra, quer em tempo de paz e em acções de apoio à sociedade civil, como é exemplo o combate a fogos florestais” [1].

O recurso a armamento militar para combate a incêndios é um conceito pioneiro. A aposta nas capacidades, proficiência e treino dos militares oferece elevadas probabilidades de sucesso, eleva os índices de motivação tanto dos militares como dos bombeiros e ainda aumenta o reconhecimento destes por parte da população. Além disso, este projecto tem potencial para ser pretendido em vários países. Por estas razões pretende criar-se nesta dissertação uma base sólida para que este projecto resulte num projectil eficaz, acessível e com mais-valias para o contexto socioeconómico do nosso país.

O projecto actual consiste na aplicação do conceito e conhecimento existentes para o desenvolvimento de um novo projectil com calibre de 155mm que aumentará a capacidade de carga e o alcance do mesmo. Pretende-se também, com o conhecimento adquirido dos ensaios balísticos efectuados, conceber um novo sistema para ejeção da carga compatível com a utilização de um sistema de actuação por altimetria. Com a introdução deste sistema pretende aumentar-se o controlo e eficácia do sistema de ejeção de carga. O projectil pode ser aplicado como vector de um agente retardante ou como vector para outros tipos de carga, como por exemplo, abastecimentos para as linhas da frente: água potável, alimentação, medicamentos, ferramentas, munições, etc...

As figuras e os desenhos técnicos do projectil e dos respectivos componentes foram criados com recurso ao *software* de CAD *SolidWorks*<sup>®</sup>.

## 1.2. Objectivo e tarefas

O objectivo principal desta dissertação é o projecto de um projectil de calibre 155mm para combate a incêndios florestais. Para alcançar este objectivo, foram consideradas as seguintes etapas:

- Resumo dos trabalhos e teses anteriores relativas ao FIREND<sup>®</sup>. Revisão bibliográfica de patentes relacionadas com meios projectáveis de combate a incêndios e de munições convencionais de Artilharia. Elaboração de um relatório de síntese.
- Análise dos subsistemas nas versões anteriores do projecto: identificar e caracterizar os diferentes subsistemas; analisar e identificar pontos/partes críticas dos respectivos componentes; identificar os materiais utilizados; identificar esforços máximos (códigos de projecto).
- Projecto de novos componentes para um projectil de calibre 155mm para combate a incêndios florestais. Especificações do projecto: identificação de requisitos e constrangimentos; dimensionamento dos componentes; selecção dos materiais.

## 1.3. Estrutura da dissertação

A estrutura apresentada é simples e será dividida nas seguintes secções:

- Introdução – Primeira abordagem ao assunto tratado, onde se enquadra e se diz qual a sua importância e aplicações. Definição dos objectivos para este projecto e apresentação da estrutura da dissertação;
- Revisão bibliográfica – Apresentação e breve crítica de outros conceitos relacionados com o âmbito deste projecto, resumo das evoluções tecnológicas no FIREND<sup>®</sup>, e crítica à sua versão mais recente;
- Apresentação do novo conceito – Caracterização dos novos subsistemas e componentes do projectil e descrição do seu funcionamento;
- Dimensionamento de componentes – Cálculo, requisitos e constrangimentos dos novos componentes;
- Conclusões – Análise e discussão de resultados do projecto e proposta de trabalhos futuros.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Outros conceitos

Apesar do conceito a desenvolver neste projecto ser recente, existem documentos datados desde 1992 [3], em que se aborda o uso de projecteis para auxiliar no combate a incêndios a curtas distâncias, como por exemplo em edifícios, acidentes rodoviários e em terreno aberto. As ideias propostas nesses documentos centravam-se no modo como fazer chegar às chamas um agente retardador, mas não se focavam nos pormenores do vector que transportaria o mesmo. Num estudo efectuado pelo “Air Force Engineering & Services Center” [3] aborda-se dois tipos de projectil: o esférico e o avançado. O projectil esférico consiste em esferas de Polietileno, com 254mm de diâmetro e uma capacidade de aproximadamente 8,6 litros, carregadas com “Halon 1211”. O “Halon 1211”, ou *bromoclorodifluormetano*, é um gás que interrompe quimicamente o processo da combustão [4], e que neste projectil seria liquefeito sob pressão e colocado nas esferas. Ao embater numa superfície, a superfície das esferas rompe e o gás liberta-se. No entanto, foram detectados 3 pontos fracos no projectil esférico. Estes pontos estabeleceram os requisitos para o projectil avançado apresentado no mesmo estudo: cobrir eficazmente uma área; transportar o agente até à base das chamas através das mesmas e da turbulência; e espalhar o agente rápida e uniformemente para evitar reacendimentos. Para melhorar esses pontos, o projectil avançado (Figura 2.1) era composto por um temporizador (*Adjustable Electric Timer*) que, por sua vez, controlava a entrada de um gás para uma câmara de gás (*Gas Chamber*). O prato (*Pusher Plate*) presente na câmara de gás desloca-se com o aumento de pressão e, conseqüentemente, liberta o conjunto de alhetas (*Fin Assembly*) e ejecta as esferas. O movimento de rotação induz uma força centrífuga que proporciona o aumento da área de acção [3]. Os autores do estudo assumiram que o projectil esférico, com 254mm de diâmetro, transportava cerca de 13,6kg de composto e era capaz de atingir uma área de 111m<sup>2</sup> para uma “nuvem” de agente com cerca de 300mm de espessura.

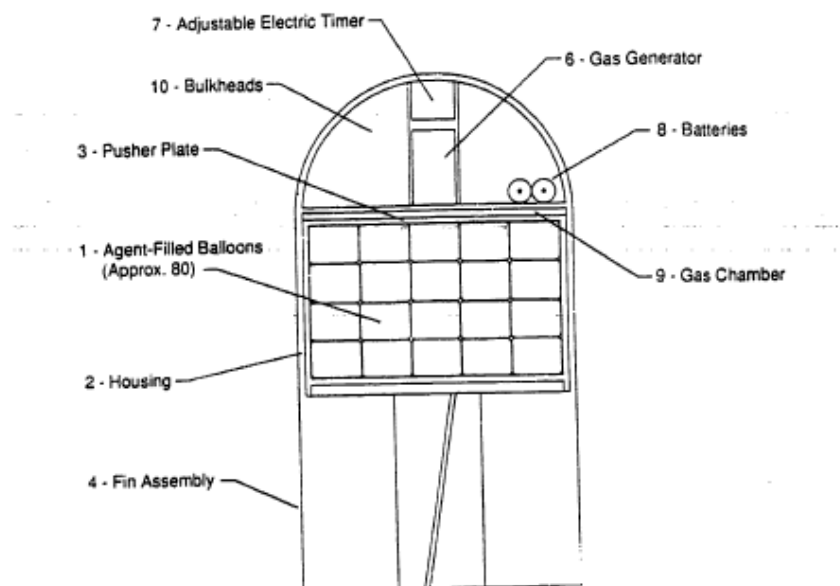


Figura 2.1 – Projectil avançado [3].

No ano de 2005 [5] publicou-se uma patente, no seguimento de uma versão anterior datada de 2002, relacionada com um conceito semelhante. A ideia, já adquirida por uma empresa do ramo bélico, está representada na Figura 2.2 e é composta por um sistema de lançamento de múltiplos projecteis controlado electronicamente. Este sistema pode ser aplicado unitariamente ou por conjuntos em viaturas, aeronaves ou no solo. É constituído por um conjunto de cilindros dentro dos quais se encontram várias munições alinhadas. Estas podem ser lançadas uma a uma e são munidas de carga propulsora. O seu lançamento pode ser individual ou em conjuntos, criando uma barreira. As munições libertam o seu conteúdo no embate com a superfície.

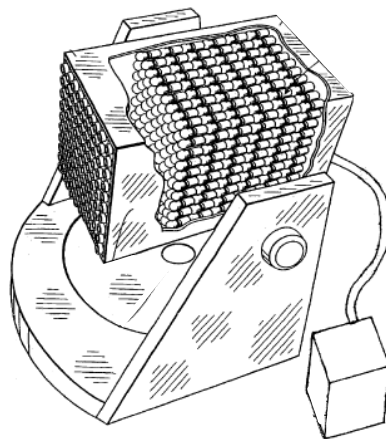


Figura 2.2 – Dispositivo de lançamento de pequenos projecteis de detonação por impacto [5].

Numa patente de 2009 [6], é proposta a utilização de um projectil contendo um agente químico com propriedades retardadoras, que é pulverizado com recurso a explosivos. A pulverização é feita no momento em que o projectil passa sobre as chamas, reduzindo a temperatura e abafando o fogo (ver Figura 2.3). A nuvem de dióxido de carbono formada é mais pesada que o ar e desce até ao solo, evitando assim, que a presença de oxigénio possa provocar reacendimentos. Este projectil foi pensado para ser lançado tanto de terra como do ar.

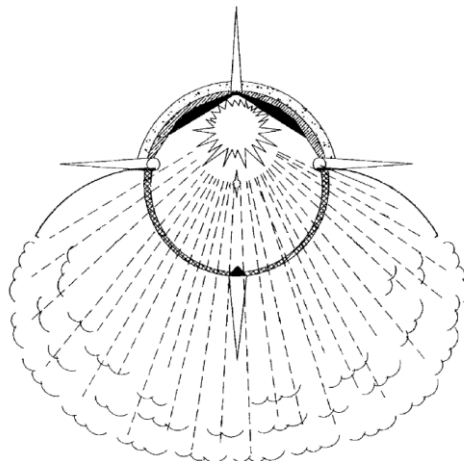


Figura 2.3 – Projectil no momento da detonação do explosivo pulverizando a sua carga [6].

Mais recentemente, em 2012 [7], foi publicada uma patente que propõe um projectil de 40mm de diâmetro para utilização em espaços interiores, com maior portabilidade e para ser lançado de pistola, carabina ou manualmente na versão granada. O projectil activa-se térmica ou manualmente, contém um marcador colorido e um aerossol no estado sólido. O marcador serve para sinalizar que o local, onde o mesmo se encontra, está sobre o efeito do projectil e o aerossol será libertado na forma de gás, pelos furos presentes na sua superfície, diminuindo assim a intensidade das chamas. O detonador térmico proposto neste conceito funciona com base numa tampa que se abre com o calor (ver Figura 2.4). Existe um percutor, que dará início à deflagração da carga iniciadora, associado a uma mola e imobilizado por uma esfera. A esfera está confinada no interior de uma caixa pela tampa térmica. Com o aumentar da temperatura, a tampa solta-se e a compressão presente na interacção entre percutor, esfera e tampa, faz a ejeção da esfera e da tampa, accionando o percutor.

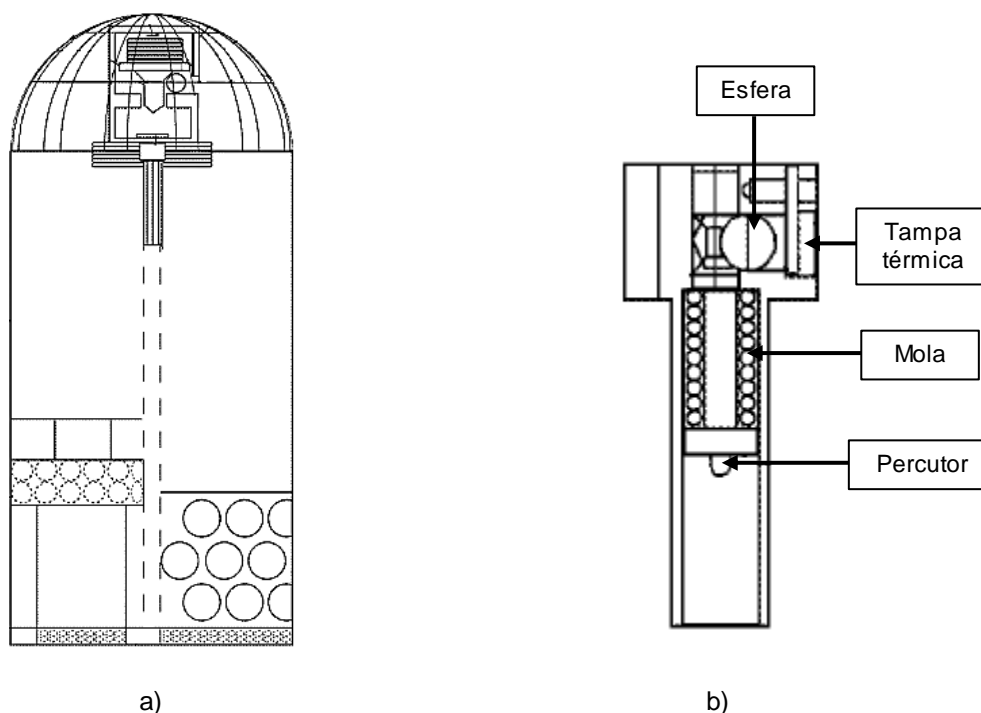


Figura 2.4 – Projectil para utilização em espaços interiores; a) Projectil para interiores de activação manual ou térmica; b) Pormenor de percutor térmico [7].

## 2.2. Projecteis de 155mm com libertação de carga

Como é comum na indústria bélica, a informação disponível é escassa. No entanto, é possível encontrar alguns dados, principalmente de material desactualizado ou fora de serviço.

Dentro dos projecteis (ou granadas) com o convencional formato ogival, existem dois tipos: corpo único e corpo por componentes [8]. Os projecteis de corpo único, como os de Alto Explosivo, ou *High Explosive* (HE) (ver Figura 2.5), são constituídos por um só corpo forjado. O objectivo deste tipo de projectil é que estilhaça com a detonação. Os projecteis de corpo por componentes são constituídos por várias partes de forma a permitir extrair o seu conteúdo, como são exemplo os projecteis iluminantes, de fumos, de gases e de dispersão de minas.



Figura 2.5 – Projétil de 155mm HE [9].

Os projéteis constituídos em várias partes têm a particularidade de não ser necessário serem destruídos para libertar a sua carga. Em vez disso, estes permitem que certos componentes se separem, possibilitando a saída da carga.

As granadas de gases e de fumos funcionam de forma similar. Ao ser despoletada, dá-se a ignição da carga ejectora e esta, por sua vez, inflama os potes (*smoke canisters*) através do tubo de ignição (*flash tube*) (ver Figura 2.6). O aumento de pressão no prato de impulsão (*baffle plate*), causado pela ignição da carga ejectora vai, através da força transmitida pelo tubo de ignição à base da granada (*base plug*), levar ao corte dos pinos que suportam a base da granada e expulsar os potes de fumo.

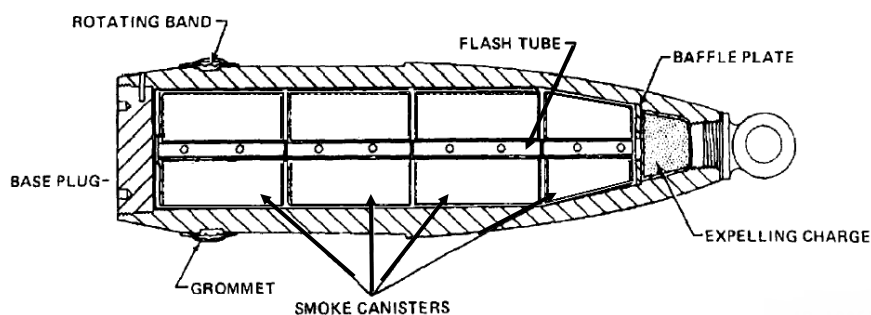


Figura 2.6 – Projétil de 155mm de Fumos em corte [8].

Na Figura 2.7 está representado um projétil do tipo iluminante. Este tipo de projétil também recorre à separação de componentes para libertação da carga. Ao passar na zona a iluminar, a carga ejectora expulsa a “vela”<sup>1</sup> e simultaneamente dá início à reacção que vai gerar a luminosidade. Após a completa ejeção da “vela” um paraquedas vai reduzir a velocidade de descida por forma a aumentar o tempo útil da iluminação.

---

<sup>1</sup> “Vela” – contentor de material iluminante



Figura 2.7 – Projétil de 155mm Iluminante M485A2 com carga semi-extraída [10].

Os projéteis lança-granadas libertam a sua carga da mesma forma, mas como o seu conteúdo é crítico, é colocada uma bolacha de metal, como demonstra a Figura 2.8, para separar as granadas da carga ejectora. Assim, a força dos gases gerados pela ejeção é transmitida através da bolacha e, desta forma, não interage directamente com as granadas.

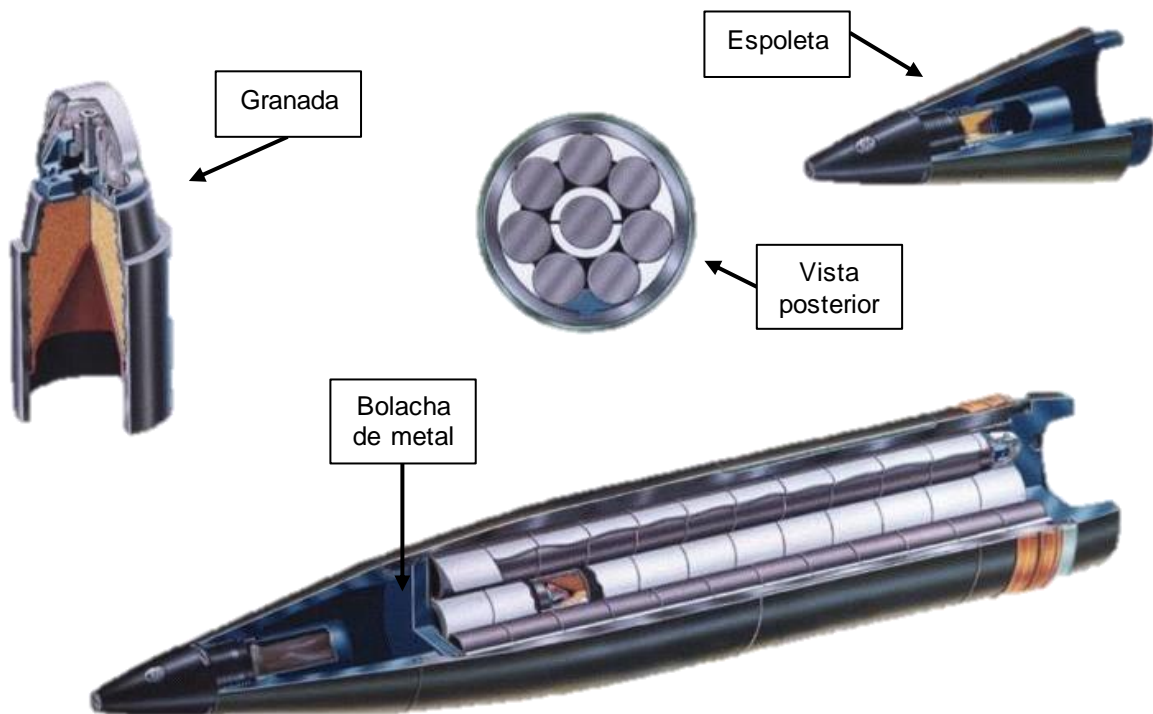


Figura 2.8 – Projétil de 155mm lança-granadas M483A1 em corte [11].

Existe também uma munição de 155mm denominada “SMARt 155mm” (ver Figura 2.9) que durante a sua trajectória, ao passar sobre o alvo, liberta duas sub-munições para que estas caiam directamente no alvo e aí sejam detonadas [12]. À semelhança das anteriores, a separação do corpo da munição e subsequente extracção das sub-munições recorre a pequenas cargas explosivas. Estas quebram a interacção entre a base da munição e o restante corpo da mesma e fornecem propulsão ao corpo para que este se afaste da base e das sub-munições [13].



Figura 2.9 – SMArt 155mm em corte [14].

### 2.3. Descrição da evolução tecnológica do projecto FIREND®

Baseando-se nos conhecimentos adquiridos pelo processo de engenharia inversa realizado numa granada de fumos 105mm HC (ver Figura 2.10), o esboço inicial foi obtido no 1º ano do projecto [1]. A munição foi evoluindo até se chegar ao conceito de 2012, o FIREND® [2]. As evoluções foram fruto de vários estudos e de ensaios com protótipos. Os resultados obtidos tiveram grande impacto no 2º e 3º ano do projecto, principalmente a nível do desempenho dos componentes e no perfil do projectil. No 4º ano do projecto, Castanheira introduziu alterações, que não sendo funcionais, facilitaram o seu processo de fabrico [2].

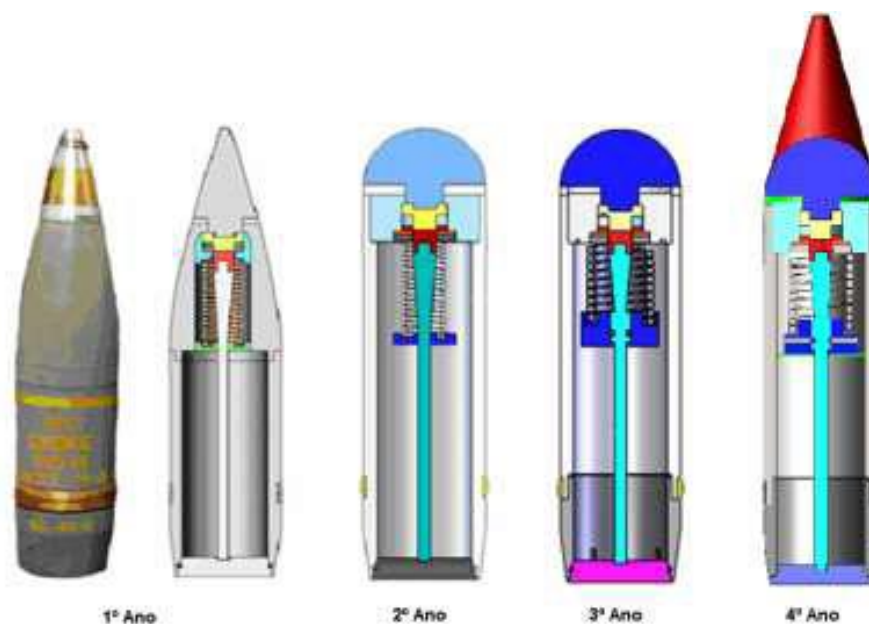


Figura 2.10 – Conceito obtido por engenharia inversa e as 3 evoluções [2].

O mecanismo funciona da seguinte forma [1]:

- A espoleta, com o impacto, recua, esmagando o anel de Policloropreno. Consequentemente, o punção inicia o corte por arrombamento da membrana fusível e o veio transmite a energia à tampa, soltando-a;

- A energia elástica acumulada na mola liberta-se quando o corte da membrana fusível se completar. A força resultante da libertação a mola faz com que esta ejecte a carga do interior do projectil, transmitindo a sua energia à carga através do êmbolo.

Em relação ao projectil concebido em 2005 [1], o FIREND<sup>®</sup> (ver Figura 2.11) [2] sofreu alteração em todos os componentes. No entanto, o princípio de funcionamento manteve-se durante as três evoluções a que este projecto foi sujeito.

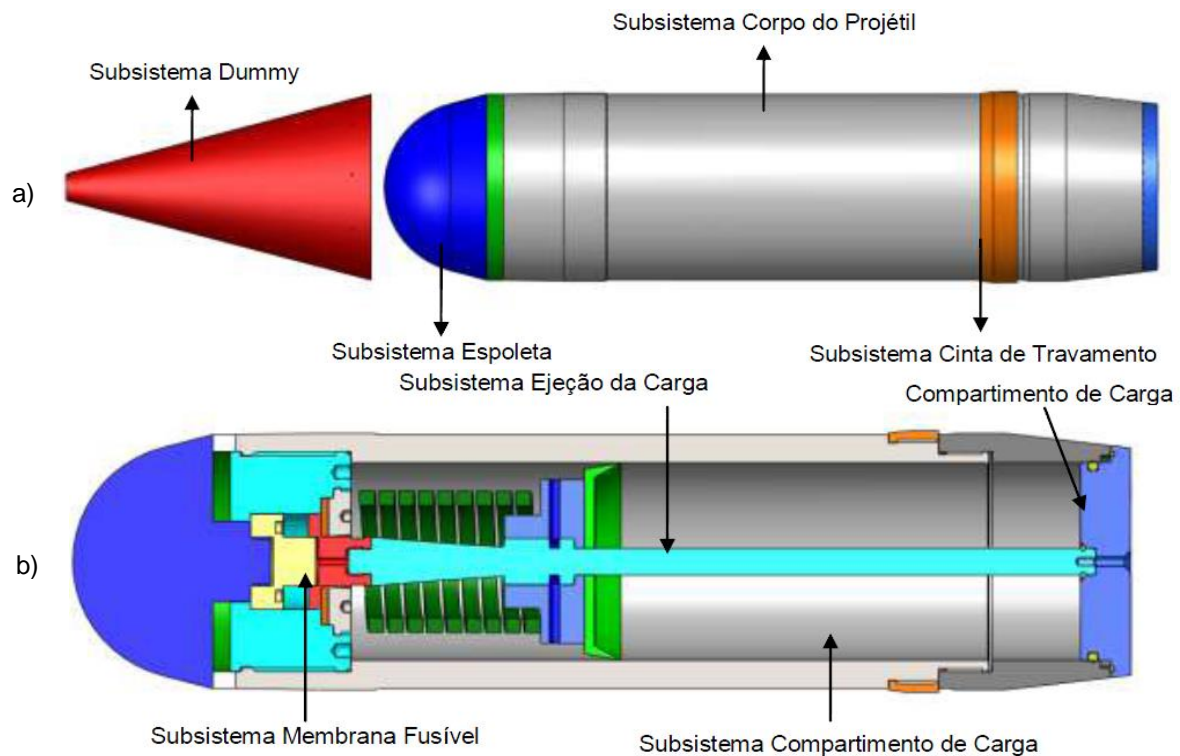


Figura 2.11 – Vista em alçado principal do FIREND<sup>®</sup>; a) Aspecto exterior; b) Vista em corte [2].

No que toca ao perfil e características externas do conceito iniciado por Lima em 2005 [1], este foi concebido por forma a assemelhar-se à munição de 105mm HC estudada, para que se pudessem adaptar as tábuas de tiro utilizadas pela Artilharia. O projectil de 2005 [1] foi sofrendo evoluções graduais, quer na selecção materiais quer na geometria de cada componente, conforme o estudo sobre os mesmos se foi desenvolvendo. As secções 2.3.1 a 2.3.9 descrevem os componentes do FIREND<sup>®</sup> [2].

### 2.3.1. Espoleta

No FIREND<sup>®</sup>, a espoleta tem um formato semiesférico e possui uma zona cônica com um comprimento de 20 mm e com uma inclinação de 25° com a horizontal como mostra a Figura 2.12 b). Segundo Castanheira [2], esta geometria permite manter todas as vantagens da forma semiesférica, e ainda permite acoplar um novo componente, ao qual se atribuiu a designação de *Dummy*. O *Dummy* permite compensar aerodinamicamente o formato do projectil mantendo as propriedades de absorção do impacto. A opção por uma forma semiesférica resulta da deficiente transmissão de energia resultante do impacto no solo. Com a alteração face à forma de uma granada HC, Dias [15] obteve uma maior e mais instantânea absorção de energia de impacto e reduziu-se a probabilidade de penetração no solo. O material usado na mesma é o aço AISI 1045 [2].

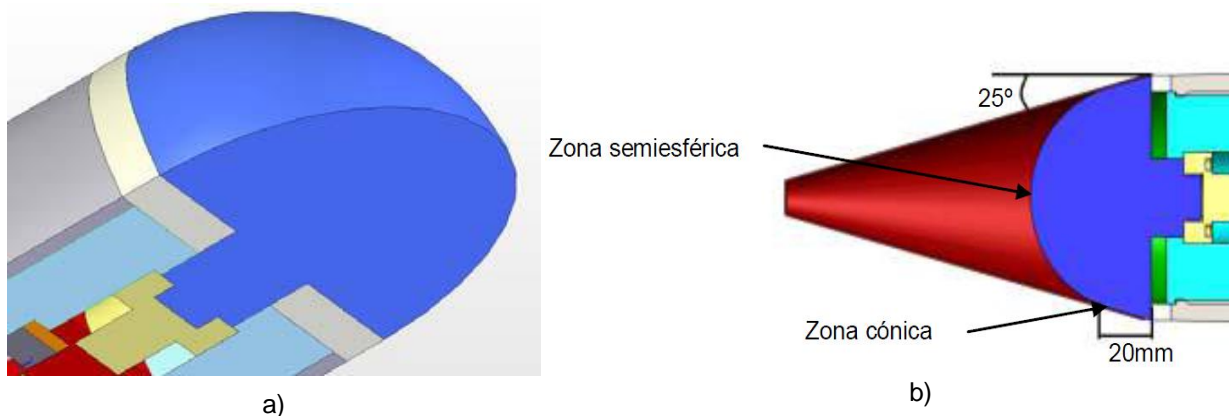


Figura 2.12 – Espoleta do FIREND<sup>®</sup>; a) Espoleta semiesférica [15]; b) Espoleta do FIREND<sup>®</sup> [2].

### 2.3.2. Chassis

O chassis da munição é composto por três partes: o corpo do chassis, o chassis de suporte e o acoplamento (Figura 2.13 a,b,c). No corpo do chassis vai ser enroscado o chassis de suporte, a cinta de travamento e o acoplamento. Além da função de ser a base estrutural da munição, serve também de compartimento para a carga a transportar. Dias [15] optou por esta geometria para se adaptar à espoleta semiesférica e Balula [16] optou por separar o chassis em corpo do chassis e acoplamento para se colocar a cinta de travamento sem recorrer a expansão térmica. O material escolhido foi um tubo mecânico sem costura de denominação Aço DIN 20MnV 6 [16].

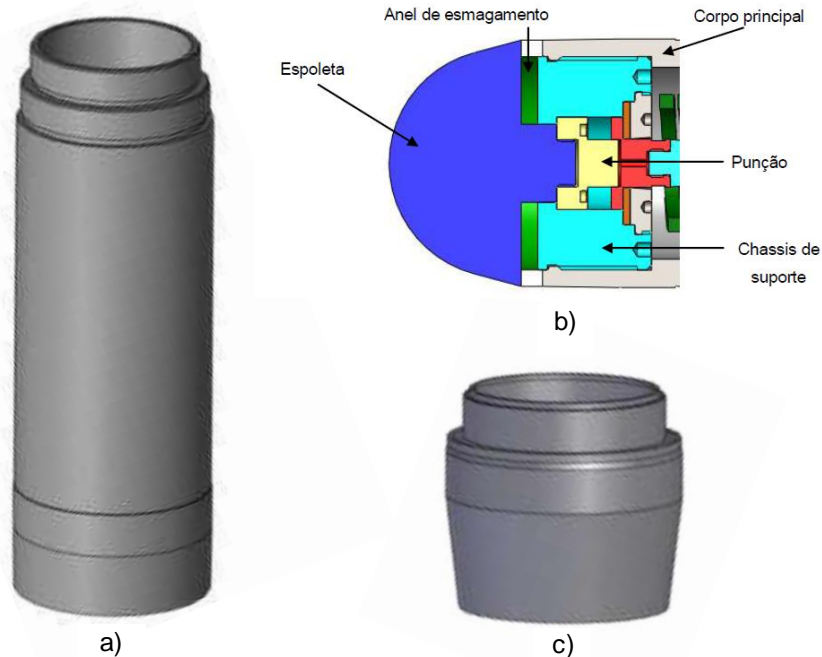


Figura 2.13 – Elementos do chassis do FIREND<sup>®</sup>; a) Corpo do chassis; b) Subsistema da espoleta; c) Acoplamento [2].

### 2.3.3. Veio

O veio (ver Figura 2.14) é simultaneamente funcional e estrutural. No conceito FIREND<sup>®</sup> uma das suas funções estruturais era suportar a inércia da espoleta, para que essa não cortasse a membrana fusível durante a aceleração [15]. Como funcional, deve transmitir a força do impacto à tampa e suportar a mola comprimida através do êmbolo (subsecção 2.3.4) [1].



Figura 2.14 – Veio FIREND<sup>®</sup> [16].

### 2.3.4. Êmbolo

Tal como foi referido no ponto anterior, o êmbolo comprime a mola no local que lhe foi destinado, transmite a força elástica da mola à placa estanque e desta à carga transportada [1]. A ligação entre êmbolo e o veio é feita através de 6 pernos (ver Figura 2.15) [16]. A placa estanque foi introduzida com o intuito de separar a carga do sistema de extracção [2] e permitir o transporte de diversos tipos de carga.

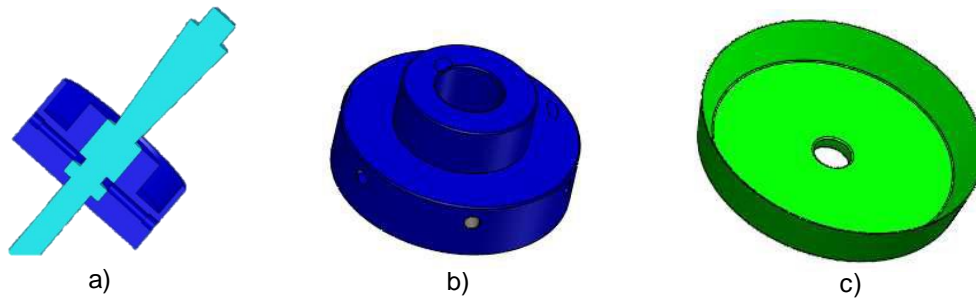


Figura 2.15 – Êmbolo e Placa estanque do FIREND<sup>™</sup>; a) Ligação veio-êmbolo em corte [16]; b)  mbolo FIREND<sup>®</sup> [2]; c) Placa estanque [2].

### 2.3.5. Tampa

Esta peça fecha o compartimento de carga do projectil e   a base do mesmo.   o componente que sofre os maiores esforços na fase inicial do disparo, pois a pressão causada pela deflagra o das pólvoras   directamente aplicada na superfície da tampa e   a força resultante que acelera a muni o dentro do cano. O formato escolhido por Castanheira [2] facilita o encaixe guiado pelo corpo de acoplamento e, permite ainda, em conjunto com os o-rings, vedar o interior do projectil. A tampa encaixa no chassi e   fixa por um parafuso de embeber enroscado no veio (ver Figura 2.16). Devido às temperaturas e pressões envolvidas no momento da deflagra o das pólvoras, Castanheira [2] escolheu para este componente o aço AISI H13.

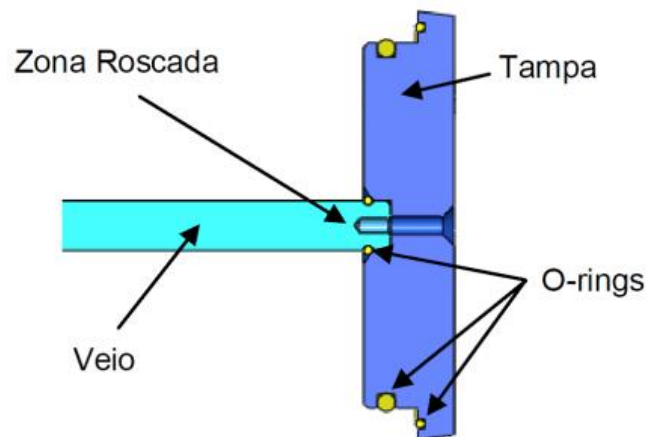


Figura 2.16 – Tampa FIREND<sup>™</sup> com liga o aparafusada ao veio [2].

### 2.3.6. Matriz e Punção

A matriz e o punção apresentados na Figura 2.17 são as ferramentas usadas no corte por arrombamento da membrana fusível (apresentada na subsecção 2.3.7). A força elástica da mola (subsecção 2.3.8) é libertada quando o corte estiver concluído.

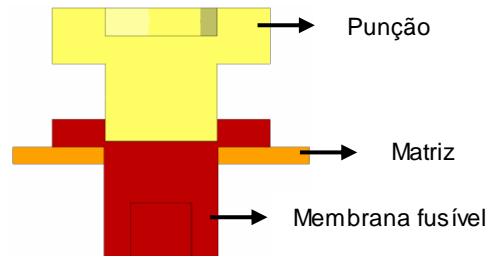


Figura 2.17 – Subsistema de membrana fusível em corte. (Punção a amarelo; Membrana fusível a vermelho; e Matriz a laranja) [15].

Para se aplicar este processo tecnológico é necessário haver na matriz uma zona cilíndrica (ver “Zona direita” na Figura 2.18) e uma zona cónica (ver “Zona inclinada” na Figura 2.18) [15]. As zonas cilíndrica e cónica são materializadas no FIREND<sup>®</sup> por dois componentes como mostra a Figura 2.18. A zona cilíndrica está na matriz e a zona cónica está no suporte da matriz. O suporte da matriz vai fixar-se no chassis de suporte, através de uma ligação roscada, e vai suportar a matriz e restringir o movimento da mesma. “A razão de separação destes dois componentes: matriz e suporte da matriz, deve-se ao facto de o número de cortes a realizar ser diminuto (apenas 1 ou um pouco mais se o sistema for reutilizado) e de que apenas na zona em contacto com a membrana fusível ser necessário que a matriz tenha propriedades específicas de dureza, características de um aço ferramenta para corte por arrombamento, que é mais caro” [16].

O material utilizado para o punção e a matriz é o AISI D3 [16], pois é um aço normalmente usado para cortar aços de construção (caso da membrana fusível).

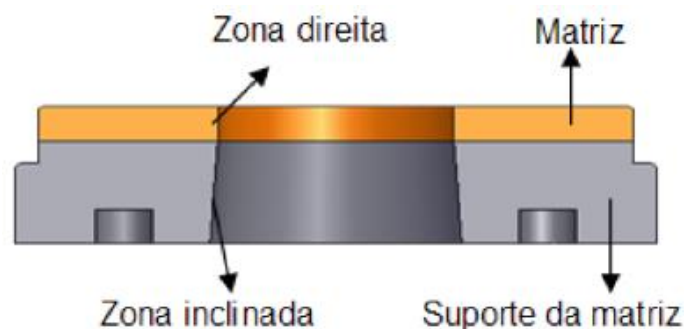


Figura 2.18 – Matriz e suporte da matriz [16].

### 2.3.7. Membrana fusível

A membrana fusível é o componente responsável por libertar a mola (subsecção 2.3.8) no momento do embate. A membrana fusível (ver Figura 2.19) suporta a compressão da mola e os esforços envolvidos no disparo da munição, mas rompe com a energia resultante do embate com o solo. Estas foram concebidas com diferentes espessuras, de forma a serem usadas em diferentes tipos de solos, no entanto, Castanheira [2] verificou nos ensaios que a espessura de 1mm era insuficiente para suportar os esforços envolvidos desde o momento do disparo até à saída do projectil. O material escolhido por Balula [16] para este componente foi o aço AISI 1045.

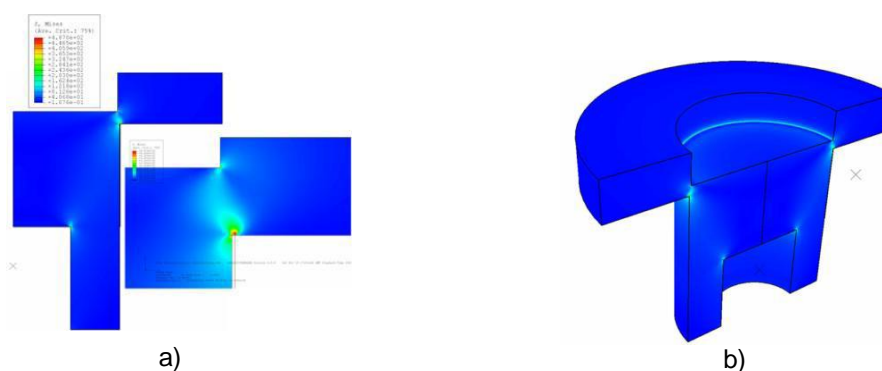


Figura 2.19 – Membrana fusível do FIREND®; a) Pormenor das tensões na membrana de 1mm sob carga da mola [16]; b) Membrana fusível em corte [16].

### 2.3.8. Mola

A mola é a fonte de energia do subsistema de extracção da carga da munição (ver Figura 2.20 – Mola do FIREND®; a) Mola comprimida ; b) Foto da mola ). É comprimida no momento em que se monta a munição no local onde a mesma vai ser disparada. Tem a capacidade de impulsionar a carga e toda a massa dos componentes que têm de ser extraídos, nomeadamente o veio, parte da membrana fusível e o êmbolo. A sua força é libertada com a ruptura da membrana fusível.

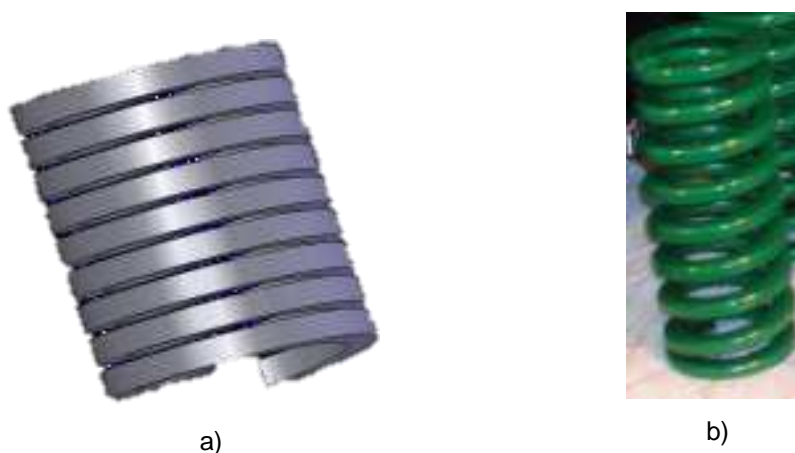


Figura 2.20 – Mola do FIREND®; a) Mola comprimida [16]; b) Foto da mola [2].

### 2.3.9. Cinta de Travamento

A falta de informação sobre este elemento nas munições convencionais levou a que os autores dos projectos anteriores fizessem análises de composição química e dureza para determinar que material estava a ser usado [16]. Foram usados dois materiais com características semelhantes às obtidas nos ensaios efectuados, bronze e latão. A cinta de travamento é ligada por meio de uma rosca, reforçada com um adesivo de resina epóxi e possui uma zona cónica (espessura variável) para facilitar o preenchimento das estrias (ver Figura 2.21) [2].

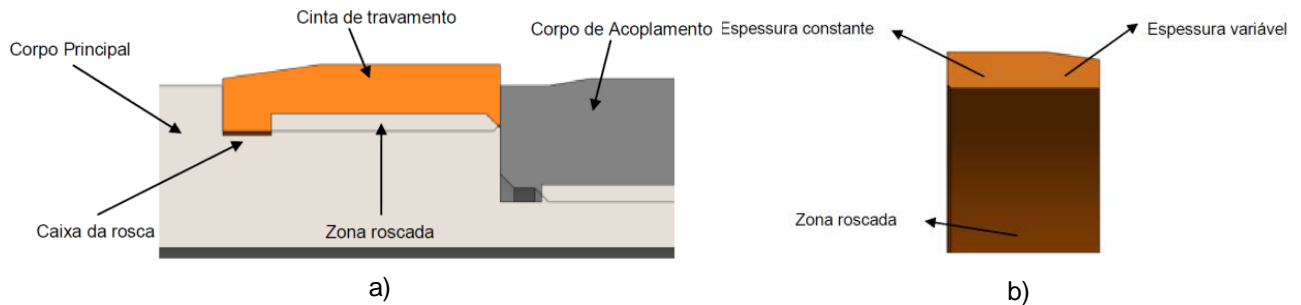


Figura 2.21 – Cinta de travamento do FIREND<sup>®</sup>; a) Vista em pormenor da união entre cinta de travamento e corpo do projectil [2]; b) Vista em corte da cinta de travamento [2].

### 2.4. Análise ao conceito FIREND<sup>®</sup> de 2012

À excepção da cinta de travamento, que já deverá vir junto com o corpo da munição, todos os outros componentes são montados no local para permitir montar as diferentes membranas consoante o tipo de terreno que se irá abordar [1]. A sequência de montagem proposta por Castanheira [2] está ilustrada no Quadro 2.1 (ver no final desta secção). Para a montagem são necessárias ferramentas convencionais e algumas ferramentas concebidas especificamente para o efeito, nomeadamente, a chave de furos, a chave de suporte, a chave TAMAC e a prensa (ver Figura 2.22).

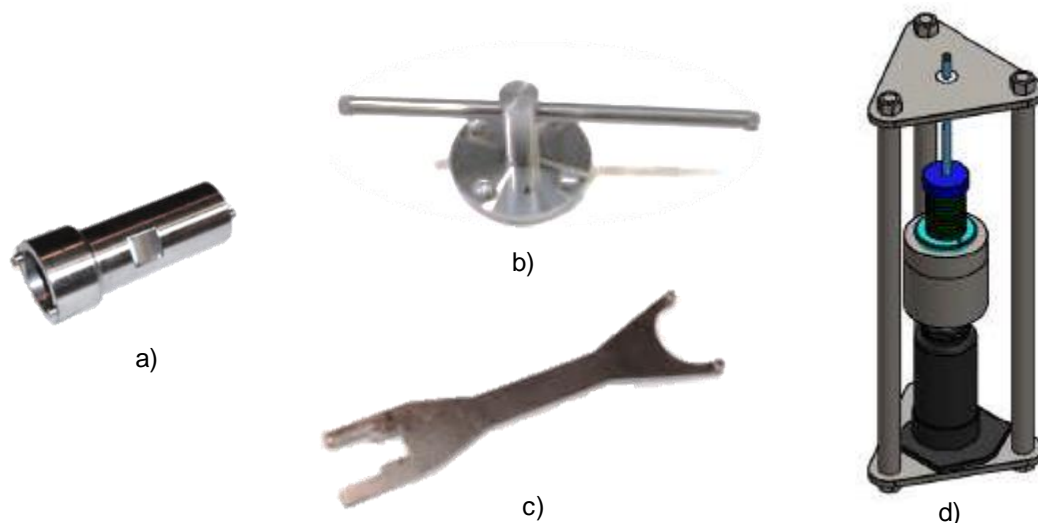


Figura 2.22 – Ferramentas especiais para montagem do FIREND<sup>®</sup> a) Chave de furos; b) Chave TAMAC; c) Chave de suporte; d) Prensa.

Tal como documentado por Castanheira [2], a análise dos ensaios de funcionalidade realizados no polígono de tiro de Vendas Novas em condições de tiro reais com um Obus de Artilharia M101A1 105mm/22, permitiu concluir que:

- A cinta de travamento escolhida não é a mais adequada pois a obturação é deficiente;
- Não há a necessidade do uso do Dummy para efectuar disparos pois o projectil demonstrou um comportamento aerodinâmico muito estável;
- A membrana fusível com 1mm de espessura demonstrou não suportar as forças envolvidas no disparo;
- A dispersão das posições de impacto foi, face ao esperado, bastante reduzida;
- O sistema de ejeção demonstrou não ser eficaz pois as munições penetraram no solo antes de libertarem a carga, ficando esta inutilizável;
- Antevê-se uma reutilização dos componentes recuperados (ver Figura 2.23), desde que aprovados, após uma análise metrológica, para garantir tolerâncias dimensionais e geométricas.

Deve ser referido que os ensaios foram efectuados com “Carga 1”<sup>2</sup> e o solo onde se deram os impactos era arenoso.


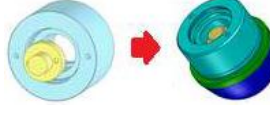
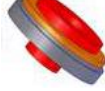
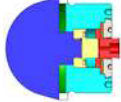


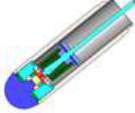


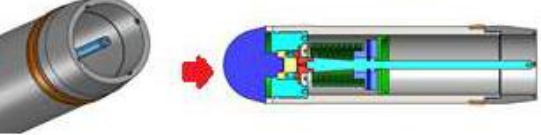
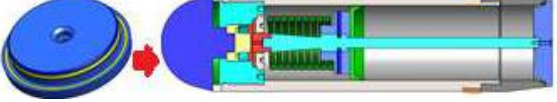


Figura 2.23 – Projectil já extraído do solo junto a um dos locais de impacto.

---

<sup>2</sup> Carga de tiro é a quantidade de pólvora colocada na câmara de combustão do obus. Para tiro curvo as cargas variam de 1 a 7, sendo a carga 1 a carga mínima para efectuar tiro e carga 7 a carga mais potente.

Quadro 2.1 – Sequência de Montagem proposto por Castanheira [2].

1. Colocar o anel de esmagamento na espoleta;	
2. Colocar o punção no chassis de suporte e enroscá-lo na espoleta;	
3. Associar em série a membrana fusível, a matriz e o suporte da matriz;	
4. Enroscar o suporte da matriz no chassis de suporte;	
5. Enroscar o veio na membrana fusível e inserir a mola no veio;	
6. Comprimir a mola com auxílio da prensa e apertar os 6 pernos de fixação;	
7. Enroscar o chassis de suporte no corpo principal do projétil;	
8. Enroscar a cinta de travamento no corpo principal do projétil reforçando com adesivo;	
9. Inserir a placa estanque no veio e encostá-la ao êmbolo;	
10. Montar o acoplamento no corpo principal do projétil;	
11. Colocar a tampa com O-rings e fixá-la com um parafuso.	



### 3. Motivação e justificação de inovações

#### 3.1. Alterações face aos projectos anteriores

O projectil de combate a incêndios deste projecto (ver Figura 3.1) tem três inovações face aos projectos anteriores. O calibre do projectil aumenta de 105mm para 155mm, opta-se pela actuação através de sistema de altimetria em detrimento da actuação por contacto e opta-se uma detonação controlada electronicamente face ao conceito de detonação mecânica.



Figura 3.1 – Proposta de novo projectil visto em perspectiva

O aumento de calibre justifica-se pelas vantagens dos projecteis de 155mm em relação aos de 105mm. Comparando duas granadas equivalentes, a granada explosiva M107 TNT 155mm e a granada explosiva M1 TNT 105mm [17], a primeira pesa cerca de 42kg e contém cerca de 6,62 kg de TNT e a segunda pesa cerca de 18kg contém cerca 2,175 kg de TNT. Apesar dos projecteis de 155mm terem menor mobilidade, face ao peso duas vezes superior ao dos projecteis de 105mm, transportam três vezes mais carga e são mais compactos por não necessitarem de caixa de cartucho<sup>3</sup>. O alcance dos projecteis também é superior usando calibre de 155mm [17].

O projectil de 2012 [2] foi dimensionado para lançar a carga, após o contacto com o solo, ejectando-a a uma altura de 5m, que, no caso de um incêndio numa zona com árvores de grande porte, poderá ser insuficiente. A implementação de um sistema de altimetria no projectil permitirá atacar o fogo por cima e assim melhorar a eficácia do mesmo. Além disso, reduz-se a falta de eficácia associada à detonação por contacto, por deixar de haver dependência do tipo de solo. O desenvolvimento deste sistema de altimetria não é objectivo deste projecto mas está a ser desenvolvido em paralelo por outro aluno da Academia Militar e do Instituto Superior Técnico. Segundo o autor do projecto do sistema de altimetria, o sistema faz a leitura do solo através de um laser e está dimensionado para gerar um sinal quando a altura ao solo for de aproximadamente 20 metros. O sistema de altimetria permitirá, na sua versão final, regular a altura a que o sinal será dado, para se ajustar à velocidade de chegada ao solo. Na Figura 3.2 está representado o sistema de

---

<sup>3</sup> Caixa de cartucho é o invólucro que, em conjunto com uma granada e uma carga de tiro, forma uma munição.

altimetria materializado pelo grupo de medição (laser e foto-receptor) e pelo grupo de controlo (caixa com componentes necessários ao funcionamento do sistema e à iniciação do gerador de gás).

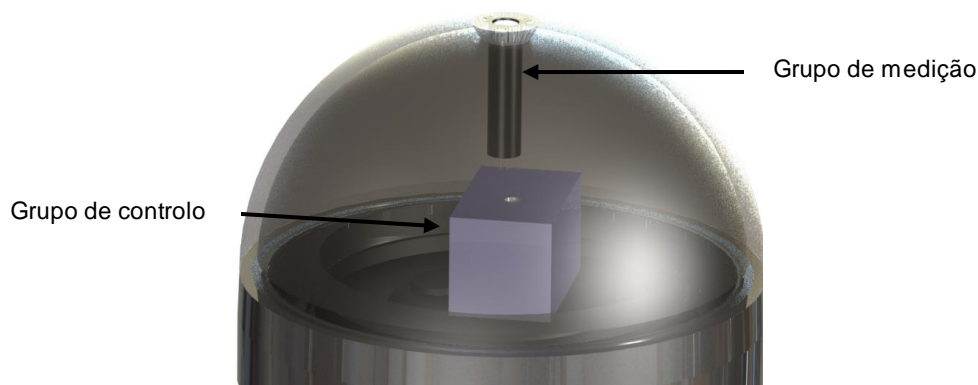


Figura 3.2 – Sistema de altimetria.

Nos testes reais efectuados por Castanheira [2], este concluiu que o sistema de ejeção não era eficaz porque as munições penetravam no solo antes de libertarem a carga, ficando inutilizáveis. A reduzida eficácia deve-se à detonação por impacto e à elevada velocidade de chegada ao solo do projectil (na ordem das centenas de metros por segundo). A opção por uma detonação controlada electronicamente tem o intuito de melhorar a eficácia do sistema de ejeção visto que aumenta a compatibilidade com o sistema de altimetria.

Associada à detonação electrónica está um gerador de pressão que substituirá a mola usada em versões anteriores. Com “Carga 7” a velocidade terminal de um projectil de 155mm é na ordem dos 500 m/s. No momento em que o sistema de altimetria detecta que o projectil se encontra a 20m do solo, o intervalo de tempo que decorre até ao embate no solo é da ordem das centésimas de segundo. Para se ejectar a carga nesse intervalo de tempo é necessário que esta se separe do projectil com elevada aceleração. Para isso recorreu-se à ideia de ejectar a base, apresentada na secção 2.2 e também usada pelo FIREND<sup>®</sup>, criando uma abertura suficiente para uma eficaz extracção da carga.

O espaço disponível para armazenar a energia necessária tem de ser minimizado para se maximizar a capacidade de carga. Este constrangimento direcciona-nos para o uso de explosivos, pois é necessário aumentar a pressão no interior do compartimento de carga em centésimos de segundo. No entanto, devido às raízes do projecto e por se pretender manter o conceito de “sistema inerte”, foi necessária encontrar uma alternativa à utilização de explosivos. A escolha recaiu nos micro geradores de gás usados em airbags (ver Figura 3.3). Estes micro geradores de gás geram um aumento de pressão na ordem dos centésimos de segundo [18] e são componentes modulares (*plug & play*). Segundo um artigo [19], estes gases também contribuem para a extinção de incêndios devido às suas propriedades.

A dificuldade da associação do sistema de altimetria ao sistema de ejeção mecânica e o aumento do espaço disponível para transporte de carga (aproximadamente 7x superior ao FIREND<sup>®</sup>) contribuíram para essa decisão.



Figura 3.3 – Volante com sistema de *airbag* (*gerador de gás e bolsa*) em corte [20].

Efectuaram-se alguns cálculos para se ter uma ideia dos intervalos de tempo com que se está a lidar. Assumiram-se valores com base nos ensaios balísticos e nas características da mola [2]:

- Velocidade no embate ao solo,  **$v_s=140\text{m/s}$**
- Distância percorrida após embate no solo,  **$d_s=1,5\text{m}$**
- Constante de elasticidade da mola,  **$k=84400\text{N/m}$**
- Massa total a ser extraída,  **$m_t=5\text{kg}$**
- Compressão inicial da mola,  **$d_m=76\text{mm}$**

Primeiro, calcula-se o intervalo de tempo decorrido entre o corte da membrana e a ejeção da carga. Assume-se que a ejeção da carga está concluída no momento em que a carga já se deslocou 200mm em relação ao corpo da munição. Este deslocamento corresponde à totalidade da carga no exterior do corpo do projectil.

Por se tratar de uma aceleração variável, devido ao comportamento elástico da mola, efectua-se os cálculos recorrendo às equações (3.1) e (3.2) do Movimento Harmónico Simples com as devidas simplificações.

$$v(t) = A * \omega * \sin(\omega t - \varphi) \quad (3.1)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.2)$$

Calcula-se a fase acelerada da carga correspondente à mola ainda comprimida. Como no instante inicial a velocidade é nula:

$$\begin{aligned}\sin(\omega t - \varphi) &= 0 \leftrightarrow \\ t = 0 &\rightarrow \varphi = 0\end{aligned}\quad (3.3)$$

No momento em que a mola deixa de exercer força a velocidade é máxima:

$$\begin{aligned}\sin(\omega t - 0) &= 1 \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \omega t &= \frac{\pi}{2}\end{aligned}\quad (3.4)$$

Obtém-se o tempo necessário a percorrer os primeiros 76mm de deslocamento e a velocidade com que a carga vai animada no momento em que deixa de sofrer aceleração.

$$\omega = \sqrt{\frac{84400}{5}} \rightarrow t_1 = \mathbf{0,01209\ s}\quad (3.5)$$

$$v_{max} = A * \omega * 1 = 0,076 * \sqrt{\frac{84400}{5}} = \mathbf{9,87415\ m/s}\quad (3.6)$$

Após a fase acelerada, calcula-se a fase do deslocamento dos 76mm aos 200mm. Nesta fase, a carga tem velocidade constante.

$$\begin{aligned}0,2 &= 0,076 + 9,87415t + 0 \leftrightarrow \\ \leftrightarrow t_2 &= \mathbf{0,01256\ s}\end{aligned}\quad (3.7)$$

Soma-se os resultados das equações (3.5) e (3.7) e obtém-se o Tempo de ejeção, “ $t_e$ ”.

$$\begin{aligned}t &= t_1 + t_2 \leftrightarrow \\ \leftrightarrow t_e &= \mathbf{0,02465\ s}\end{aligned}\quad (3.8)$$

Com base nos resultados dos ensaios balísticos realizados com o projectil de 105mm, calcula-se o intervalo de tempo decorrido desde o embate do projectil com o solo até à sua imobilização. Calcula-se, através de um sistema de equações, simultaneamente o tempo e aceleração média. Ao intervalo de tempo obtido chama-se Tempo de paragem, “ $t_p$ ”.

$$\begin{cases} 1,5 = 0 + 140t + \frac{1}{2}at^2 \\ 0 = 140 + at \end{cases} \rightarrow \begin{cases} t_p = 0,02143 \text{ s} \\ a = -6533, (3) \text{ m/s}^2 \end{cases} \quad (3.9)$$

A ordem de grandeza do Tempo de ejeção e do Tempo de paragem é a mesma mas, o Tempo de ejeção é ligeiramente superior ao Tempo de paragem.

Com estes dados conclui-se que, nas condições em que se efectuaram os ensaios balísticos, a ejeção só foi concluída depois do projectil já se encontrar no subsolo, fortalecendo a opção por detonação controlada electronicamente.

### 3.2. Requisitos e Constrangimentos

Foram definidos requisitos de concepção a ter em atenção, no projecto do projectil e dos seus componentes:

1. O *design* do projectil e do seu sistema de ejeção têm de ser compatíveis com a utilização de um sistema de altimetria;
2. O calibre do projectil é 155mm;
3. As características dimensionais do projectil deverão permitir o uso das tábuas de tiro de artilharia existentes;
4. O compartimento de carga deve ser estanque de, forma a preservar a carga e os componentes electrónicos;
5. Sempre que possível, devem ser utilizados materiais e componentes disponíveis no mercado e assim, reduzir tempo de produção, custos e desperdício.

Existem constrangimentos de projecto relacionados com o requisito 3. Tal como os projecteis convencionais, também para o projectil deste projecto é necessário fazer cálculos de tiro. As tábuas de tiro são usadas pelos militares de Artilharia para facilitar e agilizar o cálculo do tiro. Essas tábuas estão relacionadas com o arma com que se vai efectuar o tiro e com as características do projectil usado. Para se usar as tábuas de tiro com o projectil de combate a incêndios, este deve assemelhar-se a um projectil convencional no que toca a dimensões exteriores e ao peso.

Com o intuito de se obter mais informação sobre os projecteis convencionais, efectuou-se uma visita à IDD. Na visita, foram dadas algumas explicações sobre o processo de produção dos

projécteis, funcionamento de alguns dos seus componentes e sobre o processo de desmantelamento de material explosivo sobre o qual a IDD é responsável. No seguimento desta visita, foi efectuada o processo de *reverse engineering* a uma granada explosiva M107 TNT 155mm inerte, cedida pelas IDD. Registou-se as dimensões exteriores dessa granada com o objectivo de as adaptar ao projéctil de combate a incêndios (ver Figura 3.4). Além das medições efectuadas, também se obteve dados da granada explosiva nas fichas de material do Exército [17]. Esses dados definiram constrangimentos de diâmetro exterior, comprimento máximo e peso do projéctil.

Segundo as fichas de material [17], o peso da granada explosiva é 42,150 kg e o comprimento sem espoleta é aproximadamente 607 mm. A estes dados é necessário adicionar os valores referentes à espoleta. Usando como referência a espoleta de aproximação VT M732 [17], o peso e comprimento total aproximados da granada com espoleta é 43 kg e 700mm, respectivamente.

Quanto ao diâmetro existem 2 valores críticos: o diâmetro da cinta de travamento e o diâmetro das cintas de guiamento. Estes valores foram medidos no exemplar inerte. A cinta de travamento tem de ter um diâmetro superior ao diâmetro interior do cano para que haja deformação plástica na cinta para que haja obturação do cano e preenchimento das estrias (ver secção 4.3). As cintas de guiamento correspondem às duas zonas do projéctil identificadas na Figura 3.4, que fazem o guiamento do projéctil no interior do cano do obus. Estas zonas da granada têm diâmetro exterior igual ao diâmetro interior do cano do obus e assim, evitam qualquer oscilação do projéctil.



Figura 3.4 – Cotas de atravancamento da granada explosiva M107 (Centro de massa sem espoleta).

### 3.3. Conceito geral

Este projectil apresenta um formato semelhante ao FIREND® mas com as dimensões delimitadas pela granada explosiva M107 TNT 155mm.

Os procedimentos de tiro para o projectil de combate a incêndios são os iguais aos adoptados para as granadas convencionais. Apenas na fase final da trajectória começam as diferenças de funcionamento. O sistema de altimetria monitoriza a distância ao solo (altitude) e gera um sinal a uma altitude pré-definida. Nesse instante, é deflagrado o micro gerador de gás e desencadeia-se o processo de ejeção da carga. O súbito aumento de pressão e temperatura serão transmitidos à carga transportada e, através desta, à base. Consequentemente, os pernos que suportam a base serão cortados e a carga será ejectada.

Na Figura 3.5 está representada a base já com o perno, pino de alinhamento e o-ring.

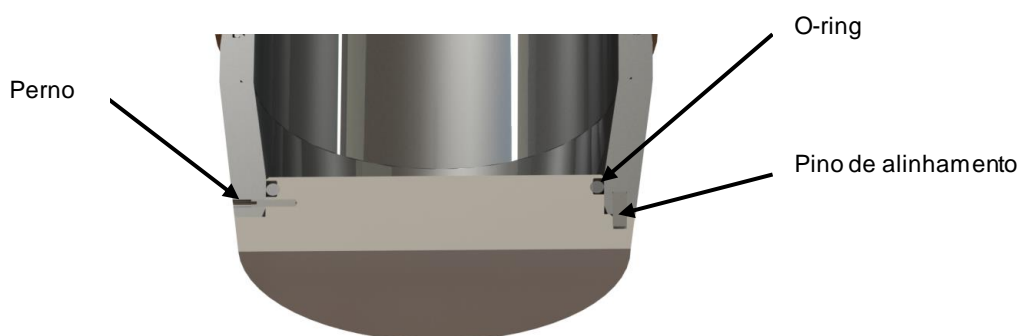


Figura 3.5 – Zona da base vista em corte.

Para se dar uma ideia do potencial deste projectil, fez-se uma comparação com extintores portáteis (Figura 3.6 a). Em termos de capacidade de carga assumiu-se que o volume interior disponível no projectil rondará os 7,5 dm<sup>3</sup>. O extintor portátil com capacidade de carga mais aproximada é o extintor de 7,7 dm<sup>3</sup> que corresponde ao extintor portátil de 6 kg de pó químico. Segundo os parâmetros da norma portuguesa NP 1589 [21], este extintor tem eficácia para proteger uma área de aproximadamente 450 m<sup>2</sup> contra incêndios da classe A (sólidos)<sup>4</sup>. Por esta razão assumiu-se a área ocupada por 7,5 dm<sup>3</sup> de carga com 0,1 mm de espessura, ou seja, 75 m<sup>2</sup>.

A escolha de um químico retardante para ser utilizado no projectil de combate a incêndios florestais não faz parte dos objectivos para este projecto. Esse estudo será proposto com trabalho a desenvolver no futuro, no entanto, investigando um pouco mais aprofundadamente este tema, obteve-se alguma informação sobre um retardante denominado Novec™ 1230 da 3M™. Segundo o fabricante tem uma excelente capacidade para extinguir incêndios e é normalmente utilizado como produto extintor, pulverizando-o no caso de incêndio, em motores de carros de corrida, motores de avião, motores de embarcações, salas de computadores, armazéns de produtos inflamáveis, bibliotecas, arquivos, entre outros locais que possam potenciar grandes perdas em caso de incêndio [22]. O fabricante afirma que este produto é o substituto ecológico dos Halon (abordados

---

<sup>4</sup> Considerou-se Incêndio Florestal como um incêndio com combustível sólido (Classe A) e de Risco Grave

sucintamente na secção 2.1) e é facilmente vaporizado pois tem uma temperatura de ebulição de 49,2°C estando líquido em condições de pressão e temperatura ambiente. Estas características são favoráveis às nossas condições de tiro pois o transporte é feito na fase líquida, permitindo levar uma massa superior em relação à fase gasosa.

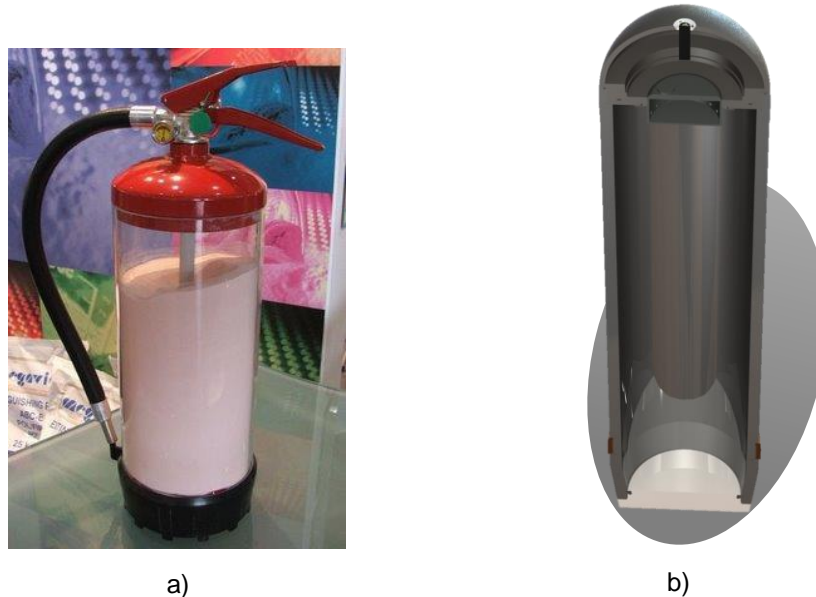


Figura 3.6 – Comparação entre extintor e projectil de combate a incêndios;  
a) Extintor portátil de pó químico [23]; b) Projectil vazio em corte.

Definiu-se 7 componentes básicos e 3 grupos de peças que no seu todo formam este sistema de combate a incêndios. Estes são: corpo principal (A), corpo secundário (B), base (C), cinta de travamento (D), corpo da espoleta (E), tampa da espoleta (F), gerador de gás (G), grupo de o-rings (H), grupo de parafusos (I) e grupo de pinos (J). Estes elementos serão todos apresentados no capítulo 4 e serão dimensionados no capítulo 5.

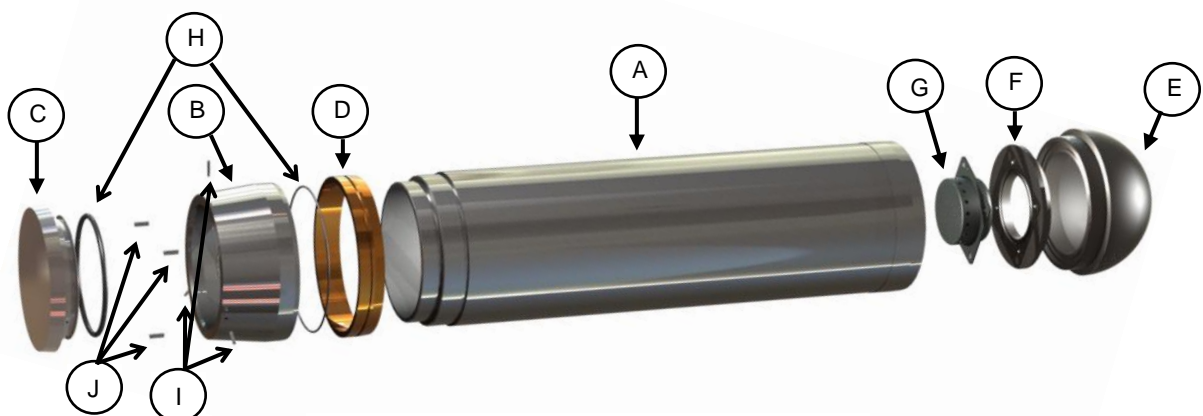


Figura 3.7 – Projectil em vista explodida.

Seleccionou-se como material de referência o aço AISI 1045, por ser considerado um aço de boa maquinabilidade, com boa resistência mecânica, relativamente barato e disponível no mercado nacional [24]. Qualquer componente que necessite outro tipo de material será devidamente justificado.

## 4. Projecto dos componentes do projectil

### 4.1. Corpo principal (A)

Tal como o nome indica, este componente é o esqueleto do projectil. O conjunto formado pelo corpo principal e o corpo secundário (secção 4.2) constitui o chassis do projectil. Optou-se por dividir o chassis em duas partes para possibilitar a reutilização de componentes. Dependendo do tipo de solo e da velocidade de impacto, nem todos os componentes sofrerão deformação plástica e, por isso, nos casos em que a análise metrológica dos componentes já utilizados, garanta que as dimensões se encontram dentro das tolerâncias, os componentes poderão ser reutilizados.

Na extremidade posterior existem duas zonas roscadas (ver Figura 4.1). A zona roscada “A” destina-se à montagem da cinta de travamento (secção 4.4) e a zona roscada “B” destina-se à montagem do corpo secundário (secção 4.2). Na extremidade anterior situa-se a cinta de guiamento.

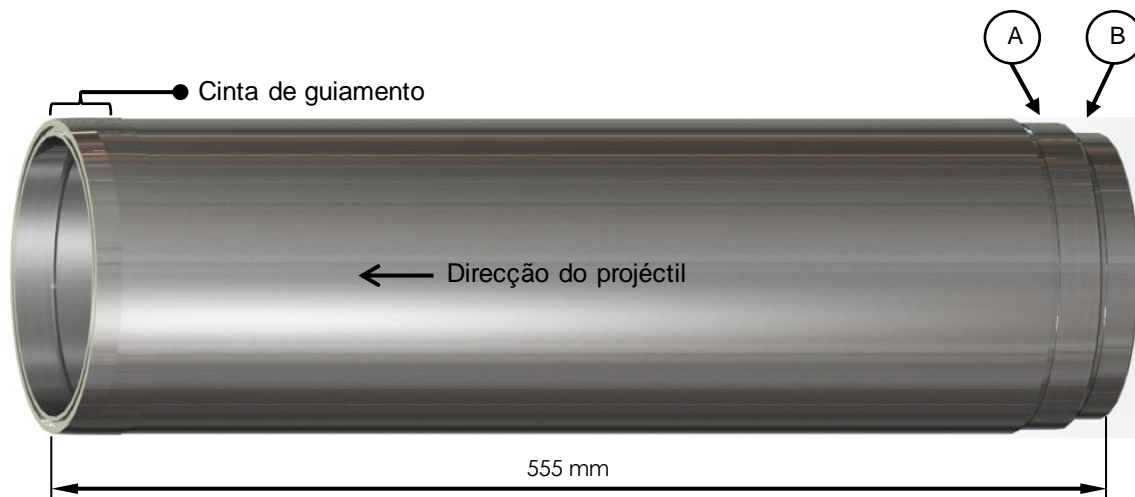


Figura 4.1 – Corpo principal do projectil visto em perspectiva.

No seu interior estará contido cerca de 90% do volume de carga e o seu controlo dimensional é de extrema importância.

- Devido à existência de uma cinta de guiamento é fundamental garantir a tolerância dimensional e estado de superfície da mesma devido ao contacto directo com a superfície interior do cano do obus. À semelhança da granada M107, a restante face exterior tem um diâmetro inferior ao calibre do cano para evitar atrito desnecessário.
- No corpo secundário (secção 4.2) também existe uma cinta de guiamento e, por isso, o toleranciamento geométrico entre cintas de guiamento é um aspecto crítico. A cilindridade e coaxialidade das duas cintas são essenciais e estão relacionadas com a ligação roscada e pelo respeito das tolerâncias do corpo secundário.
- A coaxialidade da cinta de travamento, igualmente ligada por uma zona roscada, tem de ser garantido para que haja a correcta obturação do cano do obus.

O controlo dimensional é necessário para garantir estes três pontos. O não cumprimento das tolerâncias pode ser prejudicial ou mesmo catastrófico para meios e pessoal.

O material escolhido para este componente foi o aço DIN 20MnV6. Devido ao requisito 5 da secção 3.2 (pág. 23) optou-se pelo uso de um tubo sem costura neste componente, reduzindo significativamente o tempo de maquinagem e o desperdício de material. Fez-se uma pesquisa nos fornecedores nacionais de aço e dos aços disponíveis, este tem propriedades mecânicas ligeiramente superiores ao nosso material referência: aço AISI 1045.

## 4.2. Corpo secundário (B)

Este componente, além de suportar parte da pressão no sentido radial, tem o objectivo de transmitir as forças exercidas na base para o corpo principal do projectil. Durante a fase de voo o seu formato contribui para a aerodinâmica do projectil. As dimensões exteriores são baseadas nas dimensões da granada explosiva M107, no entanto, estas dimensões sofreram alguns ajustes para que o ângulo de conicidade beneficie o comportamento aerodinâmico do projectil. Segundo um estudo [25], o perfil ideal desta fracção de qualquer projectil deverá ter  $3/4$  do calibre em comprimento com um ângulo de conicidade de  $7^\circ$ .

No corpo secundário estão presentes três furos passantes e três furos cegos (ver Figura 4.2). Os três furos cegos destinam-se à montagem, com ajustamento ligeiramente preso, dos pinos (secção 4.10) que servirão para o alinhamento da base (secção 4.3) durante a montagem do projectil. Os três furos passantes destinam-se à montagem dos pernos (secção 4.9) de fixação da base.

Devido ao requisito 3 da secção 3.2, o ângulo de conicidade do corpo secundário resultará de um compromisso entre as dimensões apresentadas pelo estudo aerodinâmico e as dimensões obtidas pelo processo de engenharia inversa.

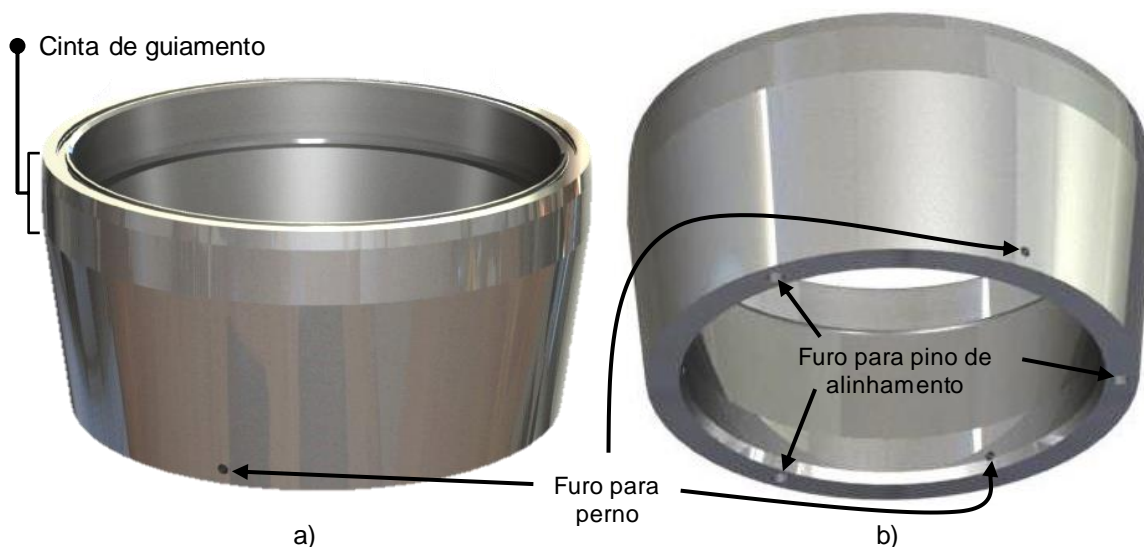


Figura 4.2 – Corpo secundário visto em perspectiva: a) Vista superior; b) Vista inferior.

À semelhança do corpo principal, o material escolhido para o corpo secundário é o aço DIN 20MnV6.

### 4.3. Base (C)

A base tem duas funções muito importantes. A primeira é suportar as pressões desenvolvidas no momento do disparo e a segunda é separar-se rapidamente do restante projectil apenas no momento de ejeção da carga. Para isso, a tampa foi dimensionada com base nos valores máximos de pressão obtidos pelas cargas M4A2 utilizadas pelo Exército Português [17], de aproximadamente 304MPa [26]. A base será segura por meio de 3 pernos que deverão sofrer corte total no momento da ejeção, (falaremos destes pernos posteriormente na secção 4.9). O seu fundo é plano e o perfil exterior acompanha o ângulo de conicidade do corpo secundário (secção 4.2). As duas faces (ver Figura 4.3) em contacto com o corpo secundário foram desenhadas para conferir a este conjunto: estanquidade, alinhamento e fixação.

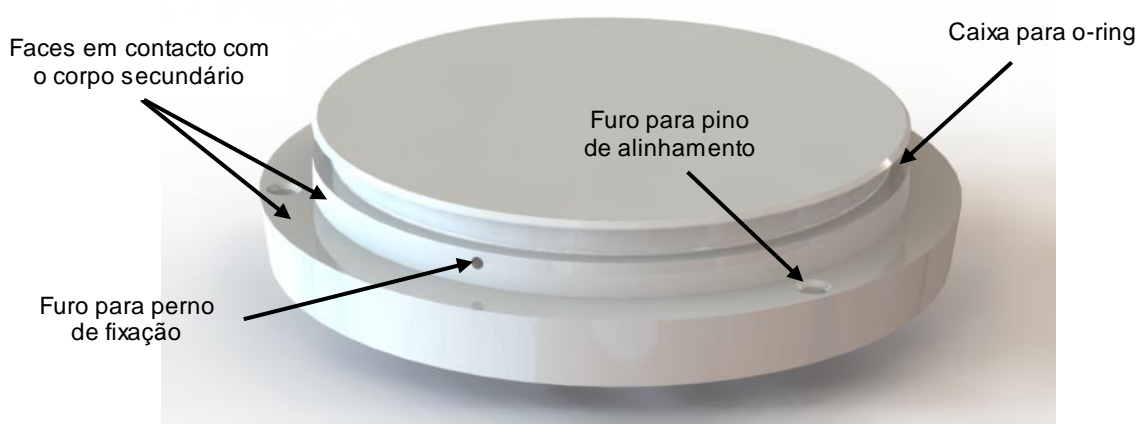


Figura 4.3 – Base vista em perspectiva.

Apesar da escolha de um químico retardante não ser objectivo deste projecto, considerou-se que se iria usar o produto químico apresentado na secção 3.3, o Novec™ 1230 da 3M™. O Novec™ encontra-se no estado líquido à temperatura e pressão ambiente [22], tornando a estanquidade essencial a partir do instante em que o projectil recebe a sua carga. Optou-se pela utilização de o-rings tanto na base, como em todas as outras ligações entre peças.

O correcto alinhamento da base, quando montada no corpo secundário, melhora a estanquidade e é necessário para a colocação dos pernos de fixação (secção 4.9). Após a colocação da base no seu local, um o-ring vai ser comprimido dentro da caixa desenhada para esse efeito e vai exercer uma reacção nas faces com as quais está em contacto. Devido ao atrito gerado neste contacto, a rotação da base para o alinhamento dos furos dos pernos em relação ao corpo secundário é dificultada e, por essa razão, decidiu-se utilizar pinos de alinhamento (ver Figura 4.4). Estes pinos serão montados com ajuste no corpo secundário, espaçados 120° entre si e situam-se opostamente aos furos em relação ao eixo de rotação. Na base, o ajustamento é deslizante e a sua colocação só é possível quando devidamente alinhada.

A fixação da base no corpo secundário é obtida através de 3 pernos igualmente espaçados. Estes evitam que a base se separe durante a fase de voo e pretende-se que sofram corte total no momento da ejeção da carga.

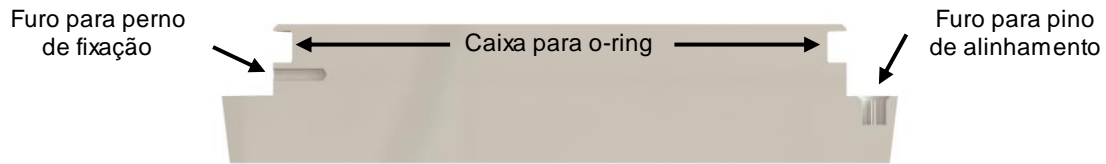


Figura 4.4 – Base em corte vista de alçado principal.

O material escolhido para a base é o aço-ferramenta AISI H13 devido, não só, à sua resistência mecânica, mas também à sua resistência térmica.

#### 4.4. Cinta de travamento (D)

A cinta de travamento (Figura 4.5) tem duas funções que estão relacionadas com o tiro de artilharia. É o componente responsável por imprimir movimento de rotação ao projectil, essencial para sua estabilidade de voo e por efectuar a obturação da munição no cano, por forma a aproveitar a totalidade de gases gerados pela carga de tiro.



Figura 4.5 – Cinta de travamento vista em perspectiva.

Uma das situações críticas deste componente é a deformação plástica a que este é sujeito. Para induzir o movimento de rotação no projectil, a cinta de travamento tem de se adaptar às estrias do cano do obus. As estrias (ver Figura 4.6) são sulcos presentes na superfície interior de um cano, dispostos de forma helicoidal ao longo do mesmo e para preencher estes espaços, a cinta deve ter um diâmetro ligeiramente superior ao diâmetro interior do cano e ser de um material dúctil. Quando a cinta se deforma no interior do cano do obus, vai exercer uma forte compressão na parede do cano, denominada "*Interference Pressure*", que até pode ser superior à pressão exercida pelos gases gerados pela carga de tiro [27]. Devido à existência desta pressão, faz-se uma caixa circular na superfície exterior da cinta de travamento, criando espaço para que algum material da cinta possa escoar durante a sua deformação e assim, reduz-se a "*Interference Pressure*", prejudicial para o desgaste do cano [27].



Figura 4.6 – Cano estriado em corte [28].

Quanto ao perfil (ver Figura 4.7), a cinta de travamento é composta por uma zona cilíndrica e por uma zona cónica. Na zona cilíndrica situa-se uma caixa destinada à redução da pressão entre cano e cinta. A zona cónica tem o intuito de facilitar a entrada da cinta de travamento no interior do cano.

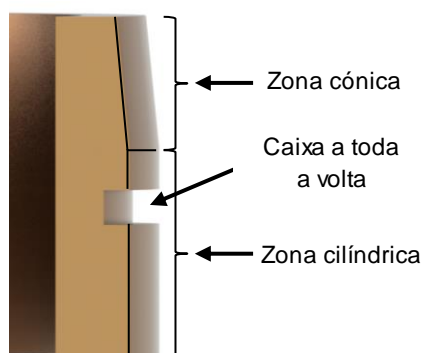


Figura 4.7 – Perfil da cinta de travamento visto em corte.

O material seleccionado foi escolhido com base em valores fornecidos verbalmente na visita à IDD. Em relação à cinta de travamento, foi-nos dito que a composição química era de 95% Cobre e 5% de Zinco, ou seja, um latão. Com alguma pesquisa em base de dados de materiais, encontrou-se a denominação desse metal: CuZn5 ou Wr. N. 2.0020 (número *Werkstoff*). No entanto, sem saber que tratamento térmico este deve levar ou que valor de dureza deve ter, assumiu-se os valores médios das medições de dureza, efectuadas por Castanheira<sup>5</sup> à cinta de travamento da granada explosiva de 105mm, aproximadamente 120 HV [2]. Segundo o catálogo de duas empresas [29] [30], o latão CuZn5 R340 corresponde a essas características.

---

<sup>5</sup> Por questões logísticas e burocráticas, não foram efectuados ensaios de dureza à cinta de travamento de uma granada convencional de 155mm. O valor de dureza da cinta de 155mm pode não corresponder ao valor assumido.

## 4.5. Corpo da espoleta (E)

O corpo da espoleta é um dos componentes que pertence ao conjunto espoleta. Espoleta é o conjunto compreendido por sistema de altimetria, gerador de gás, tampa da espoleta, corpo da espoleta e respectivos parafusos de fixação e o-rings. Desta forma, o conjunto espoleta terá as mesmas funcionalidades que uma espoleta convencional. O nome do conjunto é herdado das espoletas usadas em munições convencionais, pois o funcionamento e objectivo do conjunto espoleta é o mesmo que o das espoletas convencionais. A principal diferença para as convencionais é o seu formato, visto que o espaço disponível no interior da espoleta deste projecto é maior e permite a adaptação para deflagração da carga por tempo, aproximação ou impacto.

O requisito 1, relacionado com o sistema de altimetria, implica que na zona anterior do projectil tenha capacidade de acomodar o sistema de altimetria. É necessário espaço livre para a instalação dos componentes e a existência de um furo que permita a interacção entre o grupo de medição do sistema de altimetria e o exterior do projectil (ver Figura 4.8).

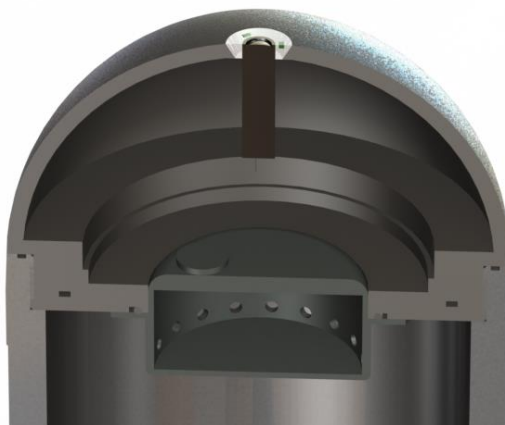


Figura 4.8 – Espaço interior disponível na espoleta.

Decidiu-se manter o perfil semiesférico (ver Figura 4.9) dos projectos anteriores por permitir um maior volume de carga no corpo principal (a forma ogival tem um volume de carga inferior) e mais espaço para a colocação do sistema de altimetria. Além disso, demonstrou ser aerodinamicamente viável nos ensaios balísticos realizados por Castanheira [2] para um projectil de calibre 105mm. No entanto, é preciso lembrar que os ensaios foram realizados com a “Carga 1”, e consequentemente, com velocidades muito inferiores<sup>6</sup> às velocidades máximas que se podem atingir com “Carga 7”.

Existem duas ligações roscadas e uma ligação por adesivo neste componente. A zona roscada externa (A) faz a ligação com o corpo principal e a interna (B) com a tampa da espoleta. Ambas as ligações são complementadas por um o-ring. A ligação por adesivo (C) serve para fixar o grupo de medição do sistema de altimetria.

---

<sup>6</sup> Para uma granada explosiva M107 TNT 155mm [8] a velocidade de saída tabelada para o Obus M114A1 é 207,3 m/s para Carga1 e 563,9 m/s para Carga 7.

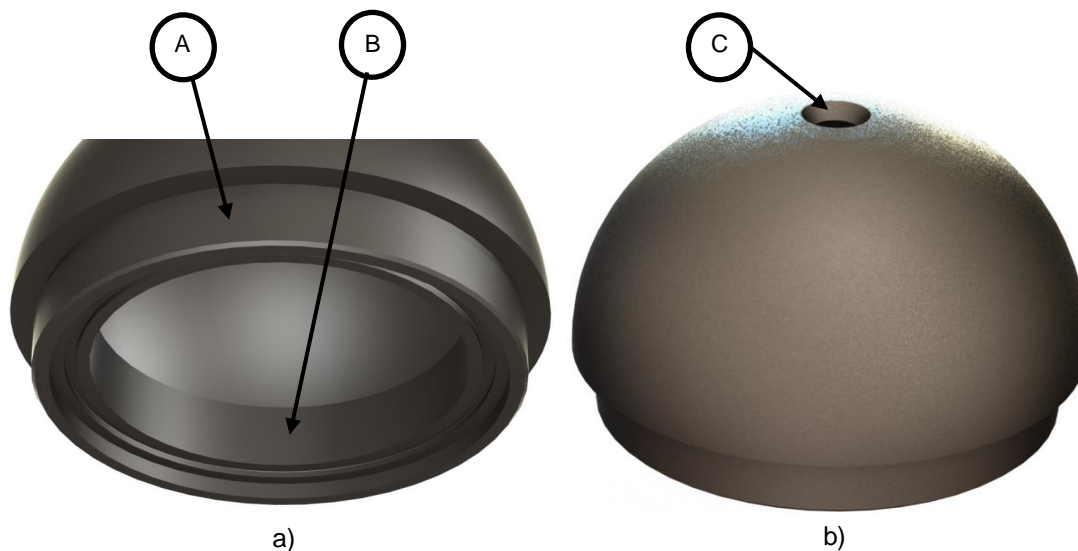


Figura 4.9 – Espoleta vista em perspectiva: a) Vista inferior; b) Vista superior.

O grupo de medição faz parte do projecto do sistema de altimetria, já referido na secção 3.1, no entanto, foi feita uma proposta inovadora de *design* do grupo de medição com base nos requisitos do sistema de altimetria. A proposta consiste num laser centrado com 3 foto-receptores igualmente espaçados em seu redor. Estes componentes seriam constituídos num só componente através de um polímero em forma de anel cónico como mostra a Figura 4.10. Desta modo, este conjunto ficaria robusto e seria aplicado por meio de adesivo no furo cónico presente no topo da espoleta.

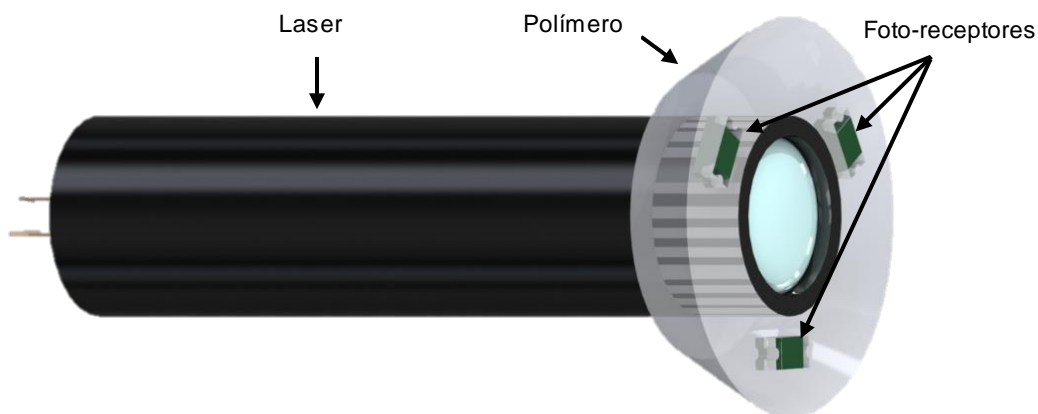


Figura 4.10 – Grupo de medição do sistema de altimetria.

Escolheu-se o material referência, aço AISI 1045, para este componente por não estar sujeito a condições com particular exigência a nível de esforços, temperaturas ou de comportamento do material.

## 4.6. Tampa da espoleta (F)

A tampa da espoleta faz a divisão entre o compartimento de carga do produto a transportar e o espaço para o sensor de altimetria e é simultaneamente o suporte para o gerador de gás. Tem uma zona roscada para ligação à espoleta, um furo passante para encaixe do gerador de gás (secção 4.7) e 4 furos roscados para aparafusar este (ver Figura 4.11). A divisão entre os dois espaços é complementada pelo próprio gerador de gás que encaixa no furo e sela-o por meio de um o-ring. Tal como nos outros componentes com o-ring existe uma caixa com as especificações recomendadas pelo fabricante.

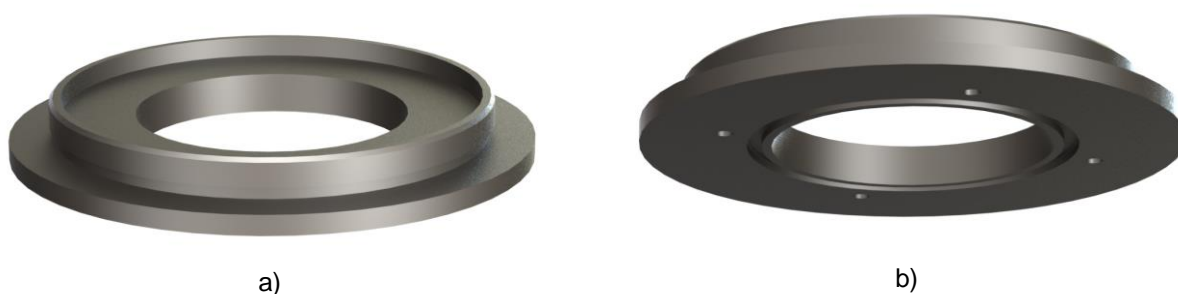


Figura 4.11 – Tampa da espoleta vista em perspectiva:  
a) Vista superior; b) Vista inferior.

O material escolhido foi o aço AISI 1045 pelas mesmas razões da secção anterior (Corpo da espoleta).

## 4.7. Gerador de gás (G)

O gerador de gás é a fonte de energia para o funcionamento do projectil. A finalidade do gerador de gás é aumentar a pressão no interior do projectil e, conseqüentemente, efectuar o corte dos pernos de modo a libertar a base e ejectar a carga. É um dos componentes comerciais do projecto e a sua selecção consistiu num equilíbrio entre as dimensões do gerador e a pressão gerada. Pretende-se que o gerador seja o mais pequeno possível para maximizar a capacidade de carga do projectil mas que tenha capacidade de produzir a pressão necessária para o corte dos pernos e ejeção da carga.

Optou-se pela adaptação de um gerador de gás de *airbag* por gerar gases inertes e devido ao requisito 5 da secção 3.2 (pág. 23). O sinal do sistema de altimetria é transformado num sinal com as especificações dadas pelo fabricante do gerador de gás e assim se dará início ao processo.

Uma das particularidades do gerador de gás é estar dividido externamente em 2 lados pela chapa de montagem como mostra a Figura 4.12: o lado da saída de gases e o lado do conector eléctrico. Assim, apenas o lado com saída de gases fica no compartimento de carga e o restante volume ocupará o espaço livre na espoleta. Esta característica mostrou ser uma vantagem para a sua inclusão no projecto.

As razões para a escolha deste componente serão apresentadas na secção 5.7.

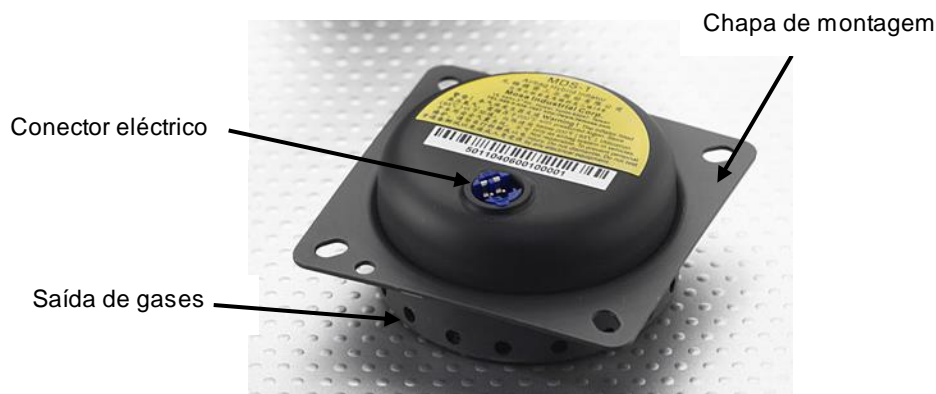


Figura 4.12 – Gerador de gás de um *airbag* frontal para condutor [31].

#### 4.8. Grupo de o-rings (H)

A inclusão de o-rings deve-se ao requisito 4 da secção 3.2. A estanquidade do compartimento de carga é conferida por cinco o-rings. A especificidade de cada o-ring será apresentada de seguida:

- **Base/Corpo secundário** – Montagem radial estática; Pressão e temperaturas elevadas no seu exterior (gases da deflagração da pólvora);
- **Corpo principal/Corpo secundário** – Montagem axial; Pressão e temperaturas elevadas no seu exterior (gases da deflagração da pólvora);
- **Corpo principal/Espoleta** – Montagem axial; Pressão no sentido exterior (exercida pelo líquido retardante e deflagração do gerador de gás);
- **Espoleta/Tampa da espoleta** – Montagem axial; Pressão no sentido carga-sistema de altimetria (exercida pelo líquido retardante e deflagração do gerador de gás);
- **Tampa da espoleta/Gerador de gás** – Montagem axial; Pressão no sentido carga-sistema de altimetria (exercida pelo líquido retardante e deflagração do gerador de gás).



Figura 4.13 – O-rings FKM [32].

No início do projecto optou-se por aplicar o-rings de FKM (*Fluorcarbon Rubber*), mais conhecidos pelo seu nome comercial: VITON®. Estes o-rings são caracterizados por boa resistência à influência de químicos no geral e a temperaturas até 200°C [33]. No entanto, a indisponibilidade de algumas medidas em FKM e o custo cerca de dez vezes superior ao material mais comum, NBR (*Nitrile Butadiene Rubber*), levou a alterar a escolha inicial. Apenas os o-rings sujeitos à pressão gerada pela carga de tiro (ligação base/corpo secundário e ligação corpo secundário/corpo principal) serão de FKM, sendo os restantes de NBR. Desta forma, mantem-se a resistência à temperatura na zona que é crítica por estar sujeita aos gases gerados pela deflagração da pólvora e consegue-se reduzir os custos sem comprometer o requisito de estanquidade do projectil.

#### 4.9. Grupo de parafusos (I)

Este grupo contempla 4 parafusos de fenda com cabeça cilíndrica DIN 84 e 3 pernos com sextavado interior DIN 916 (ver Figura 4.14).



Figura 4.14 – Parafuso e perno usado na montagem do projectil: a) Parafuso de fenda com cabeça cilíndrica DIN84 [34]; b) Perno com sextavado interior DIN916 [34].

Os parafusos serão usados para fixar o gerador de gás à tampa da espoleta (ver Figura 4.15). A cabeça cilíndrica dá mais apoio na chapa de montagem do gerador de gás e assim permite uma melhor fixação deste.



Figura 4.15 – Gerador de gás fixo através de parafusos.

Os pernos serão enroscados na base do projectil, tal como mostra a Figura 4.16 passando através dos furos existentes no corpo secundário. Através desta interacção, os pernos deverão suportar os esforços exercidos na base durante as fases de disparo e voo até ao momento de ejeção da carga em que serão sujeitos a corte total. O dimensionamento dos pernos será efectuado na secção 5.9.

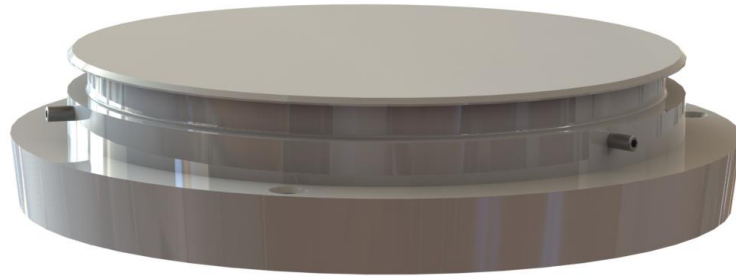


Figura 4.16 – Base com os pernos na posição final.

#### 4.10. Grupo de pinos (J)

À semelhança dos grupos anteriores, o grupo de pinos de alinhamento é um componente comercial. No início deste projecto os pinos eram parte integrante do corpo secundário mas devido à elevada complexidade da concepção dos mesmos optou-se por colocar os pinos *a posteriori*. Os pinos seleccionados foram os pinos cilíndricos DIN 7 com tolerância “m6” e pontas abauladas. Serão três pinos igualmente espaçados e montados com ajuste ligeiramente preso no corpo secundário.

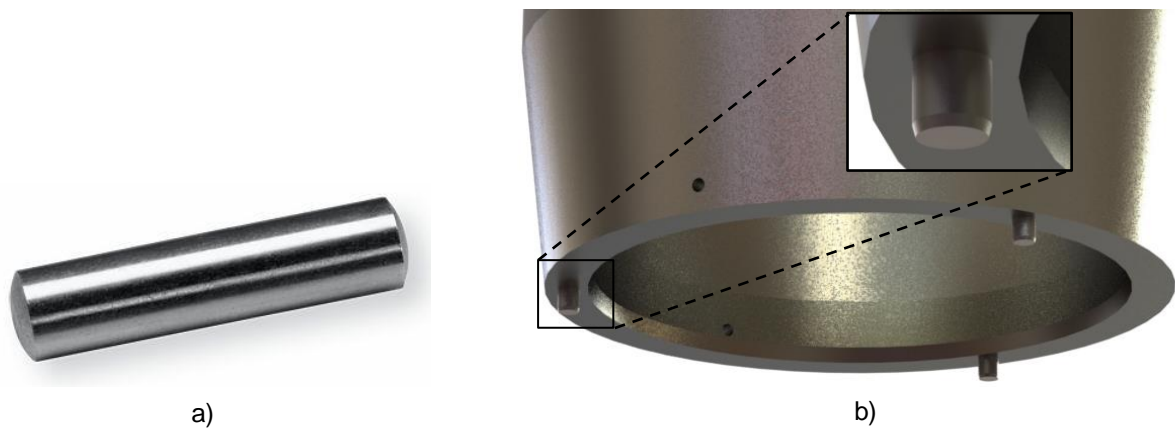


Figura 4.17 – Pino de alinhamento: a) Pino cilíndrico DIN7 [35]; b) Detalhe de pino montado no corpo secundário.



## 5. Dimensionamento de componentes

### 5.1. Corpo principal (A)

Para o corpo principal foram considerados dois constrangimentos tendo em conta os requisitos de concepção 2 e 3 da secção 3.2 (pág. 23): diâmetro exterior menor ou igual a 155mm, e altura somada dos componentes que formam a estrutura do projectil de aproximadamente 700mm. O diâmetro interior  $d_i = 130,6 \text{ mm}$  é determinado pela medida interior do tubo sem costura seleccionado na secção 4.1, cumprindo com o determinado pelo requisito 5. A superfície interior do tubo não é maquinada (ver Figura 5.1).

O material seleccionado foi o Aço DIN 20MnV6 (Wr. N. 1.5217) [24] pelas razões apresentadas na secção 4.1 e apresenta as seguintes propriedades mecânicas (ver Quadro 5.1):

Quadro 5.1 – Propriedades mecânicas do aço DIN 20MnV6 [36].

Material (Designação comercial)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_r$ [MPa]	$\sigma_{ced}$ [MPa]	Dureza [HB]
Aço DIN 20MnV6 (sem designação)	~ 7800	650	470	180-235

Com as principais dimensões já definidas, segue-se as ligações roscadas que farão a ligação ao corpo secundário, cinta de travamento e espoleta. Estas ligações seguiram os mesmos princípios de *design* do FIREND® [2].

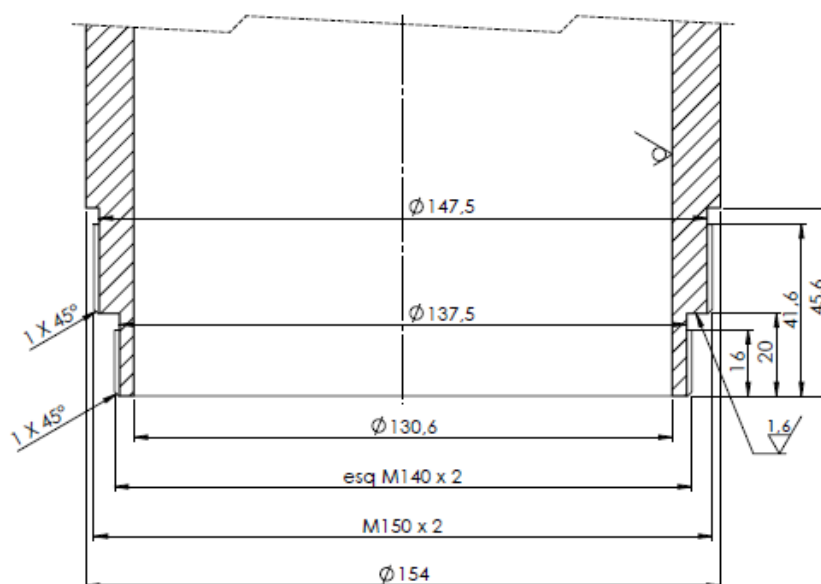


Figura 5.1 – Vista em corte da parte inferior do corpo principal com algumas cotas.

Quando a pressão no exterior da munição é maior que no interior desta, (momento do disparo) o esforço é transmitido pelas superfícies em contacto directo entre componentes, mas quando se dá

a deflagração do gerador de gás devem-se ter em consideração as tensões de corte na raiz dos filetes da rosca ( $\tau$ ) e as tensões normais de tracção ( $\sigma$ ) na região “X”, como mostra a Figura 5.2. A região “X” corresponde a uma caixa a toda à volta na zona roscada. Esta caixa existe em todas as zonas roscadas e destina-se à saída da ferramenta de corte após a maquinagem da rosca. Todas as zonas roscadas têm no mínimo seis filetes envolvidos nas ligações e a zona roscada de ligação ao corpo secundário é a mais crítica, de modo que se esta ligação suportar os esforços aplicados, também as outras o farão.

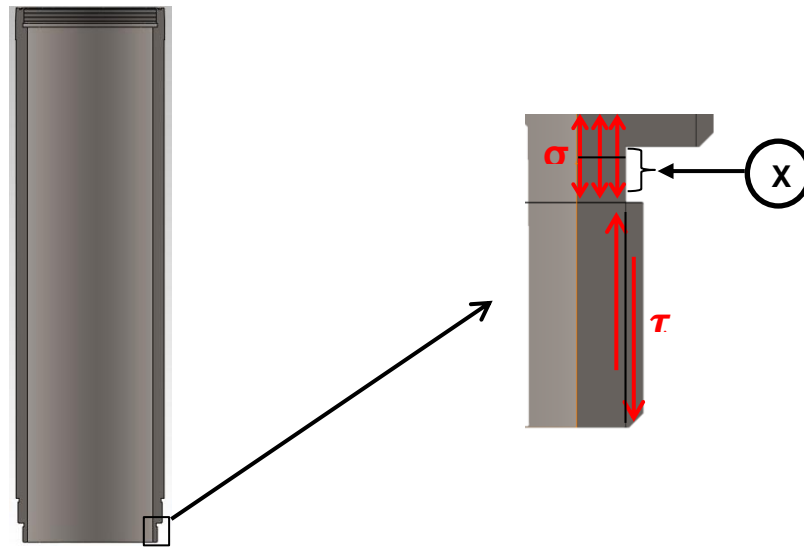


Figura 5.2 – Representação da evolução das tensões num detalhe do corpo principal.

Por segurança considera-se que todos os esforços são suportados pelos dois primeiros filetes da rosca. A força que provoca esforços de tracção e de corte é originada na pressão gerada na ejeção de carga. Segundo os dados do fabricante do gerador de gás, este produz um pico de pressão ajustável entre 150 e 250 kPa num contentor de 60 dm<sup>3</sup> [31]. Por não se conhecer a curva de pressão, apenas se teve em conta o pico de pressão. Utilizando o *software SolidWorks*<sup>®</sup> sabe-se que o volume interno do projectil disponível para o transporte de carga é 7,5 dm<sup>3</sup>. Assume-se que se está a lidar com um gás ideal e pela lei dos gases ideais vem:

$$p_f = \frac{p_i * V_i}{V_f} = \frac{0,250 * 60}{7,5} = 2 \text{ MPa} = \sim 20 \text{ bar} \quad (5.1)$$

Em que  $p_i$  e  $V_i$  são a pressão e volume dados pelo fabricante do gerador de gás e  $p_f$  é a pressão gerada pelo mesmo gerador para o volume interior do projectil  $V_f$ . Para se calcular a força exercida na base e no corpo secundário devido a esta pressão, é necessário conhecer a área projectada  $A_p$ , que corresponde à área de um círculo, com diâmetro igual ao diâmetro interior do projectil  $d_i$ .

$$F_i = p_f * A_p = p_f * \pi * \frac{d_i^2}{4} = 2 * \pi * \frac{130,6^2}{4} = \mathbf{26792,1 N} \quad (5.2)$$

Na área sujeita ao corte da ligação roscada, considera-se que são os dois primeiros filetes a suportar os esforços e assim:

$$A_f = P_r * 2 * \frac{3p}{4} = d_r * \pi * 2 * \frac{3p}{4} = 137,55 * \pi * \frac{3 * 2}{2} = \mathbf{1296,38 mm^2} \quad (5.3)$$

Em que  $P_r$  e  $d_r$  são, respectivamente, perímetro e diâmetro na raiz da zona roscada e  $p$  é o passo da rosca. Com os valores das equações (5.2) e (5.3) calcula-se a tensão de corte a que os filetes estão sujeitos e compara-se com a tensão de cedência ao corte  $\tau_{ced} = 0,577 * \sigma_{ced} = \mathbf{271,19 MPa}$ :

$$\tau_f = \frac{F_i}{A_f} = \frac{26792,1}{1296,38} = \mathbf{20,7 MPa} \ll 271,19 MPa \quad (5.4)$$

Este valor é uma ordem de grandeza inferior à tensão de cedência ao corte e verifica a ligação roscada com um coeficiente de segurança ao corte  $n=13$ .

Os filetes também são verificados ao esmagamento. Considera-se novamente que apenas 2 filetes suportam os esforços aplicados e assim, a área sujeita a esforços de esmagamento é:

$$A_e = \frac{\pi}{4} * (d^2 - d_r^2) = \frac{\pi}{4} * (140^2 - 137,55^2) = \mathbf{534,1 mm^2} \quad (5.5)$$

Em que  $d$  é o diâmetro da rosca. Assim, a tensão de esmagamento nos filetes da rosca é:

$$\sigma_e = \frac{F_i}{A_e} = \frac{26792,1}{534,1} = \mathbf{50,2 MPa} \ll 470 MPa \quad (5.6)$$

Este valor é muito uma ordem de grandeza inferior à tensão de cedência do aço e verifica a rosca com um coeficiente de segurança ao esmagamento de  $n=9$ .

Após a verificação ao corte e esmagamento da zona roscada, verificou-se a área à tracção ( $\sigma$ ) representada na Figura 5.2. Sendo o diâmetro externo da área ao corte igual ao diâmetro de raiz da rosca  $d_r$ , a área sujeita a esforços de tracção é:

$$A_t = \frac{\pi}{4} * (d_r^2 - d_i^2) = \frac{\pi}{4} * (137,55^2 - 130,6^2) = \mathbf{1463,7 \text{ mm}^2} \quad (5.7)$$

Portanto, a tensão normal a que esta área está sujeita é:

$$\sigma = \frac{F_i}{A_t} = \frac{26792,1}{1463,7} = \mathbf{18,3 \text{ MPa}} \ll 470 \text{ MPa} \quad (5.8)$$

Portanto a base da zona roscada de ligação ao corpo secundário está verificada à cedência com um coeficiente de segurança  $n=25$ .

A região "X", apresentada na Figura 5.2, corresponde à secção de menor espessura do corpo principal. Esta região também está sujeita a esforços de corte, devido à rotação imprimida ao projectil. A aceleração angular imprimida na cinta de travamento é transmitida ao corpo principal e deste ao corpo secundário e restantes componentes. O corpo secundário e os componentes que lhe estão agrupados (base, pernos e pinos de alinhamento) têm uma determinada massa, e, para que este conjunto acompanhe a aceleração dos restantes componentes, irá ser-lhe transmitido um binário na zona da ligação, ou seja, na região "X".

O binário  $T$  a que a ligação entre corpo principal e corpo secundário é sujeita, está directamente relacionado com o produto da aceleração angular  $\alpha$ , pelo produto de inércia  $I$  na direcção do eixo de rotação, como mostra a equação (5.9):

$$T = \alpha * I \quad (5.9)$$

O produto de inércia foi calculado utilizando o *software Solidworks*<sup>®</sup> e, na direcção do eixo de rotação, é igual a  $I = 20252,33 \text{ E}^{-6} \text{ kg.m}^2$ .

Visto não se ter qualquer ordem de grandeza para a aceleração angular do projectil foi necessário estimar este valor. Para isso, assumiu-se uma aceleração linear média no cano, que foi calculada através da velocidade do projectil à saída do cano e do comprimento do cano e relacionou-se com o passo das estrias desse mesmo cano. Os cálculos foram feitos para o Obus M114A1 [37]

ao serviço do Exército Português e para a velocidade de saída dos projecteis de 155mm para “Carga de tiro 7”.

Segundo o manual do Obus M114A1 [37]:

- Comprimento do cano  $l = 23 \text{ calibres}$  (3,565 m);
- Passo das estrias  $Pa = 1\text{volta}/25\text{calibres}$  ;
- Velocidade de saída  $v_s = 564 \text{ m/s}$ .

Pelas equações do Movimento Uniformemente Acelerado calcula-se a aceleração linear do projectil no interior do cano do obus:

$$v = v_0 + a * t \leftrightarrow t = \frac{v_s}{a} \quad (5.10)$$

$$x = x_0 + v_0 * t + \frac{a}{2} * t^2 \leftrightarrow l = \frac{a}{2} * t^2 \leftrightarrow a = \frac{2 * l}{t^2} \quad (5.11)$$

Substituindo a equação(5.10) na equação (5.11) tem-se,

$$a = \frac{2 * l}{\left(\frac{v_s}{a}\right)^2} \leftrightarrow a = \frac{v_s^2}{2 * l} = \frac{564^2}{2 * 3,565} = 44613,7 \text{ m/s}^2 \quad (5.12)$$

A aceleração angular pode ser relacionada com a aceleração linear, através do passo das estrias. Sabe-se que, por cada 25 calibres percorridos o projectil dá uma volta, portanto:

$$\frac{\alpha * \frac{\text{Calibre}}{2}}{a} = \frac{1}{25} \leftrightarrow \alpha = \frac{2 * a}{\text{Calibre} * 25} = \frac{2 * 44613,7}{155 * 25} = 23026,4 \text{ rad/s}^2 \quad (5.13)$$

E pela equação (5.9),

$$T = 23026,4 * 20252,33 * 10^{-6} = 466,3 \text{ N.m} \quad (5.9)$$

Por fim, calcula-se a tensão de corte resultante da inércia do corpo secundário e da base, aplicada na secção com menor espessura:

$$\tau = \frac{T * \frac{d_r}{2}}{J} = \frac{466,3 * \frac{137,55}{2}}{6,57851 * 10^{-6}} = \mathbf{4,9 MPa} \ll 271,19 MPa \quad (5.14)$$

Em que que o segundo momento de inércia  $J$  é dado por:

$$J = \frac{1}{2} * \pi * \left[ \left( \frac{d_r}{2} \right)^4 - \left( \frac{d_i}{2} \right)^4 \right] \quad (5.15)$$

O resultado da equação (5.14) demonstra que a tensão de corte na secção de menor espessura do corpo principal é muito menor que a tensão máxima de corte. O coeficiente de segurança ao corte desta secção é  $n=55$ .

Os esforços para o corpo principal foram verificados e todos os pontos críticos suportam as condições de tiro mais exigentes.

Na parte superior do corpo principal é maquinada a cinta de guiamento. Notar a transição de diâmetro junto à cinta de guiamento na Figura 5.3. O diâmetro na secção de ligação ao corpo da espoleta é 154mm e vai aumentando gradualmente até aos 155mm. A cinta de guiamento tem um diâmetro de 155mm, uma largura de 20mm e devido ao seu contacto com a superfície interior do cano, tem baixa rugosidade (ver Figura 5.3). A restante superfície exterior do corpo principal tem 154mm de diâmetro. No interior apenas é feita a zona roscada de ligação ao corpo da espoleta. A caixa para o o-ring situada no topo do corpo principal está dimensionada segundo as especificações do fabricante (ver secção 5.8)

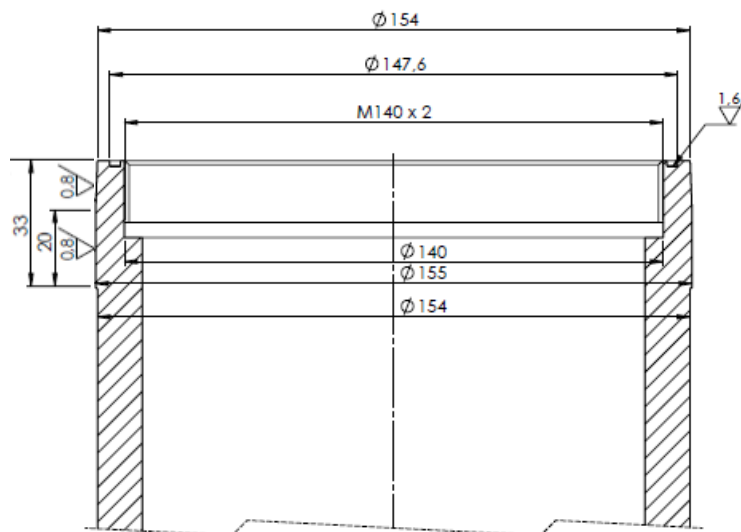


Figura 5.3 – Vista em corte da parte superior do corpo principal com algumas cotas.

## 5.2. Corpo secundário (B)

Exteriormente, este componente tem como base as dimensões da granada explosiva M107, obtidas pelo processo de engenharia inversa na secção 3.2. O corpo secundário quando montado em conjunto com a base, tem a mesma altura e diâmetro da zona equivalente da granada M107. No interior, maximizou-se o diâmetro de saída para facilitar a ejeção da carga.

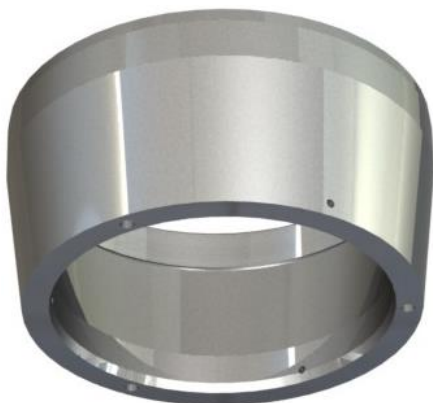


Figura 5.4 – Corpo secundário visto em perspectiva inferior.

O diâmetro de saída está directamente relacionado com a espessura mínima da base (ver Figura 5.5), na medida em que a força que contribui para o corte é proporcional ao quadrado do diâmetro, ao passo que a área sujeita ao corte varia linearmente com o diâmetro.

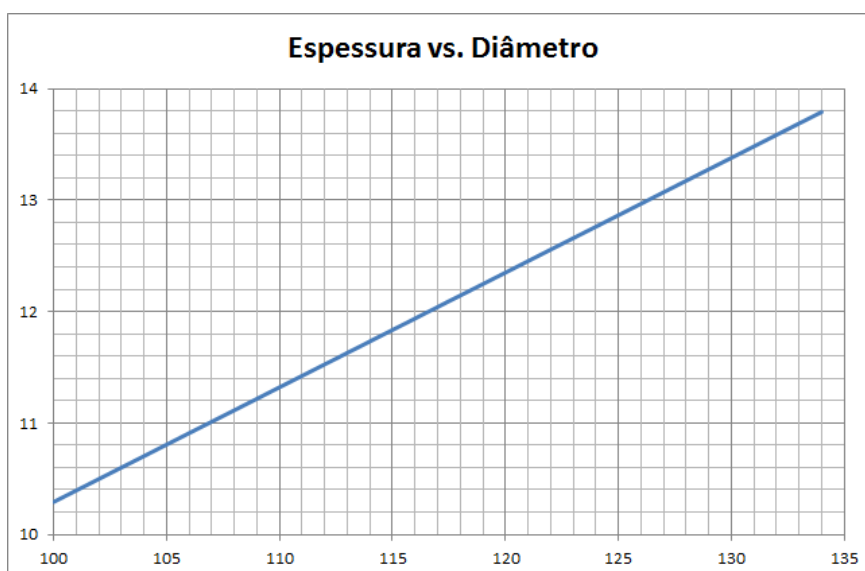


Figura 5.5 – Gráfico de espessura mínima da base em função do diâmetro de saída (em milímetros).

O corpo secundário tem algumas particularidades. Na sua parte inferior, encontram-se pormenores relacionados com a montagem da base. O chanfro, tolerâncias e rugosidade da face interior, descritas na Figura 5.6, são especificações do fabricante de o-rings [33]. Existem três furos passantes e não roscados para facilitar a montagem dos pernos de suporte. A tolerância dos três

furos cegos para os pinos de alinhamento têm o objectivo de dar um ajustamento por aperto aos pinos cilíndricos [38].

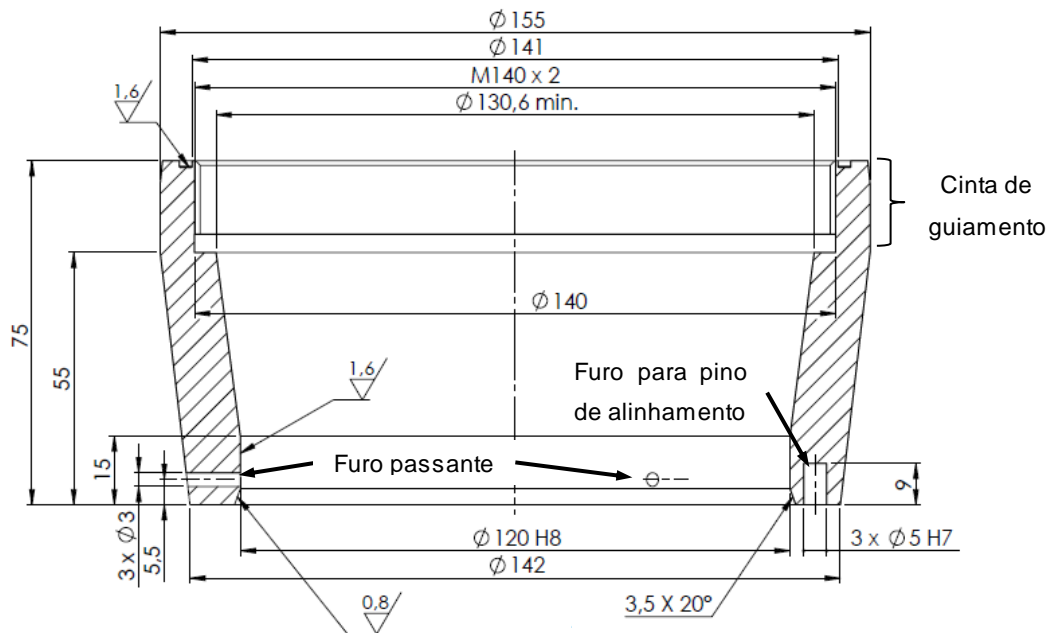


Figura 5.6 – Vista em corte do corpo secundário com algumas cotas.

Em relação à parte superior do corpo secundário, existe uma caixa para um o-ring, uma zona roscada para ligação ao corpo principal e uma cinta de guiamento. Mais uma vez, o o-ring tem o intuito de tornar o projectil estanque e a caixa para o mesmo foi desenhada segundo as especificações do fabricante.

O material seleccionado é o aço DIN 20MnV6 e segue os mesmos critérios do corpo principal apresentado na secção 5.1.

### 5.3. Base (C)

No momento do disparo, a base é sujeita a pressão com um valor máximo estimado de 304 MPa (“Carga 7”) [26]. Só foi tida em conta a pressão máxima, pois não se obteve dados concretos sobre a curva de pressão. É esta pressão na superfície exterior que transmite ao projectil a força necessária o seu disparo. A pressão exercida no fundo da base é suportada pela reacção do corpo secundário. As tensões de corte exercidas na base podem ser críticas e, por essa razão, a espessura da base foi dimensionada.

Quadro 5.2 – Propriedades mecânicas do aço AISI H13 [39].

Material (Designação comercial)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_r$ [MPa]	$\sigma_{ced}$ [MPa]	E [GPa]	Dureza [HB]
Aço AISI H13 (ORVAR 2M)	7800	1420	1280	210	255 (~45HRC)

O material utilizado é o aço AISI H13 com as seguintes propriedades mecânicas:

Na Figura 5.7 está representada a área da base sujeita à pressão. A pressão crítica para os cálculos está identificada com setas a cheio.

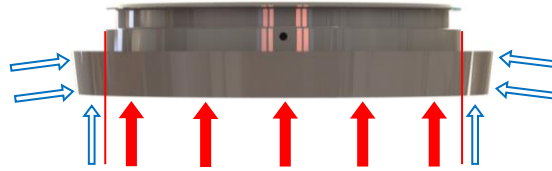


Figura 5.7 – Representação de pressão exercida na base.

Os dados necessários aos cálculos são:

- Diâmetro interno da base é  $d_b = 120 \text{ mm}$ ;
- Pressão máxima de tiro é  $p_T = 304 \text{ MPa}$ ;
- Tensão máxima de corte (corte puro [40]) é  $\tau_{max} = 0,577 * \sigma_{ced} = 738,56 \text{ MPa}$ ;

A força de tiro  $F_T$ , é dada pela equação (5.16):

$$F_T = p_T * A_B = p_T * \pi * \frac{d_b^2}{4} \quad (5.16)$$

E que a tensão máxima de corte  $\tau_{max}$  é dada em função da área crítica ao corte  $A_{crit}$ :

$$\tau_{max} = \frac{F_T}{A_{crit}} = \frac{F_T}{\pi * d_b * t_{min}} \quad (5.17)$$

Relacionando a equação (5.16) com a equação (5.17):

$$\tau_{max} = \frac{p_T * \pi * \frac{d_b^2}{4}}{\pi * d_b * t_{min}} \leftrightarrow t_{min} \geq \frac{p_T * d_b}{4 * \tau_{max}} \quad (5.18)$$

De onde se conclui que a espessura mínima  $t_{min}$  da base nas condições de projecto é dada por:

$$t_{min} \geq \frac{p_T * d_b}{4 * \tau_{max}} = \frac{304 * 120}{4 * 738,56} = 12,35 \text{ mm} \quad (5.19)$$

O valor encontrado para a espessura da base não contempla nenhum coeficiente de segurança, *a priori*, contudo podemos considerar que na realidade este coeficiente existe. Isto acontece porque não se prevê a utilização de “carga 7” para o disparo deste projectil. Decidiu-se, então, que a espessura da base seria  $t = 14 \text{ mm}$  (ver Figura 5.8) para manter dimensões idênticas às da granada explosiva, obtendo-se deste modo um coeficiente de segurança  $n=1,2$ .

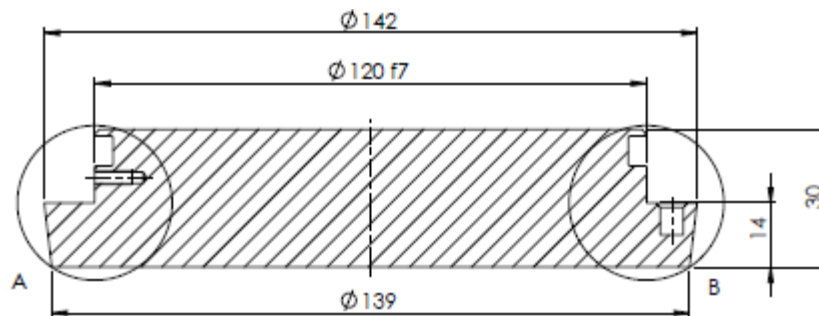


Figura 5.8 – Vista em corte da base com algumas cotas.

Na Figura 5.8 é visível uma caixa a toda a volta para um o-ring e algumas cotas. Estas cotas englobam também as tolerâncias da face cilíndrica, para se limitar a folga entre a base e o corpo secundário [33]. As dimensões da caixa para o-ring (secção 5.8), dos furos roscados (secção 5.9) e dos furos para alinhamento (secção 5.10) são apresentados na Figura 5.9.

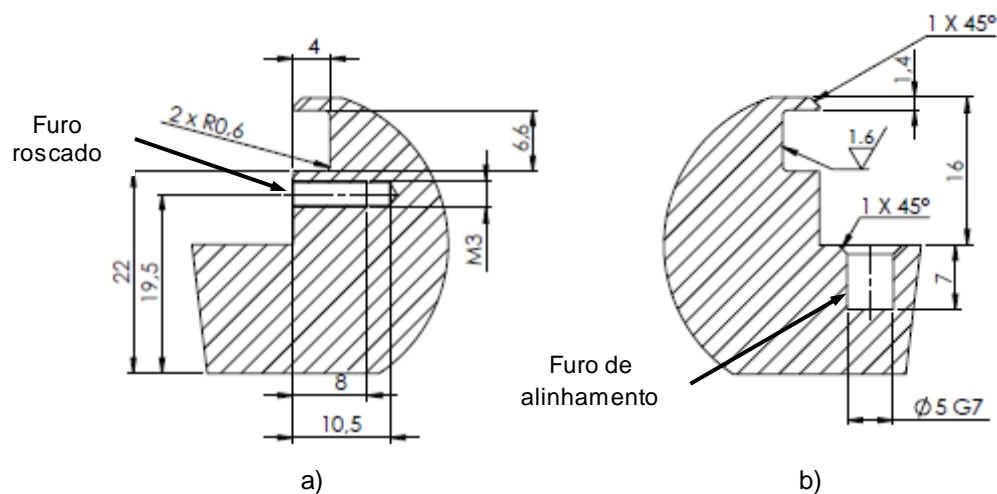


Figura 5.9 – Detalhes da Figura 5.8 a) Detalhe do furo roscado; b) Detalhe do furo de alinhamento.

## 5.4. Cinta de travamento (D)

O comportamento deste componente é crítico para a estabilidade do projectil em voo. Se este não se moldar convenientemente às estrias do cano, pode não haver velocidade angular suficiente para uma trajectória estável e se houver falhas na obturação a velocidade de saída do projectil não irá corresponder aos valores esperados.

O diâmetro exterior da cinta resulta da análise à granada explosiva M107.

O material seleccionado foi o latão CuZn5 R340 e as suas propriedades mecânicas são apresentadas no quadro Quadro 5.3:

Quadro 5.3 – Propriedades mecânicas do latão CuZn5 [29; 30]

Material (Designação comercial)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_r$ [MPa]	$\sigma_{ced}$ [MPa]	E [GPa]	Dureza [HV]
Latão CuZn5 (KME 304 R340 ou PNA 221 R340)	8860	340	280	127	>110

As razões para escolha deste material e para o *design* da cinta de travamento já foram apresentados na subsecção 4.3.

## 5.5. Corpo da espoleta (E)

O corpo da espoleta é um componente que deverá sofrer alterações no futuro relacionadas com o sistema de altimetria. O seu formato exterior é uma evolução do *design* do FIREND®. A zona cónica para adaptação de um apêndice aerodinâmico foi excluída, visto que se mostrou desnecessário (para “carga 1”), face aos resultados obtidos nos ensaios balísticos [2] e no topo do corpo da espoleta desenhou-se uma janela escareada de 20mm de diâmetro exterior, para a montagem do grupo de medição do sistema de altimetria (ver Figura 5.10).

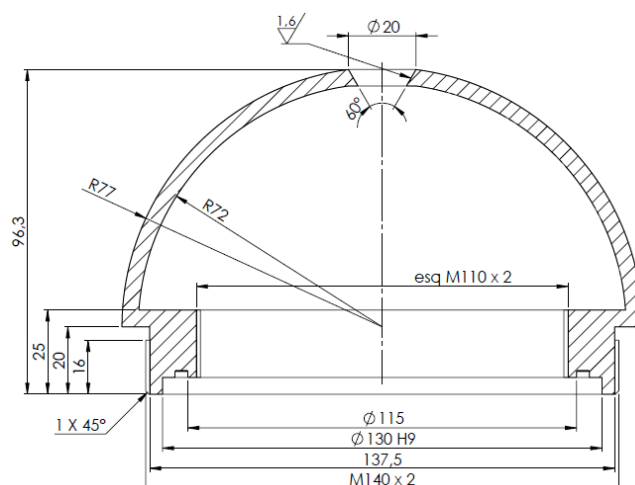


Figura 5.10 – Vista em corte do corpo da espoleta com algumas cotas.

A ligação ao corpo principal é feita pela zona roscada situada na base. Esta zona roscada é igual à que foi dimensionada na secção 5.1 diferindo apenas no material. O corpo da espoleta foi projectado com aço AISI 1045 e as suas propriedades constam no Quadro 5.4. Recordando o resultado da equação (5.4),  $\tau_f = 20,7 \text{ MPa}$  verifica-se que este continua a ser inferior à tensão máxima de corte do material utilizado  $\tau_{max} = 186,95 \text{ MPa}$ .

A razão da espoleta ser completamente oca é a redução de peso e dispor de volume para a instalação do sistema de altimetria. Esta redução tem o intuito de deslocar o centro de massa para uma posição mais posterior.

Quadro 5.4 – Propriedades mecânicas do aço AISI 1045 [24]

Material (Designação comercial)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_r$ [MPa]	$\sigma_{ced}$ [MPa]	E [GPa]	Dureza [HB]
Aço AISI 1045 (F10)	7850	579	324	205	207

## 5.6. Tampa da espoleta (F)

A tampa da espoleta tem como requisitos isolar o compartimento do sistema de altimetria e ter o mínimo peso possível. Quando o sistema de altimetria estiver concluído, a tampa da espoleta deverá ser objecto das respectivas alterações.

No lado do compartimento do sistema de altimetria reduziu-se a quantidade de material presente em volta do gerador de gás para reduzir o peso. No lado oposto, existe um furo passante para a instalação do gerador de gás e quatro furos roscados para fixar o mesmo com parafusos. O diâmetro dos furos foi definido com base nas dimensões do gerador de gás.

A tampa da espoleta é solicitada quando se dá a deflagração do gerador de gás. Nesse instante a pressão no interior do compartimento de carga, pode chegar aos 2 MPa. Em caso de falha de componente, ou seja, se a tampa da espoleta não suportar os esforços impostos pela pressão interior, o compartimento do sistema de altimetria será afectado e irá perder-se pressão necessária ao corte dos pernos e ejeção da carga. A tampa da espoleta é apoiada no corpo da espoleta pela região “Y” e é fixa a este por uma zona roscada (ver Figura 5.11).

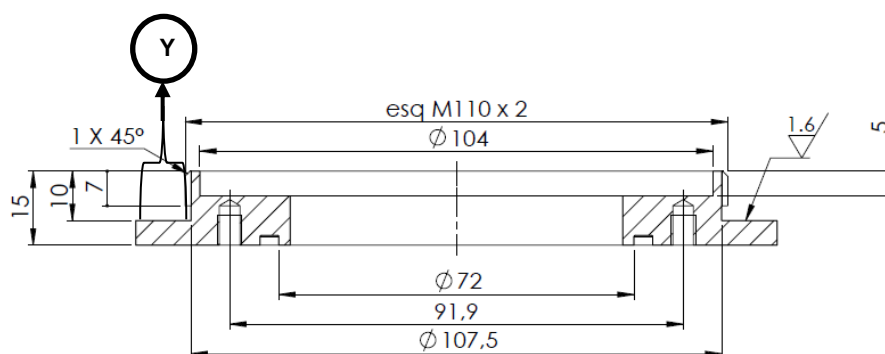


Figura 5.11 – Vista em corte da tampa da espoleta com cotas

A região “Y” tem uma espessura de 5mm para que, em conjunto com o corpo da espoleta, forme um fundo plano tal como mostra a Figura 5.12.

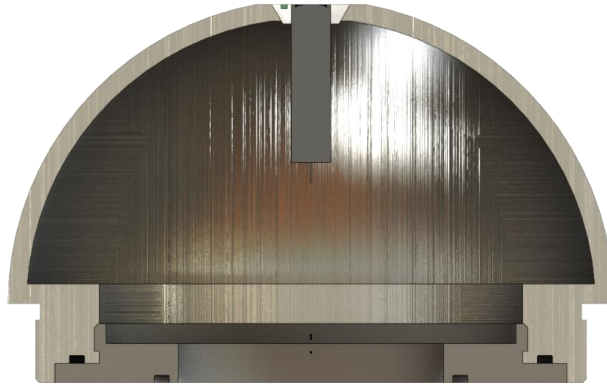


Figura 5.12 – Vista em corte da espoleta sem o sistema de altimetria

O material seleccionado foi o aço AISI 1045 com as características apresentadas no Quadro 5.4 (secção 5.5).

Quando a pressão interior aumenta, a área da região “Y” sujeita ao corte  $A_{Y\tau}$  é:

$$A_{Y\tau} = \pi * d_{Yi} * t_Y = \pi * 107,5 * 5 = \mathbf{1688,6 \text{ mm}^2} \quad (5.20)$$

Em que  $d_{Yi}$  é o diâmetro interior da região “Y” e  $t_Y$  a é espessura desta região. A força é aplicada pela pressão interior  $p_f$  numa área equivalente a uma circunferência de diâmetro  $d_{Yi}$  e calcula-se de acordo com a equação (5.21):

$$F_Y = A_{Y\tau} * p_f = \pi * \frac{d_{Yi}^2}{4} * 2 = \mathbf{18152,5 \text{ N}} \quad (5.21)$$

A tensão de corte resultante destes esforços é:

$$\tau_Y = \frac{F_Y}{A_{Y\tau}} = \frac{18152,5}{1688,6} = \mathbf{10,8 \text{ MPa}} \ll 334 \text{ MPa} \quad (5.22)$$

Ou seja, a tensão de corte a que a região “Y” está sujeita é muito inferior à tensão limite de corte  $\tau_{max} = 0,577 * \sigma_r = \mathbf{334 \text{ MPa}}$ , resultando num coeficiente de segurança ao corte de  $n=31$ .

## 5.7. Gerador de gás (G)

Este tipo de componentes não são vendidos ao público em geral e, por essa razão, a informação disponível sobre as suas características é escassa. O objectivo inicial era encontrar alguns dados sobre estes componentes e a partir desses dados dimensionar os pernos que irão fixar a base e funcionar como fusíveis mecânicos.

Uma intensa pesquisa com base nas características e dados sobre este tipo de componentes, resultou num fabricante que fornece as especificações técnicas dos geradores de gás pretendidos neste projecto. Optou-se pelo gerador de gás frontal do lado do condutor (volante) devido às suas dimensões e à sua capacidade de gerar pressão.

Os dados do fabricante e dimensões serão apresentados em anexo, mas o Quadro 5.5 apresenta um resumo dos mais importantes.

Quadro 5.5 – Resumo de dados do gerador de gás MOSA MDS-1 [31]

Tipo de Gás	Mistura de Hélio/Argon
Peso	510 gramas
Contentor	Aço
Corrente de deflagração	1,2 amperes durante 2 milisegundos
Pico de pressão	150-250 kPa (ajustável)
Temperatura de gases	< 200°C

A corrente de deflagração do gerador de gás será um dos requisitos da espoleta electrónica.

## 5.8. Grupo de o-rings (H)

Os o-rings foram seleccionados para cada um dos locais a isolar pelo espaço disponível para a caixa de esmagamento. Nalgumas das ligações esse espaço era bastante reduzido e não permitiu usar as medidas mais comuns. Este constrangimento definiu o diâmetro da secção  $d_s$  de cada o-ring. Após essa selecção, definiu-se o diâmetro interior  $d_o$  dos mesmos, pelo diâmetro imediatamente abaixo disponível no caso de montagem radial ou montagem axial com pressão exterior. No caso de montagem axial com pressão interior o diâmetro interior do o-ring foi escolhido pelo valor de diâmetro imediatamente acima do resultado da equação (5.23):

$$d = d_o + 2 * d_s \quad (5.23)$$

Os o-rings necessários para a montagem do projectil são:

- **Base/Corpo secundário** – VITON® 112 x 5;
- **Corpo principal/Corpo secundário** – VITON® 140 x 2;
- **Corpo principal/Espoleta** – NBR 148 x 2;
- **Espoleta/Tampa da espoleta** – NBR 113,98 x 2,62;
- **Tampa da espoleta/Gerador de gás** – NBR 71,12 x 2,62.

O resumo das dimensões especificadas pelo fabricante de o-rings para as caixas de montagem é apresentado no Quadro 5.6.

Quadro 5.6 – Dimensões das caixas de expansão dos o-rings seleccionados [33].

Ø da secção [mm]	Tipo de instalação	Profundidade da caixa [mm]	Largura da caixa [mm]	Raio de concordância [mm]
2	Axial	1,50	2,80	0,30
2,62	Axial	2,00	3,80	0,30
5	Radial	4,00	6,60	0,60

## 5.9. Grupo de parafusos (I)

Este grupo engloba dois tipos de componentes de fixação diferentes, parafusos de fenda com cabeça cilíndrica DIN 84 e pernos com sextavado interior DIN 916. Cumprindo com o requisito 5 estabelecido na secção 3.2 (pág. 23), estes componentes foram seleccionados com recurso aos catálogos de dois fabricantes [34; 35].

Os parafusos serão usados para fixar o gerador de gás. Optou-se por parafusos de classe A2 (inoxidável) devido ao seu contacto directo com a carga a transportar e o diâmetro dos mesmos foi estabelecido com base nos furos existentes na chapa de fixação do gerador de gás. Entre os valores possíveis de comprimento dos parafusos, preferiu-se parafusos M5 x 8 por pertencer à segunda escolha dos números de Renard, R10 [40]. Por projectil são necessários 4 parafusos DIN84 M5 x 8 – A2-70.

Com os dados do gerador de gás (secção 5.7) calculou-se a pressão que este geraria no interior do compartimento de carga  $p_f = 2 \text{ MPa}$  (ver equação (5.1) na pág. 40). Esta pressão aplicada na base gera uma força na base  $F_b$ .

$$F_b = p_f * A_b = p_f * \pi * \frac{d_b^2}{4} = 2 * \pi * \frac{120^2}{4} = 22619,5 \text{ N} \quad (5.24)$$

O diâmetro dos pernos influencia a altura total da base e consequentemente diminui o volume de carga. Por esta razão e tendo em conta a grandeza da força gerada na base, optou-se pelos pernos de menor diâmetro disponíveis no mercado [34; 35] mas com a classe de resistência mais elevada. Selecionou-se a classe de resistência 45H após se terem calculado os valores de tensões admissíveis desta classe, pois apenas é fornecido o valor da dureza *Rockwell C*. A nomenclatura da classe indica uma dureza de 45 HRC e existem equações que relacionam dureza *Brinell* com tensão de ruptura de um aço [40]. Segundo um fabricante de parafusos [41], a dureza *Brinell* desta classe de parafusos varia entre 428 e 532 HB e a relação com a tensão de ruptura é:

$$\sigma_r = 3,41 * HB = 3,41 * 532 = \mathbf{1814,1 MPa} \quad (5.25)$$

Que por sua vez se relaciona com a tensão de cedência através da equação (5.26) [40],

$$\sigma_{ced} = 0,8 * \sigma_r = 0,8 * 1814,1 = \mathbf{1451,3 MPa} \quad (5.26)$$

A força mínima necessária para efectuar o corte de um perno com área ao corte  $A_{\tau M3}$  e assumindo uma tensão de corte  $\tau_{max} = 0,577 * 1451,3 = \mathbf{837,4 MPa}$  é,

$$F'_{min} = \tau_{max} * A_{\tau M3} = 837,4 * 4,47 = \mathbf{3743,2 N} \quad (5.27)$$

Que resulta para conjunto dos três pernos numa força mínima de corte  $F_{min} = \mathbf{11229,6 N}$ , ou seja, uma pressão mínima no interior de:

$$p_{i_{min}} = \frac{F_{min}}{A_b} = \frac{11229,6}{11309,7} \approx \mathbf{1 MPa} \quad (5.28)$$

Portanto, a pressão máxima gerada pelo gerador de gás é duas vezes superior à pressão mínima para corte, e assim, o corte dos pernos está garantido.

Também no comprimento dos pernos se teve em conta os números de Renard. O comprimento do perno encaixa-se na primeira escolha R5 e cada projectil necessita de 3 pernos DIN916 M3 x 16 – 45H.

O Quadro 5.7 apresenta as tensões admissíveis das duas classes de parafuso seleccionadas.

Quadro 5.7 – Tensões admissíveis das classes de resistência A2 e 45H [41]

Classe	$\sigma_r$ [MPa]	$\sigma_{ced}$ [MPa]
A2-70	700	450
45H	1814	1451

## 5.10. Grupo de pinos (J)

A selecção dos pinos de alinhamento recaiu sobre os pinos cilíndricos de pontas abauladas DIN7. A tolerâncias dos furos onde este vai ser colocado foram definidas de forma a que o pino fique ajustado por aperto no corpo secundário e ajustado com folga na base. O diâmetro do pino é de 5mm pois os furos já tinham sido dimensionados para um outro componente com essa medida e o comprimento é de 16mm, que se enquadra na primeira escolha de Renard. O projectil contempla 3 pinos cilíndricos DIN7 M5 x 16.

## 5.11. Montagem

A montagem do projectil deve ser efectuada no sentido da base para a espoleta. A vantagem da montagem no sentido da base para a espoleta é permitir o acoplamento da carga e dos componentes mais críticos, nomeadamente o gerador de gás e o sistema de altimetria, apenas no momento necessário. A montagem deve ser efectuada de maneira a formar dois conjuntos: corpo e espoleta.

O conjunto corpo, apresentado na Figura 5.13, deve ser montado em fábrica para garantir que não haja impurezas que influenciem a junção dos vários componentes e das tolerâncias associadas. Deve ser garantida a protecção da cinta de travamento desde a montagem até ao momento do tiro. A numeração dos passos da montagem do corpo, é apresentada por ordem de montagem na subsecção 5.11.1, precedida por um "C".



Figura 5.13 – Conjunto de montagem "corpo".

A montagem do conjunto espoleta (ver Figura 5.17) deve ser iniciada em fábrica e posteriormente finalizada no terreno na fase de pré-tiro. Esta montagem em duas fases, deve-se à necessidade de ligar o sistema de altimetria nos instantes que antecedem o tiro e, desta forma, evitar descarregar a fonte de energia do sistema (bateria ou pilhas). A montagem em fábrica deve ser efectuada até ao passo 3 da subsecção 5.11.2. A numeração dos passos de montagem da espoleta é precedida por um "E" e é apresentada na subsecção 5.11.2.



Figura 5.14 – Conjunto de montagem "espoleta"

A montagem do projectil é concluída no terreno, durante a fase de pré-tiro, com o passo “P”.

**P** – Encher o corpo com a carga, colocar o o-ring 148 x 2 de NBR no conjunto corpo e enroscar o conjunto espoleta com conjunto corpo, tal como mostra a Figura 5.15.



Figura 5.15 – Passo final da montagem do projectil.

### 5.11.1. Sequência de montagem para o conjunto “corpo”

**C.1** – Enroscar a cinta de travamento (D) no corpo principal (A) com a zona cónica para o lado do corpo principal (ver Figura 5.16);

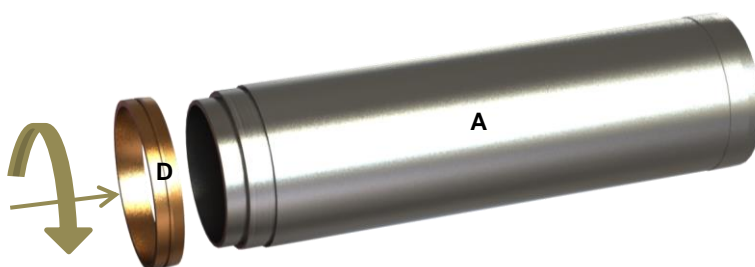


Figura 5.16 – Montagem da cinta de travamento (D) no corpo principal (A).

**C.2** – Colocar o o-ring 140 x 2 de FKM no corpo secundário (B) e enroscar este no corpo principal (A) (rosca esquerda) (ver Figura 5.17);

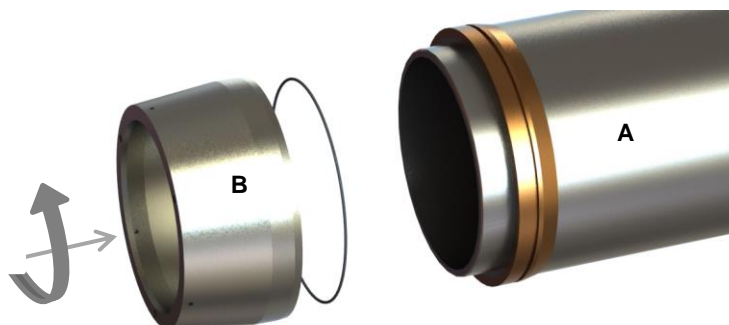


Figura 5.17 – Montagem do corpo secundário (B) no corpo principal (A).

**C.3** – Com o auxílio de um maço, introduzir os 3 pinos cilíndricos (J) nos furos cegos do corpo secundário (B) (ver Figura 5.18);

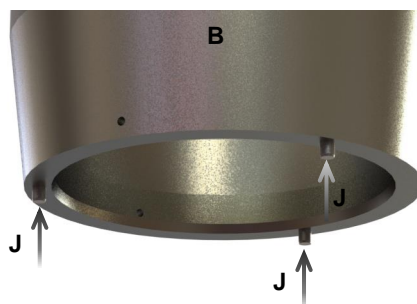


Figura 5.18 – Montagem dos pinos de alinhamento.

**C.4** – Colocar o o-ring 112 x 5 de FKM na base (C) e introduzir a mesma no corpo secundário (B) (ver Figura 5.19) (ver pormenor de alinhamento dos pinos na Figura 5.20);

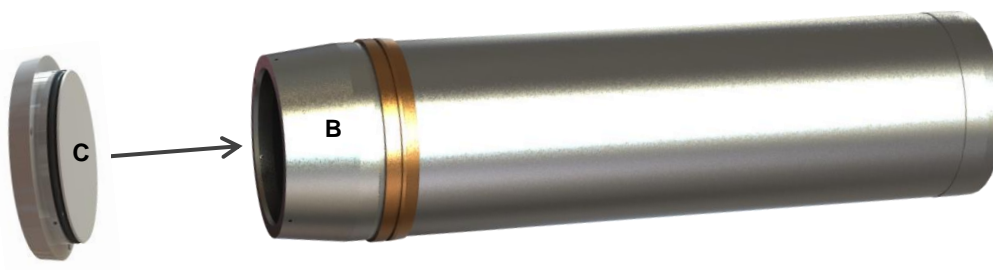


Figura 5.19 – Montagem da base (C) no chassi (A,B).

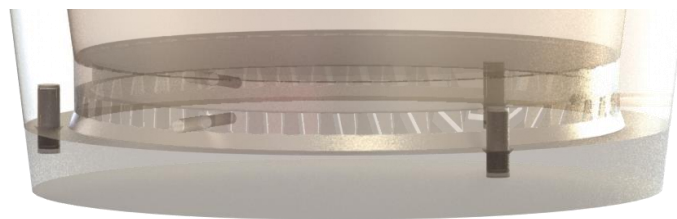


Figura 5.20 – Pormenor de alinhamento dos pinos em transparência.

**C.5** – Introduzir os três pernos (I) nos furos do corpo secundário (B) (ver Figura 5.21) e apertá-los na base (C) com uma chave sextavada;

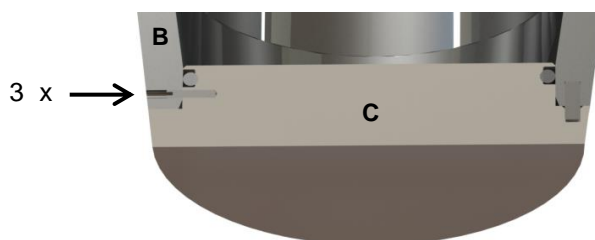


Figura 5.21 - Posição final dos pernos (I).

**C** – Ao final do 5º passo o conjunto “corpo” está montado.

### 5.11.2. Sequência de montagem para o conjunto “espoleta”

**E.1** – Colar com adesivo o grupo de medição na espoleta (E) (ver Figura 5.22);

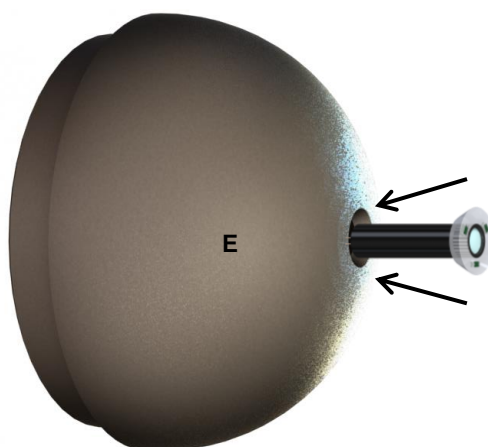


Figura 5.22 – Montagem do grupo de medição na espoleta (E).

**E.2** – Fixar grupo de controlo (componente ilustrativo do sistema de altimetria) na tampa da espoleta (F) (ver Figura 5.23);

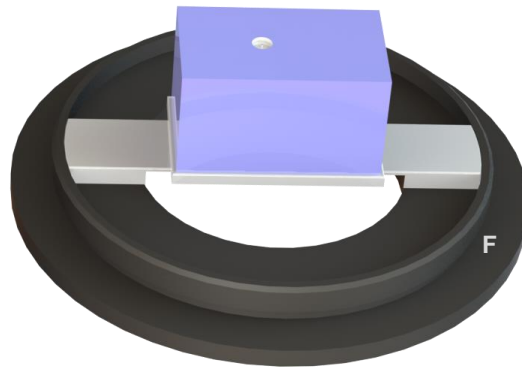


Figura 5.23 – Grupo de controlo fixo na tampa da espoleta

**E.3** – Colocar o o-ring 113,98 x 2,62 de NBR na espoleta (E), ligar o grupo de medição ao grupo de controlo e enroscar a tampa da espoleta (F) na espoleta (E) (ver na Figura 5.24 pormenor da rosca esquerda / apertar com auxílio dos furos da tampa da espoleta);

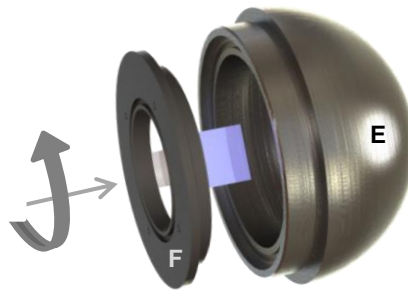


Figura 5.24 – Montagem da tampa da espoleta na espoleta

**E.4** – Colocar o o-ring 71,12 x 2,62 de NBR na tampa da espoleta, ligar o gerador de gás ao grupo de controlo e fixar o gerador de gás (G) no furo maior da tampa da espoleta com 4 parafusos (conector eléctrico para o lado da espoleta) (ver Figura 5.25);

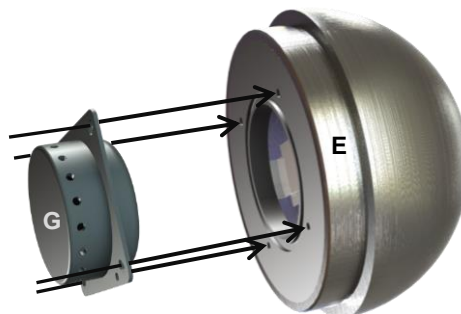


Figura 5.25 – Montagem do gerador de gás

**E** – Conjunto “espoleta” pronto. O projectil pode agora ser enchido e os conjuntos unidos;

## 5.12. Projétil final

Utilizando o *Solidworks*<sup>®</sup>, calcula-se alguns dados importantes a registar sobre o projétil. No Quadro 5.8 são apresentados esses valores.

Quadro 5.8 – Dados do projétil

Volume interior	7,5 dm <sup>3</sup>
Massa total s/carga	31,7 kg
Massa total c/ NOVEC 1230	43,8 kg
Altura do centro de massa (em relação à base)	318 mm

Tal como os projéteis convencionais, também para este é necessário fazer cálculos de tiro. Os militares da arma de Artilharia usam as tábuas de tiro para lhes facilitar e agilizar todo este processo. Um dos valores de entrada nessas tábuas é a massa do projétil. Por essa razão, os projéteis vêm identificados com um conjunto de quadrados pintados na sua superfície (ver Figura 3.4 na pág. 24 como exemplo). A quantidade de quadrados corresponde a uma zona de peso, tal como mostra o Quadro 5.9. Este quadro foi convertido para medidas do Sistema Internacional e através dele podemos identificar onde se encontra o projétil (o peso do sistema de altimetria não está contabilizado).

Quadro 5.9 – Zonas de Peso em kg [8]

Zona	De (kg)	Até inclusive (kg)	Quadrados
2	40.82	41.41	■ ■
3	41.32	41.91	■ ■ ■
4	41.73	42.50	■ ■ ■ ■
5	42.32	42.91	■ ■ ■ ■ ■
6	42.82	43.41	■ ■ ■ ■ ■ ■
7	43.32	43.91	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
8	43.82	44.41	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
9	44.32	44.91	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
10	44.81	45.40	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■

Portanto, para efeitos de tiro com a carga sugerida (Novec 1230), o nosso projétil tem 7 quadrados. No caso de utilizar uma carga de diferente densidade, é necessário consultar o Quadro 5.9 para identificar a zona de peso da mesma.

As cotas de atravancamento do projectil são apresentadas na Figura 5.26.

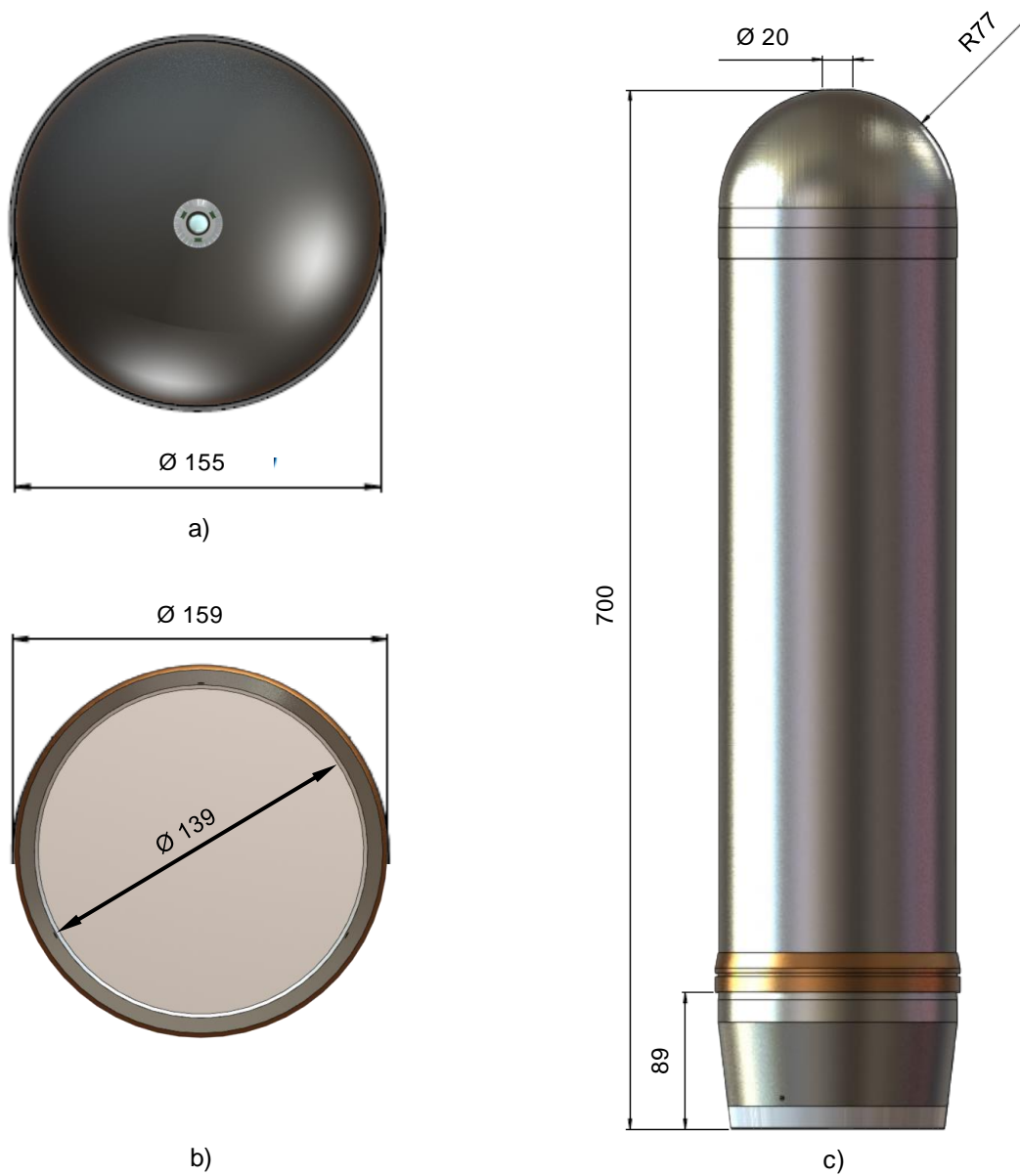


Figura 5.26 – Cotas de atravancamento do projectil (em mm): a) Vista de baixo; b) Planta; c) Alçado principal

## 6. Conclusões e propostas de trabalho futuro

### 6.1. Conclusões

A realização desta dissertação contribuiu para o desenvolvimento da capacidade crítica do autor para a temática de projecto mecânico de projecteis de artilharia e mostrou o universo multidisciplinar que esta temática envolve. Os conhecimentos adquiridos ao longo do curso foram aplicados no desenvolvimento do calibre de 105mm para 155mm, porém foi necessário recorrer ao engenho e imaginação para melhorar a eficácia do projecto FIREND<sup>®</sup>, e em determinados pontos inovar, sem que se perdesse totalmente o seu conceito inicial.

O desenvolvimento de qualquer assunto com ramificações à indústria bélica debate-se desde o primeiro momento com grandes obstáculos. As informações mais acessíveis estão normalmente relacionadas com material e equipamento considerado obsoleto, e por essa razão, alguns assuntos estão disponíveis para o público em geral. No entanto, existe informação de elevado valor perdida por algumas unidades militares que são de todo o interesse em recuperar, pois certamente serviriam para a continuação deste projecto.

As lições aprendidas do projecto FIREND<sup>®</sup> e seus antecessores, conjugada com todo o trabalho de pesquisa efectuado neste projecto, deixam uma forte base de trabalho para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de um projectil eficaz de combate a incêndios.

Apesar das características únicas do projectil de detonação mecânica FIREND<sup>®</sup>, o seu subsistema de ejeção de carga com recurso a uma mola mostrou não ser o mais eficaz. A alteração desse conceito para o conceito de espoleta electrónica com actuação por sistema de altimetria, confere ao utilizador a possibilidade de definir o local e a que altura do solo a carga deve ser libertada e reduz substancialmente o volume e peso associados à mola em troca de espaço para a carga retardante.

A utilização do *software SolidWorks*<sup>®</sup> apresentou-se como uma mais-valia para este projecto pois permitiu manter sempre uma noção geral do projectil enquanto se concebia e melhorava cada um dos componentes. Permitiu, também, simular a existência de uma carga retardante e calcular o peso e dimensões finais do projectil. Os valores obtidos estão de acordo com o requisito inicial de se adaptar as tábuas de tiro ao projectil de combate a incêndios e resultam num volume de carga sete vezes superior ao do FIREND<sup>®</sup>. Em teoria, estima-se que o projectil carregado com pó químico tenha a capacidade de actuar numa área de aproximadamente 75m<sup>2</sup>.

O projectil de combate a incêndios florestais tem um grande campo de aplicação em Portugal e noutros países que tenham a capacidade de fazer tiro de artilharia com calibre de 155mm. Este facto demonstra o potencial económico e a projecção que este projecto poderá ter num futuro próximo.

## 6.2. Propostas de trabalho futuro

A continuação deste projecto é essencial e deve ser deveras tida em conta num futuro próximo para que não se perca todo o conhecimento que se tem vindo a ganhar desde 2005. Durante a realização desta dissertação surgiram algumas questões que ultrapassavam os objectivos propostos mas que devem ser investigadas e respondidas para um eficiente desenvolvimento do projecto central, o projectil.

Propõe-se o desenvolvimento dos seguintes trabalhos:

- Estudo aerodinâmico do projectil para as condições típicas de voo;
- Estudo do comportamento e capacidades do pó químico, do Novec<sup>™</sup> 1230 da 3M<sup>™</sup> e de outras alternativas quando ejectadas de um compartimento cilíndrico sobre pressão;
- Instrumentação de um projectil para o registo do comportamento de um projectil no disparo, voo e impacto no solo (velocidades, rotações, temperaturas, pressões, etc...);
- Estudo da adaptação de espoletas convencionais (medir pressões geradas pelas cargas explosivas das espoletas e conceber componentes para a adaptação das mesmas ao projectil);
- Realização de ensaios balísticos e identificação de componentes reutilizáveis;
- Estudo da viabilidade económica do projectil;
- Realização de testes com geradores de gás e estudo o seu comportamento em diferentes compartimentos e formas de montagem;
- Recuperação do espólio de documentos técnicos da Fábrica de Braço de Prata.

## 7. Bibliografia

1. **LIMA, Francisco.** *Desenvolvimento de um Projétil de Detonação Mecânica.* Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2005.
2. **CASTANHEIRA, Carlos.** *Fabrico e ensaio Balístico em Condições Reais de Conceito Melhorado de um Projétil de Detonação Mecânica.* Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2012. Tese de Mestrado.
3. **Air Force Engineering & Services Center.** *New Concept Firefighting Agent Delivery System.* Tyndall, Florida : s.n., 1992.
4. **H3R Clean Agents, Inc.** [Online] 2013. [Citação: 10 de Março de 2013.] [http://www.h3rcleanagents.com/support\\_faq\\_2.htm](http://www.h3rcleanagents.com/support_faq_2.htm).
5. **O'DWYER, James Michael.** *Projectile Launching Apparatus and Methods for Fire Fighting.* US 6860187 B2 EUA, 1 de Março de 2005. Patente.
6. **SRIDHARAN, Vinayagamurthy e VAIRAVAN, Ram.** *Fire Extinguishing by Explosive Pulverisation of Projectile Based Frozen Gases and Compacted Solid Extinguishing Agents.* 7478680 B2 EUA, 20 de 01 de 2009. Patente.
7. **PAVESI, Rudy.** *Silent Responder Fire Fighting Systems.* 2012/0061109 A1 EUA, 15 de 03 de 2012. Patente.
8. **Department of the Army.** TM 43-0001-28. *Army Ammunition Data Sheets for Artillery Ammunition.* Washington : s.n., 2003.
9. [Online] [Citação: 26 de Junho de 2013.] [http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/images/m110\\_usafas.jpg](http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/images/m110_usafas.jpg).
10. [Online] [Citação: 26 de Junho de 2013.] <http://img139.imageshack.us/img139/715/lightae9.jpg>.
11. [Online] [Citação: 26 de Junho de 2013.] [http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/images/m483\\_usafas.jpg](http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/images/m483_usafas.jpg).
12. **Defense Update – Military Technology & Defense News.** SMArt Sensor-Fuzed Amunition for 155mm guns. [Online] 2009. [Citação: 20 de 03 de 2013.] <http://defense-update.com/products/s/smart.htm>.
13. **GIWS - Gesellschaft für Intelligente Wirksysteme mbH.** SMArt 155 A new Dimension for Artillery. [Online] [Citação: 20 de 03 de 2013.] <http://www.giws.de/en/smart/system.html>.
14. **Wikipédia.** SMArt 155. [Online] 07 de 03 de 2013. [Citação: 20 de 03 de 2013.] [http://en.wikipedia.org/wiki/SMArt\\_155](http://en.wikipedia.org/wiki/SMArt_155).
15. **DIAS, Eduardo.** *Desenvolvimento do Conceito, Fabrico e Ensaio de um Projétil Mecânico para Combate a Incêndios Florestais: FIREND.* Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2007. Tese de Mestrado.
16. **BALULA, Jorge.** *Fabrico para Ensaio de Conceito Melhorado de um Projétil de Detonação Mecânica para o Combate a Incêncios Florestais.* Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2008. Tese de Mestrado.

17. **Exército Português.** *Fichas de Material, Volume 5 - Munições, Explosivos e Artíficos.* Lisboa : Direcção dos Serviços de Material.
18. **BIODYNAMICS ENGINEERING, INC.** *Airbag Deployment in Slow Motion.* [Online] 01 de Outubro de 2008. [Citação: 28 de Junho de 2013.] [http://www.youtube.com/watch?v=A2fAgW\\_1nD0](http://www.youtube.com/watch?v=A2fAgW_1nD0). Vídeo.
19. **YANG, Jiann C. e GROSSHANDLER, William L.** *Solid Propellant Gas Generator: An Overview and Their Application to Fire Suppression.* [autor do livro] International Conference on Fire Research and Engineering. 1995.
20. [Online] [Citação: 04 de Julho de 2013.] [http://www.autoliv.com/PublishingImages/Driver%20Airbag\\_Steering%20Wheel\\_small.jpg](http://www.autoliv.com/PublishingImages/Driver%20Airbag_Steering%20Wheel_small.jpg).
21. **Apud.** *Extintores Portáteis de Incêndio.* [Documento PDF] s.l. : Allianz, 2003.
22. **3M(TM).** *Novec(TM) 1230 Fire protection Fluid.* [Documento PDF] s.l. : 3M(TM), 2009.
23. [Online] [Citação: 4 de Julho de 2013.] [http://1.bp.blogspot.com/\\_SMbXIQ668](http://1.bp.blogspot.com/_SMbXIQ668).
24. **F.Ramada.** *Catálogo Interactivo.* [Online] 29 de Julho de 2012. [Citação: 20 de Maio de 2013.] <http://www.ramada.pt/index.php?&op=18>.
25. **TIMMERS, Heiko.** *Special Topics of Military Physics 2004. University of New South Wales - Canberra.* [Online] 2004. [Citação: 18 de Junho de 2013.] <http://www.pems.adfa.edu.au/~s9471553/level1/Teaching/SpecialTopics04/SpecialTopics04.htm>. SPT048.
26. *Charge, Propelling, 155MM, M4A2, Loading, Assembling and Packing.* s.l. : US Army Armament Research and Development Command, 1983. MIL-C-60395C.
27. **CARLUCCI, Donald E. e JACOBSON, Sidney S.** *Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition.* s.l. : CRC Press, 2008. ISBN 1-4200-6618-8.
28. [Online] [Citação: 22 de Agosto de 2013.] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/105mm\\_tank\\_gun\\_Rifling.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/105mm_tank_gun_Rifling.jpg).
29. **EIP Metals Ltd.** *PNA 221.* [Documento PDF] 2010. 06\_10\_E.
30. **KME.** *KME 305 Datasheet.* [Documento PDF] 2010. OT95 22 CuZn5.
31. **Mosa.** *MOSA MDS-1 DRIVER-SIDE AIRBAG INFLATOR.* [Online] Mosa Industrial Corp., 2008. [http://www.twmosa.com/airbag/pd\\_mds1.htm](http://www.twmosa.com/airbag/pd_mds1.htm).
32. [Online] [Citação: 22 de Agosto de 2013.] <http://www.dkirubber.com/upload/O%20Rings.JPG>.
33. **TRELLERBORG.** *O-rings and Back-up Rings.* [Documento PDF] s.l. : Trelleborg Group, Abril de 2012.
34. **PECOL, SA.** *Catálogo Peças DIN/PCL e Outros.* [Online] 2010. <http://www.pecol.pt/catalogo/index.html>.
35. **Fabory.** *Catálogo de Fixação - Fabory online.* [Online] 2012. [http://www.fabory.pt/pt/categories/fixa%C3%A7%C3%A3o.html?catId=fabory\\_0000092195](http://www.fabory.pt/pt/categories/fixa%C3%A7%C3%A3o.html?catId=fabory_0000092195).
36. **Atlas Specialty Metals.** *Carbon Steel Hollow Bar.* [Documento PDF]
37. **Exército Português.** *Manual Obus 155mm M114A1.*
38. **SILVA, Arlindo, et al., et al.** *Desenho Técnico Moderno 8ª Edição.* s.l. : Lidel, 2004. ISBN 978-972-757-337-0.
39. **UDDEHOLM.** *ORVAR 2 Microdized.* [Documento PDF] 2006.

40. **NISBETT, J. Keith e BUDYNAS, Richard G.** *Shigley's Mechanical Engineering Design, Eighth Edition.* s.l. : McGrawHill, 2006. ISBN: 0-390-76487-6.
41. **WURTH.** *Technical Information of Fastners.* [Documento PDF]



## **Anexos**

- A1. Propriedades do aço AISI 1045.
- A2. Propriedades do aço sem costura DIN 20MnV6.
- A3. Propriedades do aço AISI H13.
- A4. Propriedades do Latão CuZn5 R340.
- A5. Dados do gerador de gás MOSA MDS-1.
- A6. Pernos DIN 916 – M3x16 – 45H.
- A7. Propriedades da classe de resistência 45H.
- A8. Parafusos DIN 84 – M5x8 – A2-70.
- A9. Propriedades da classe de resistência A2-70.
- A10. Pinos cilíndricos ISO 2338 – M5x14.
- A11. Propriedades de massa do projétil.
- A12. Desenhos técnicos.



A1 – Propriedades do aço AISI 1045 [24].

CLASSE	FAMÍLIA	MARCA	PERFIS DISPONÍVEIS	DUREZA (HB max.)	Rm (Kg/mm <sup>2</sup> )	Rp 0,2 (Kg/mm <sup>2</sup> )	A% (L <sub>0</sub> = 5)
AÇOS DE CONSTRUÇÃO [CARBONO]	0 413	R 4	∅		≥ 59	≥ 33	≥ 4
	0 415	F 10 (d)	∅ □ ▭ Ch.	207 *	≥ 59	≥ 33	≥ 4
	0 416	F 10 N	∅		≥ 57	≥ 28	≥ 14
	0 418	RK 418 (a)	∅	≥ 850 HV 0,1	≥ 51	≥ 28	≥ 14
	0 442	RK 442 (a)	∅		≥ 50 ★	≥ 34 ★	≥ 18 ★
	0 445	RK 445	∅		≥ 58 ★	≥ 48 ★	≥ 15 ★
	0 489	St 52	∅ □ Ch.		≥ 43	≥ 25	≥ 17
	2 415	C 1	∅ □		≥ 36	≥ 22	≥ 8
	2 425	C 3			≥ 60	≥ 30	≥ 5
	2 652	C 4	∅ □		≥ 59	≥ 33	≥ 5
	AÇOS DE CONSTRUÇÃO [CARBONO]						



## ATLAS SPECIALTY METALS

[www.atlasmetals.com.au](http://www.atlasmetals.com.au)

### CARBON STEEL HOLLOW BAR

#### Specifications

Atlas Carbon Steel Hollow Bar is in accordance with EN DIN 1629/1630 and EN DIN 2448.

#### Chemical Composition

Atlas Carbon Steel Hollow Bar is supplied in two grades. Grade 20MnVS6 (Wnr 1.5217) for sizes 32-250mm and Grade St 52.0 (Wnr 1.0421) for all sizes 250-457 mm.

	C	Si	Mn	P	S	V
<b>20MnVS6</b>	0.16-0.22	0.10-0.50	1.30-1.70	0.035 max	0.020-0.035	0.10-0.20 <sup>1)</sup>
<b>St 52.0</b>	0.22 max.	0.10-0.55	1.20-1.60	0.035 max	0.020-0.035	

<sup>1)</sup> in addition steel may contain Nb, whereby V+Nb = max. 0.21% applies

20MnVS6 is a micro-alloy steel with improved mechanical properties and with controlled sulphur content to improve machinability. St52.0 is a plain carbon steel defined by its mechanical properties; again controlled sulphur addition improves machinability.

#### Mechanical Properties

Grade	Delivery Condition	Tensile Strength Rm in MPa for wall thickness in mm			Yield Strength ReH in MPa min. for wall thickness in mm					Elongation A in % min.		Impact Value ISO-V (long) min.	
		<25	25-50	50-80	<12	12-25	25-40	40-50	50-65	long	transv	Test T	J min
<b>20MnVS6</b>	Untreated	650-800	620-770		470	470	450	430		17	15	0°C	27
	Q&T	700-850	650-800	520-670	590	570	540	510	480	16	14	-40°C	27
		<16	16-40	40-65	<16	16-40	40-65						
<b>St52.0</b>	Untreated	490-630			355	345	335			17	15	0°C	27

#### Heat Treatment

20MnVS6 is suitable for normalising, stress relief and hardening (Q&T). 20MnVS6 can be case hardened (or carbonitrided) to give a case depth of up to 1mm and hardness of up to 60 HRC. For further details consult a heat treatment specialist.

St 52.0 is suitable for normalising and stress relieving. For further details consult a heat treatment specialist.

#### Weldability

20MnVS6 hollow bar can be readily welded using all conventional methods. Welds should be completed without interruption. For fillet welds, a multi-pass technique should be selected. Stress relieving is generally not necessary. In case of WT>12mm preheating to 150-200°C is recommended. St52.0 hollow bar can be readily welded using manual and automatic methods. Preheating and/or stress relieving are generally not required, though may be necessary in the case of WT >30mm. For 20MnVS6 and St52.0 basic welding consumables are recommended.

For information on welding at low temperatures and other special conditions please consult your local welding specialist or Technical Support of Atlas Specialty Metals.

## A3 – Propriedades do aço AISI H13 [39].

### Bohler-Uddeholm ORVAR® 2M / AISI H13 Hot Work Tool Steel

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [Chrome-moly Steel](#); [Tool Steel](#); [Hot Work Steel](#)

**Material Notes:** Orvar 2 Microdized is a chromium-molybdenum-vanadium alloyed steel

ORVAR® 2M / AISI H13 is a conventionally produced hot work tool steel with overall good ductility, toughness, wear resistance, hardenability and machinability. ORVAR 2M from UDDEHOLM is specially processed to provide the best overall product consistency and uniformity available in a conventionally produced AISI H13 tool steel.

ORVAR 2 Microdized is characterized by:

- Good resistance to abrasion at both low and high temperatures
- High level of toughness and ductility
- Uniform and high level of machinability and polishability
- Good high-temperature strength and resistance to thermal fatigue
- Very limited distortion during hardening.

Applications: Tools for Extrusion-Dies, Backers, dieholders, liners, dummy blocks, stems; Plastic Molding Applications- Injection moulds, Compression/transfer moulds; and Sever cold punching, scrap shears, hot shearing, shrink rings(eg for cemented carbide dies), wear-resisting parts.

Information provided by Bohler-Uddeholm

**Key Words:** W.-Nr. 1.2344

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.78 g/cc	0.281 lb/in <sup>3</sup>	hardened to 45 HRC
	7.58 g/cc @Temperature 599 °C	0.274 lb/in <sup>3</sup> @Temperature 1110 °F	hardened to 45 HRC
	7.67 g/cc @Temperature 399 °C	0.277 lb/in <sup>3</sup> @Temperature 750 °F	hardened to 45 HRC

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Barcol	185	185	Soft annealed
Tensile Strength, Ultimate	1420 MPa	206000 psi	hardened to 45 HRC
	1810 MPa	263000 psi	hardened to 52 HRC
Tensile Strength, Yield 	1280 MPa @Strain 0.200 %	185000 psi @Strain 0.200 %	hardened to 45 HRC
	1520 MPa @Strain 0.200 %	220000 psi @Strain 0.200 %	hardened to 52 HRC
Modulus of Elasticity	210 GPa	30500 ksi	(hardened to 45 HRC)
	140 GPa @Temperature 599 °C	20300 ksi @Temperature 1110 °F	hardened to 45 HRC
	180 GPa @Temperature 399 °C	26100 ksi @Temperature 750 °F	hardened to 45 HRC

Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 	12.6 µm/m-°C @Temperature 399 °C	7.00 µin/in-°F @Temperature 750 °F	hardened to 45 HRC
	13.1 µm/m-°C @Temperature 599 °C	7.30 µin/in-°F @Temperature 1110 °F	hardened to 45 HRC
Thermal Conductivity	25.1 W/m-K	174 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F	hardened to 45 HRC
	29.0 W/m-K @Temperature 399 °C	201 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F @Temperature 750 °F	hardened to 45 HRC
	30.0 W/m-K @Temperature 599 °C	208 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F @Temperature 1110 °F	hardened to 45 HRC

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.39 %	0.39 %	
Chromium, Cr	5.3 %	5.3 %	
Manganese, Mn	0.40 %	0.40 %	
Molybdenum, Mo	1.3 %	1.3 %	
Silicon, Si	1.0 %	1.0 %	
Vanadium, V	0.90 %	0.90 %	

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

# PNA 221

## CuZn5 / C21000

Release 06 10 E



PNA 221 is solid solution strengthened copper alloy (brass) with 5% zinc. As the zinc content increases in the alloy, the strength improves, but is accompanied by losses in conductivity and ductility.

Moreover, it should be noted that as the zinc content rises, the inclination to stress corrosion cracking increases in the event of exposure to an ammoniacal atmosphere. This type of corrosion can, however, be combated in many cases by the removal of thermal stress.

As the zinc content rises, the user may under certain circumstances have an economic advantage due to the different metal values

### Chemical composition (wt.%)

Cu	94 – 96
Fe	max 0.05
Pb	max 0.05
Zn	Rem.

### Physical properties

Density	g/cm <sup>3</sup>	8.9
Coefficient of thermal expansion	10 <sup>-6</sup> /K	18.0
Electrical conductivity	MS/m	32.8
	%IACS	56
Thermal conductivity	W/(mK)	243
Modulus of elasticity	kN/mm <sup>2</sup>	127

### Material designation

Prymetall	PNA 221
EN	CuZn5 CW500L
UNS*	C 21000

\* Unified Numbering System

### Mechanical properties

		R 230 H 045	R 270 H 075	R 340 H 110
Tensile strength $R_m$	N/mm <sup>2</sup>	230 – 280	270 – 350	> 340
Yield strength $R_{p0.2}$	N/mm <sup>2</sup>	< 130	> 200	> 280
Elongation $A_{50}$	%	> 36	> 12	> 4
Hardness $HV$	-	45 – 75	75 – 110	> 110

### Bendability

		R 230	R 270	R 340
$r = x \cdot t$ ( $t \leq 0.5\text{mm}$ )	90° GW**	0	0	0.5
	90° BW	0	0	1
	180° GW	0	0	1
	180° BW	0	1	2

\*\* GW: bending edge  $\perp$  rolling direction, BW: bending edge  $\parallel$  rolling direction

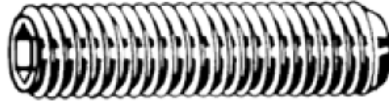
The above mentioned data is a general technical product information only and is not a legal warranty. Binding specifications are subject to a later conclusion of a contract. This leaflet is not subject to revision.



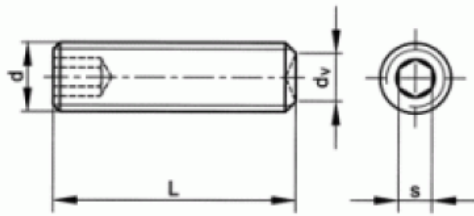
A6 – Pernos DIN 916 – M3x16 – 45H [35].

07840030016

D916 CL.45H PERNO M3X16



Marca	-
Código UBB	950351513987
Código UNSPSC	31161518
Código EAN	8715492162465
Driving features	sextavado interior
Rosca	Métrica
Classe	45H
Material	Aço



s	1,5
dv	1,4
P	0,5
L	16
d	M3
Embalagem (Peça )	200.0



Copyright Fabory Group

Mechanical property		Strength class <sup>1)</sup>			
		14H	22 H	33 H	45H
Vickers hardness HV	min.	140	220	330	450
	max.	290	300	440	560
Brinell hardness HB, F = 30 D <sup>2</sup>	min.	133	209	314	428
	max.	276	285	418	532
Rockwell hardness HRB	min.	75	95		
	max.	105			
Rockwell hardness HRC	min.		30	33	45
	max.			44	53
Surface hardness HV 0.3			320	450	580

<sup>1)</sup> Strength classes 14H, 22H and 33H do not apply to threaded pins with a hexagonal socket

Tab. 9: Extract from EN ISO 898-5

### 1.7 Marking of screws and nuts

#### Marking screws with full loadability

##### Hexagon head screws:

Marking hexagon head screws with the manufacturer's mark and the strength class is prescribed for all strength classes and a nominal thread diameter of  $d \geq 5$  mm.

The screw must be marked at a point where its shape permits.

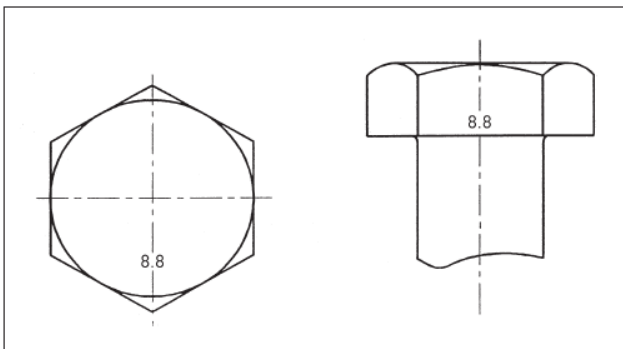


Fig. G: Example for the marking of hexagon head screws

##### Socket head cap screws:

Marking socket head cap screws with the manufacturer's mark and the strength class is prescribed for strength classes  $\geq 8.8$  and a thread diameter of  $d \geq 5$  mm.

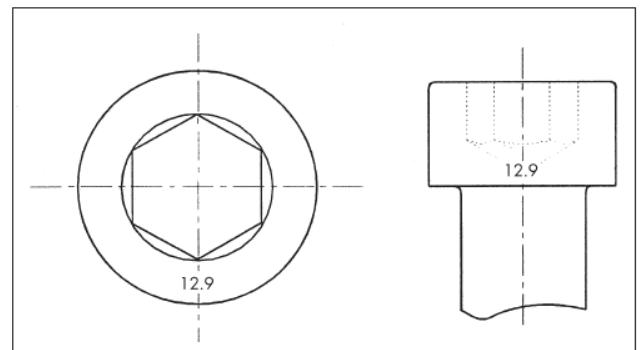


Fig. H: Example for the marking of socket head cap screws

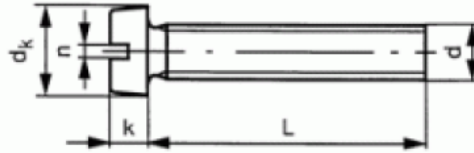
A8 – Parafusos DIN 84 – M5x8 – A2-70 [35].

51120050008

D84 INOX A2 PF CIL M5X8



Marca	-
Código UBB	950353260652
Código UNSPSC	31161504
Código EAN	8715492271631
PL - Kopsoort	cabeça cilíndrica
Rosca	Métrica
Classe	70
Material	Aço inoxidável
Material técnico	A2
Driving features	slotted



Rosca total thread L ≤	40
n	1,2
k	3,3
dk	8,5
P	0,8
L	8
d	M5
Embalagem (Peça )	200.0



Copyright Fabory Group

### Mechanical properties of screws in the austenitic steel groups

Steel group	Steel grade	Strength class	Diameter range	Screws		
				Tensile strength $R_m^{1)}$ MPa min.	0.2% offset yield point $R_{p0.2}^{1)}$ MPa min.	Elongation at fracture $A^{2)}$ mm min.
Austenitic	A1, A2, A3, A4 and A5	50	≤ M39	500	210	0.6 d
		70	< M24 <sup>3)</sup>	700	450	0.4 d
		80	< M24 <sup>3)</sup>	800	600	0.3 d

<sup>1)</sup> The tensile stress is calculated in relation to the tension cross-section (see annex A or DIN EN ISO 3506-1).  
<sup>2)</sup> According to 6.2.4, the elongation at fracture is to be determined at the respective length of the screw and not on turned off specimens. d is the nominal diameter.  
<sup>3)</sup> In case of fasteners with a nominal thread diameter d > 24 mm the mechanical properties must be agreed between the user and the manufacturer. They must be marked with the steel grade and strength class in accordance with this table.

Tab. 16: Extract from DIN EN ISO 3506-1

The yield point  $R_{p0.2}$  is determined in accordance with DIN EN ISO 3506-1 in the tensile test of whole screws because the strength properties are achieved in part through cold forming.

#### 2.1.2 Apparent yielding point loads for set screws

Austenitic chromium-nickel steels cannot be hardened. A higher yield point can only be achieved through strain hardening that arises as a consequence of cold forming (e.g. round die thread rolling). Table 17 shows apparent yielding point loads for set screws in accordance with DIN EN ISO 3506.

Nominal diameter	Apparent yielding point loads for austenitic steels in accordance with DIN EN ISO 3506 A2 and A4 in N	
	50	70
M5	2,980	6,390
M6	4,220	9,045
M8	7,685	16,470
M10	12,180	26,100
M12	17,700	37,935
M16	32,970	70,650
M20	51,450	110,250
M24	74,130	88,250
M27	96,390	114,750
M30	117,810	140,250

Tab. 17: Apparent yielding point loads for set screws in accordance with DIN EN ISO 3506

#### 2.1.3 Reference values for tightening torques for screws, cf. chapter 6.6

#### 2.2 Corrosion resistance of A2 and A4

Stainless steels and acid-resistant steels such as A2 and A4 come in the category of "active" corrosion protection.

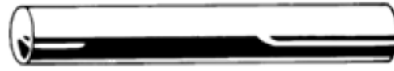
Stainless steels contain at least 16% chromium (Cr) and are resistant to aggressive oxidising media. Higher Cr contents and additional alloy components, such as nickel (Ni), molybdenum (Mo), titanium (Ti) or niobium (Nb), improve the corrosion resistance. These additives also influence the mechanical properties. Other alloy components are added only to improve the mechanical properties, e.g. nitrogen (N), or the machining capability, e.g. sulphur (S).

Fasteners made of austenitic steels are generally not magnetisable, but a certain amount of magnetisability may be present after the cold forming. However, this does not affect the corrosion resistance. Magnetisation through strain hardening can go so far that the steel part sticks to a magnet.

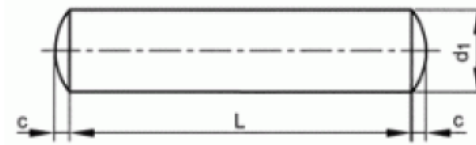
Under the effect of oxygen stainless steel forms a stable oxide layer (passive layer). This passive layer protects the metal from corrosion.

A10 – Pinos cilíndricos ISO 2338 – M5x14 [35].

39070050014	D7 AÇO CAV CIL TOL-M6 5X14MM
-------------	------------------------------



Marca	-
Código UBB	950359002322
Código UNSPSC	31163203
Código EAN	8715492796493
Material (long)	Aço de corte



c (max.)	0,75
L	14
d	5
Embalagem (Peça )	100.0



Copyright Fabory Group

A11 – Propriedades de massa do projétil.

**Mass Properties**

Print... Copy Close Options... Recalculate

Output coordinate system: Referencial base

Selected items: Projétil\_155.SLDASM

Include hidden bodies/components

Show output coordinate system in corner of window

Assigned mass properties

Mass properties of Projétil\_155 ( Assembly Configuration - Default)

Output coordinate System: Referencial base

Mass = 43.80 kilograms

Volume = 11638695.91 cubic millimeters

Surface area = 1128291.57 square millimeters

Center of mass: ( millimeters )

X = -0.00  
Y = 318.34  
Z = 0.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: ( kilograms \* square millimeters )

Taken at the center of mass.

Ix = (-0.00, 1.00, 0.00) Px = 171012.48  
Iy = (-0.03, -0.00, 1.00) Py = 1813167.84  
Iz = (1.00, 0.00, 0.03) Pz = 1813179.08

Moments of inertia: ( kilograms \* square millimeters )

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 1813179.07 Lxy = -21.98 Lxz = -0.30  
Lyx = -21.98 Lyy = 171012.48 Lyz = 2.29  
Lzx = -0.30 Lzy = 2.29 Lzz = 1813167.85

Moments of inertia: ( kilograms \* square millimeters )

Taken at the output coordinate system.

Ixx = 6251967.77 Ixy = -45.04 Ixz = -0.30  
Iyx = -45.04 Iyy = 171012.48 Iyz = 4.85  
Izx = -0.30 Izy = 4.85 Izz = 6251956.55

Projétil\_155 \*

Check Active ... SimulationXpress Analysis Wizard

Projétil\_155



A12 – Desenhos técnicos.

- A12.1. Corpo principal
- A12.2. Corpo secundário
- A12.3. Base
- A12.4. Cinta de travamento
- A12.5. Corpo da espoleta
- A12.6. Tampa da espoleta
- A12.7. Projétil 155