



ACADEMIA MILITAR

**Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de
Infantaria**

**IMPACTOS BALÍSTICOS EM UAS:
REQUISITOS PARA A CRIAÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE
IMPACTOS**

Autor: Aspirante-Aluno Inf André Miguel Pereira Bernardino

Orientador: Professor Doutor José Alberto De Jesus Borges

Coorientador: Capitão de Infantaria Jorge Manuel Martins Magalhães

Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada

Lisboa, maio de 2018



ACADEMIA MILITAR

**Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de
Infantaria**

**IMPACTOS BALÍSTICOS EM UAS:
REQUISITOS PARA A CRIAÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE
IMPACTOS**

Autor: Aspirante-Aluno Inf André Miguel Pereira Bernardino

Orientador: Professor Doutor José Alberto De Jesus Borges

Coorientador: Capitão de Infantaria Jorge Manuel Martins Magalhães

Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada

Lisboa, maio de 2018

EPÍGRAFE

*“Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis.”*

(Bertolt Brecht)

DEDICATÓRIA

À minha família, namorada, camaradas e amigos,
por todo o apoio ao longo do meu percurso
na Academia Militar.

AGRADECIMENTOS

O presente Trabalho de Investigação Aplicada, que visa a obtenção do grau de Mestre na especialidade de Infantaria, é resultado do contributo de várias pessoas, não podendo assim deixar de referir alguns nomes aos quais deixo o meu apreço em particular.

Ao Sr. Professor Doutor José Borges, que na função de orientador, apresentou grande disponibilidade para me apoiar e orientar ao longo de toda a investigação. Pela sua capacidade de motivação e apresentação de novas ideias relativamente à área científica em investigação.

Ao Sr. Major Jorge Magalhães, coorientador, por toda a dedicação e apoio, de modo a conseguir um bom desenvolvimento da investigação, sempre na direção correta.

Agradeço também ao Sr. Tenente-Coronel António Oliveira pela orientação inicial na escolha do tema e desenvolvimento do projeto. Ao Sr. Tenente-Coronel Jorge ribeiro e ao Sr. Major Ricardo Silva pela disponibilidade e apoio prestado, enquanto Direção de Cuso.

Aos meus pais, que foram sem dúvida o meu pilar de apoio ao longo de todo o meu percurso na Academia Militar.

Ao meu avô, João Dias Pereira, por todo o apoio e sabedoria transmitida, não só no decorrer dos cinco anos de Academia, mas em toda a minha vida.

À minha namorada, Mariana Clarinha, por todo o apoio, disponibilidade e compreensão ao longo destes cinco anos.

Ao meu tio, José Gaspar, pelo apoio e auxílio prestado na realização desta investigação.

Aos restantes elementos da minha família, por todo o apoio e boa disposição que transmitiram no decorrer do curso.

Aos meus camaradas de curso, por todo o apoio, disponibilidade, boa disposição e união.

A todos vós,
André Bernardino

RESUMO

O presente trabalho de investigação aplicada está subordinado ao tema “Impactos balísticos em UAS: Requisitos para a criação de um laboratório de impactos”.

O estudo de novos materiais de proteção balística é um tema de bastante relevo e importância para a Academia Militar e para o Exército Português. O peso e a capacidade de proteção balística são dois requisitos fundamentais para a aplicação de proteções balísticas em elementos críticos dos sistemas aéreos não tripulados. Para que seja possível a sua investigação, é essencial que existam condições que proporcionem esse mesmo estudo.

Deste modo, o presente trabalho procura investigar a capacidade de proteção balística de novos materiais compósitos e levantar requisitos para a criação de um laboratório de impactos que proporcione as condições ideais para a realização de ensaios balísticos.

Como objetivo geral pretende-se desenvolver uma base de conhecimento militar e científico, no âmbito dos materiais com vista à maximização da proteção dos elementos críticos de um sistema aéreo não tripulado. Pretende-se também investigar quais os requisitos para a criação de um laboratório de impactos, e respetiva implementação na Academia Militar, e levantar requisitos para a realização de ensaios balísticos em novos materiais compósitos.

Quanto ao método de investigação científica, foi utilizado o método hipotético-dedutivo, comprovando as hipóteses apresentadas no início da investigação, solucionando assim a problemática levantada através da análise documental e dos ensaios balísticos.

Os resultados obtidos na realização dos ensaios balísticos foram bastante relevantes pois foi possível cumprir os requisitos de proteção balística em painéis balísticos com materiais compósitos inovadores.

Conclui-se que um laboratório de impactos apresenta inúmeros requisitos, sendo que o fundamental será cumprir as normas apresentadas pelas organizações internacionais de standardização para que os resultados obtidos na realização de ensaios balísticos sejam fidedignos e internacionalmente aceites.

Palavras-Chave: UAS; Laboratório de Impactos; Ensaio balísticos; Proteção balística

ABSTRACT

The present applied research work is subordinated to the theme “Ballistic impacts in UAS: Requirements for the creation of an impact laboratory”.

The study of ballistic protection new materials is a subject of considerable importance for the Military Academy and for the Portuguese Army. Weight and ballistic protection capacity are two fundamental requirements for the application of ballistic protection in critical elements of unmanned aerial systems. To turn this investigation possible, it is essential to provide conditions for the purpose.

In this way, the present work investigates the ballistic protection capacity of new composite materials and establishes requirements for the creation of an impact laboratory that provides the ideal conditions for ballistic tests.

The general objective is to develop a military and scientific knowledge about materials to maximize the protection of the critical elements of an unmanned aerial system. It is also intended to investigate the requirements for the creation of an impact laboratory, and its implementation at the Military Academy, and to establish requirements for performing ballistic tests on new composite materials.

As for the scientific research method, the hypothetical-deductive method was used, proving the hypotheses presented at the beginning of the investigation, thus solving the problem raised through documentary analysis and ballistic tests.

The results obtained in the accomplishment of the ballistic tests were very relevant because it was possible to fulfill the requirements of ballistic protection in ballistic panels with innovative composite materials.

It is concluded that an impact laboratory has many requirements, and the key is to comply with the standards presented by international standardization organizations so that the results obtained in the performance of ballistic tests are reliable and internationally accepted.

Keywords: UAS; Impact laboratory; Ballistic tests; Ballistic protection

ÍNDICE GERAL

EPÍGRAFE	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABELAS	xi
LISTA DE APÊNDICES	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS E SIGLAS	xiv
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1. VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS	5
1.1. Conceitos	5
1.2. Componentes do Sistema.....	6
1.3. Interoperabilidade e standardização do sistema.....	8
1.4. Níveis de Interoperabilidade	9
1.5. Classificação	10
CAPÍTULO 2. PROTEÇÃO BALÍSTICA	13
2.1. Balística	13
2.1.1. Balística Interna.....	13
2.1.2. Balística Intermédia.....	14
2.1.3. Balística Externa	14
2.1.4. Balística de Efeitos.....	14
2.2. Elementos Balísticos.....	15

2.2.1. Munições de Armas Ligeiras.....	15
2.2.2. Elementos de Proteção Balística	17
CAPÍTULO 3. LABORATÓRIO DE IMPACTOS	21
3.1. Normas aplicáveis para habilitação de laboratórios de ensaios	21
3.1.1. Disposições Gerais	22
3.1.2. Disposições Técnicas	25
3.1.3. Procedimentos para o condicionamento de amostras.....	28
3.1.4. Relatório de teste de impactos Balísticos.....	28
3.2. Conceito de instalação para ensaios balísticos.....	29
3.3. Equipamento	29
3.4. Disposições construtivas.....	34
3.4.1. Proteção Acústica.....	34
3.4.2. Sistema de Ventilação	35
3.4.3. Sistema de iluminação.....	35
3.4.4. Segurança	35
3.5. Organização geral do laboratório de impactos.....	36
3.5.1. Zona de Implantação	37
3.5.2. Zonas Funcionais do Laboratório de Impactos	38
CAPÍTULO 4. ENSAIOS BALÍSTICOS	40
4.1. Caracterização e seleção dos materiais para painéis balísticos.....	40
4.2. Modos de falha.....	40
4.3. Plano de Ensaios	41
4.4. Requisitos dos Painéis Balísticos.....	42
4.5. Preparação das Infraestruturas e da instalação dos Ensaios.....	43
CAPÍTULO 5. METODOLOGIA	45
5.1. Tipo de Estudo	45
5.2. Técnicas, Procedimentos e Meios Utilizados	45

5.3. Perguntas Derivadas	45
5.4. Hipóteses de investigação	46
5.5. Local e Data da Pesquisa e Recolha de Dados	47
CAPÍTULO 6. RESULTADOS	48
6.1. Generalidades.....	48
6.2. Ensaio Balístico N.º 1	48
6.3. Ensaio Balístico N.º 2	49
6.4. Ensaio Balístico N.º 3	49
6.5. Ensaio Balístico N.º 4	50
6.6. Ensaio Balístico N.º 5	51
6.7. Ensaio Balístico N.º 6	51
6.8. Ensaio Balístico N.º 7	52
6.9. Ensaio Balístico N.º 8	53
6.10. Ensaio Balístico N.º 9.....	53
CAPÍTULO 7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	55
7.1. Resposta às Questões Derivadas e Verificação das Hipóteses	55
7.2. Resposta à Questão Central	59
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Unmanned Aircraft System Componentes.....	6
Figura 2 – Munição de Armas Ligeiras	15
Figura 3 – Projétil em corte transversal, com as três zonas distintas	16
Figura 4 – Disposição da instalação de ensaios.....	23
Figura 5 – Distância da instalação do sistema de telas.....	25
Figura 6 – Conceito de instalação para ensaios balísticos.....	29
Figura 7 – Cronógrafo Balístico	30
Figura 8 – Coletor de Projéteis e estilhaços.	31
Figura 9 – Estrutura porta alvos	31
Figura 10 – Adaptador metálico para fixação dos painéis.....	32
Figura 11 – Protótipo de um para-balas de lamelas	33
Figura 12 – Sistema de projeção composto por cavalete e fixador com culatra e cano.	34
Figura 13 – Exemplo de planta do Laboratório de impactos.....	37
Figura 14 – Zona de implantação do Laboratório de Impactos	38
Figura 15 – Modos de falha das estruturas de painéis de proteção balística.....	41
Figura 16 – Requisitos dos Ensaio Balísticos	43
Figura 17 – Laminado A1. Ensaio balístico n°1	I
Figura 18 – Lado de saída do projétil. Laminado A1. Ensaio balístico n°1.	II
Figura 19 – Laminado A2. Ensaio balístico n°2.....	III
Figura 20 – Lado de saída do projétil. Laminado A2. Ensaio balístico n°2.	IV
Figura 21 – Laminado A4. Ensaio balístico n°3.....	V
Figura 22 – Lado de saída do projétil. Laminado A4. Ensaio balístico n°3.	VI
Figura 23 – Lado de entrada do projétil. Laminado A4. Ensaio balístico n°3.....	VI
Figura 24 – Laminado A5. Ensaio balístico n°4.....	VIII

Figura 25– Lado de entrada do projétil. Laminado A5. Ensaio balístico nº4.....	VIII
Figura 26 – Lado de saída do projétil. Laminado A5. Ensaio balístico nº4.	IX
Figura 27 – Laminado A7. Ensaio balístico nº5.....	X
Figura 28 – Lado de saída do projétil. Laminado A7. Ensaio balístico nº5.	X
Figura 29 – Laminado A9. Ensaio balístico nº6.....	XII
Figura 30 – Lado de entrada do projétil. Laminado A9. Ensaio balístico nº6.....	XII
Figura 31 – Lado de saída do projétil. Laminado A9. Ensaio balístico nº6.	XIII
Figura 32 – Laminado A11. Ensaio balístico nº7.....	XIV
Figura 33 – Lado de entrada do projétil. Laminado A11. Ensaio balístico nº7.....	XIV
Figura 34 – Lado de saída do projétil. Laminado A11. Ensaio balístico nº7.	XV
Figura 35 – Laminado A12. Ensaio balístico nº8.....	XVI
Figura 36 – Lado de entrada do projétil. Laminado A12. Ensaio balístico nº8.....	XVI
Figura 37 – Lado de saída do projétil. Laminado A12. Ensaio balístico nº8.	XVII
Figura 38 – Laminado A13. Ensaio balístico nº9.....	XVIII
Figura 39 – Lado de entrada do projétil. Laminado A13. Ensaio balístico nº9.....	XVIII
Figura 40 – Lado de saída do projétil. Laminado A13. Ensaio balístico nº9.	XIX
Figura 41 – Vista superior do túnel e sala de impactos.....	XX
Figura 42 – Vista em profundidade do túnel de impactos.....	XX
Figura 43 – Vista superior da sala de impactos.....	XX
Figura 44 – Vista superior da Oficina de ensaios mecânicos de baixa velocidade.	XXI
Figura 45 – Vista em profundidade da Oficina de ensaios mecânicos de baixa velocidade.....	XXI
Figura 46 – Vista superior da sala de condicionamento de material.....	XXI

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Guia de classificação de aeronaves não tripuladas	11
Tabela 2 – Níveis de proteção balística NIJ Standard-0101.06.....	18
Tabela 3 – Características típicas dos projéteis utilizados em testes balísticos	19
Tabela 4 – Distâncias da instalação de acordo com a ameaça.....	24
Tabela 5 – Plano de Ensaios Balísticos	42
Tabela 6 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 1	49
Tabela 7 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 2	49
Tabela 8 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 3	50
Tabela 9 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 4	50
Tabela 10 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 5	51
Tabela 11 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 6	52
Tabela 12 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 7	52
Tabela 13 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 8	53
Tabela 14 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 9	54
Tabela 15 – Ensaio balístico n.º 1 (Geral)	I
Tabela 16 – Ensaio Balístico n.º 1 (Detalhe).....	II
Tabela 17 – Ensaio balístico n.º 2 (Geral)	III
Tabela 18 – Ensaio balístico n.º 2 (Detalhe)	IV
Tabela 19 – Ensaio balístico n.º 3 (Geral)	V
Tabela 20 – Ensaio balístico n.º 3 (Detalhe)	VII
Tabela 21 – Ensaio balístico n.º 4 (Geral)	VIII
Tabela 22 – Ensaio balístico n.º 4 (Detalhe)	IX
Tabela 23 – Ensaio balístico n.º 5 (Geral)	X

Tabela 24 – Ensaio balístico n.º 5 (Detalhe)	XI
Tabela 25 – Ensaio balístico n.º 6 (Geral)	XII
Tabela 26 – Ensaio balístico n.º 6 (Detalhe)	XIII
Tabela 27 – Ensaio Balístico n.º 7 (Geral)	XIV
Tabela 28 – Ensaio balístico n.º 7 (Detalhe)	XV
Tabela 29 – Ensaio Balístico n.º 8 (Geral)	XVI
Tabela 30 – Ensaio balístico n.º 8 (Detalhe)	XVII
Tabela 31 – Ensaio balístico n.º 9 (Geral)	XVIII
Tabela 32 – Ensaio balístico n.º 9 (Detalhe)	XIX

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Relatório de Ensaio Balístico n.º 1	I
Apêndice B – Relatório de Ensaio Balístico n.º 2	III
Apêndice C – Relatório de Ensaio Balístico n.º 3	V
Apêndice D – Relatório de Ensaio Balístico n.º 4	VIII
Apêndice E – Relatório de Ensaio Balístico n.º 5	X
Apêndice F – Relatório de Ensaio Balístico n.º 6.....	XII
Apêndice G – Relatório de Ensaio Balístico n.º 7	XIV
Apêndice H – Relatório de Ensaio Balístico n.º 8.....	XVI
Apêndice I – Relatório de Ensaio Balístico n.º 9	XVIII
Apêndice J – Compartimentos do laboratório de impactos	XX

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS E SIGLAS

AM	Academia Militar
ASTM	American Society for Testing and Materials
BLOS	Beyond-Line-Of-Sight
CT	Carreira de Tiro
CINAMIL	Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar
C2	Comando e Controlo
DoD	Department of Defence
EO	Eletro-Ótica
EA	Escola das Armas
g	Grama
°C	Graus Celsius
GMTI	Ground Moving Target Indication
IV	Infra Vermelhos
ISTAR	Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance
ISO	International Organization for Standardization
JAPCC	Joint Air Power Competence Centre
LOS	Line-Of-Sight
m	Metro
mm	Milímetros
NATO	North Atlantic Treaty Organization
QC	Questão Central
QD	Questão Derivada
Kg	Quilograma
Km	Quilómetro
ReqProtBalUAV	Requisitos de Proteção Balística em UAV
ReqEnsBal	Requisitos dos Ensaios Balísticos
SIGINT	Signal Intelligence

STANAG	Standardization Agreement
SAR	Synthetic Aperture Radar
TIA	Trabalho de Investigação Aplicada
UCS	UAV Control System
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
UA	Unmanned Aircraft
UAS	Unmanned Aircraft System

INTRODUÇÃO

No âmbito da estrutura curricular do mestrado em Ciências Militares, ministrado na Academia Militar (AM), é apresentado o Trabalho de Investigação Aplicada (TIA) subordinado ao tema “Impactos balísticos em UAS: Requisitos para a criação de um laboratório de impactos”.

O tema apresentado surge no seguimento de alguns projetos de investigação, sobre veículos aéreos não tripulados, que estão a ser desenvolvidos pelo Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL), em parceria com outras organizações, nomeadamente os projetos: “X Aero Structures II”, cujo objetivo é desenvolver e otimizar componentes compósitas para estruturas aéreas; “BaToLUS 2: Battle damage tolerance for lightweight air structures 2”, que procura desenvolver estruturas aéreas inovadoras, reduzindo as suas vulnerabilidades e melhorando processos de investigação; “ALIR_mcs: Advanced lightweight impact resistant materials, componentes and structures”, que visa o desenvolvimento de ferramentas de moldagem e simulação de novos materiais e os respetivos processos de produção com vista ao desenvolvimento de sistemas aéreos de controlo remoto; e “Produção e testes de painéis de proteção balística”, que tem como objetivo produzir e testar painéis de proteção balística que respondam às necessidades de proteção balística dos níveis I, IIa, II e IIIa.

Foram também desenvolvidos trabalhos de investigação, na Academia Militar, que seguem a mesma linha de investigação, nomeadamente: “Avaliação do comportamento mecânico de blindagens balísticas”, de José Pinto; “Proteção balística do soldado de infantaria”, de João Ferreira, e “Análise numérico-experimental de blindagens balísticas”, de José Mestre, entre outras. Estes obtiveram resultados bastante interessantes no que diz respeito aos primeiros passos na área da proteção balística, no Exército Português, e no estudo de materiais compósitos que possam vir a melhorar o seu emprego operacional.

O estudo da proteção balística, baseado no emprego de novos materiais, mais económicos e flexíveis, tem em vista melhorar os níveis de proteção balística de equipamento militar no qual este é passível de ser aplicado. Uma possível aplicação dos elementos de proteção balística é o caso dos *Unmanned Aircraft System*¹ (UAS) e a salvaguarda de elementos críticos dos mesmos. Com vista à obtenção de resultados mais

¹ *Unmanned Aircraft System* significa sistema aéreo não tripulado.

rigorosos e estandardizados, é então fundamental procurar outro método para o estudo dos mesmos que não em carreira de tiro, onde existem várias condições que influenciam o estudo do mesmo. Deste modo, surge a necessidade de procurar investigar requisitos para a edificação e funcionamento de um laboratório de impactos, com vista a alcançar resultados mais fidedignos e rigorosos.

O laboratório de impactos é uma infraestrutura de relevo para Portugal e para as Forças Armadas Portuguesas. Este apresenta um leque de vantagens para a nossa instituição no que diz respeito a produção de conhecimento científico aplicável não só ao emprego operacional do Exército Português e às Forças Armadas, mas também a entidades civis Nacionais e Internacionais, pois é escasso este tipo de laboratórios a nível internacional e os benefícios e resultados que estes produzem são de extremo interesse. O laboratório de impactos tem como principal objetivo o estudo do comportamento de materiais perante impactos de elevada energia e elevada velocidade.

Áreas ligadas à mecânica experimental, caracterização de materiais, estudo de impactos de alta velocidade e fabrico e prototipagem são algumas das capacidades que o laboratório visa alcançar. Para tal, o presente TIA procura definir requisitos baseados em conceitos, normas e características com vista à possível construção de um laboratório de impactos na Academia Militar.

Deste modo, com a presente investigação, procura-se continuar a investigação e experimentação de material compósito e a sua aplicação nos UAS, analisando e definindo os requisitos para a criação de um laboratório de impactos.

“O objetivo geral de uma investigação deve ser enunciado na fase inicial da investigação, logo que estabelecido o objeto de estudo. Isto porque dá uma orientação sobre o tipo de estudo a efetuar, as variáveis em equação e, ainda, sobre as hipóteses a formular, caso existam.” (Santos, L. *et all*, 2016, p. 53).

O **objetivo geral** do presente TIA visa o desenvolvimento de uma base de conhecimento militar e científico no que diz respeito aos elementos de proteção balística e dos seus materiais constituintes, com vista à maximização da proteção dos elementos críticos dos UAS.

“A formulação dos objetivos específicos deve corresponder à decomposição ou desconstrução dos objetivos gerais da investigação em aspetos mais restritos e elementares, traduzidos em atividades e tarefas que deverão ser observáveis e mensuráveis, de modo a permitir conhecer o grau de cumprimentos dos objetivos gerais.” (Santos, L. *et all*, 2016, p. 59)

Quanto aos **objetivos específicos**, estes procuram abordar três vertentes: os UAS, o laboratório de impactos e as capacidades dos materiais a testar. No que diz respeito aos UAS, é fundamental primeiramente compreender os seu funcionamento e as suas capacidades para que seja possível compreender quais os elementos críticos do UAS a proteger e como deve ser aplicada a proteção balística nos mesmos. Quanto ao laboratório de impactos, pretende-se analisar quais as normas que regulam o funcionamento dos mesmos e quais os procedimentos e medidas de segurança a ter em conta no decorrer dos ensaios. Por fim, pretende-se ainda investigar novos materiais, através de ensaios balísticos, com vista a verificar as suas capacidades de proteção balística. Para obtermos uma investigação mais estruturada relativamente aos objetivos que se pretende investigar, foram levantados dois tipos de requisitos: requisitos de ensaios balísticos e requisitos para a criação de um laboratório de impactos.

Fortin (1999, p. 51), define a questão central como “uma interrogação explícita relativa a um domínio que se deve explorar com vista a obter novas informações (...) um enunciado interrogativo e não equívoco que precisa os conceitos chave, específica a natureza da população que se quer estudar e sugere uma investigação empírica”. Deste modo, o presente TIA procura responder à seguinte **Questão Central (QC)**: “Quais as especificações e requisitos de um laboratório de impactos?”, considerando que o objetivo visa o teste de materiais aplicáveis no emprego operacional dos UAS.

Relativamente à estrutura do presente trabalho, na parte textual, este inicia-se com a introdução do tema, na qual o mesmo é apresentado, as respetivas motivações e a pertinência da investigação. Ainda no mesmo são definidos o objetivo geral e os objetivos específicos da investigação. Por fim, é apresentada a estrutura do presente trabalho de investigação.

Após a introdução, o trabalho é composto por sete capítulos. Os três primeiros abordam toda uma base de conhecimento científico fundamental para a investigação, sendo abordados os veículos aéreos não tripulados, a proteção balística e ainda o laboratório de impactos.

Seguidamente, no capítulo 4 são abordados os ensaios balísticos e levantados os seus requisitos que serão apresentados e discutidos no capítulo 6. O capítulo 5 apresenta a metodologia utilizada na elaboração do presente trabalho de investigação. No capítulo 7, “Discussão de resultados” procurar-se-á responder às questões de investigação e verificar as respetivas hipóteses

Por fim, são apresentadas as respetivas conclusões e recomendações da investigação e são ainda apresentadas as referências bibliográficas.

A parte pós-textual é composta pelos apêndices e anexos que apoiam a estrutura da investigação.

CAPÍTULO 1. VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

De acordo com Botelho (2006), as primeiras concepções relacionadas com engenhos que permitiam transportar explosivos, através de balões de ar quente e aeronaves de controlo remoto, sobre as forças inimigas, surgiram no início do século XX. Este conceito teve uma expansão, no que concerne à sua aplicação, na segunda Guerra Mundial, tendo o exército Alemão empregue veículos não tripulados sob a forma de mísseis. A partir desse momento, verificou-se uma grande expansão no que concerne à sua utilização e desenvolvimento, até que na década de setenta foram utilizados pela primeira vez num teatro de operações, por Israel, *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) com capacidade para transmitir imagens em tempo real.

Como verificado, o interesse em UAV tem vindo a ganhar grandes dimensões, resultado das capacidades que estes proporcionam aos Exércitos que os possuem. São diversas as aplicações destes sistemas, podendo dar como exemplo as seguintes aplicações: Vigilância; reconhecimento; cartografia; patrulha de fronteiras e costas; resgate; deteção de incêndios; aplicações agrícolas e monitorização de tráfego.

Assim sendo, dada a relevância do tema, será fundamental ter em conta os conceitos apresentados nas secções seguintes.

1.1. Conceitos

Unmanned Aircraft (UA): Entende-se por UA uma aeronave que não transporta um operador humano e tem a capacidade de operar através, ou não, de controlo remoto (DoD, 2014).

Unmanned Aerial Vehicles (UAV): Os UAV são veículos aéreos que não transportam um operador humano, usam forças aerodinâmicas para gerar sustentação, podem voar autonomamente ou serem pilotados remotamente, são descartáveis ou recuperáveis e podem transportar uma carga letal ou não-letal. Veículos balísticos ou semi-balísticos, mísseis cruzeiro e projéteis de artilharia não são considerados veículos aéreos não tripulados (NATO, 2012).

Unmanned Aircraft System (UAS): Dá-se o nome de UAS ao sistema que integra a aeronave e os vários componentes necessários ao seu controlo (NATO, 2012). Estes

componentes são o *unmanned aircraft* (UA), o *payload*, o elemento humano, o elemento de controlo, o *display*, a arquitetura de comunicações, o fluxo logístico e a unidade que estes componentes estão a apoiar (DoD, 2010).

1.2. Componentes do Sistema

De acordo com o *Joint Air Power Competence Centre* (JAPCC, 2010), um sistema UAS, do ponto de vista operacional, é composto pelas seguintes componentes: 1) *Unmanned Aircraft*; 2) *payloads*; 3) elemento humano; 4) elemento de controlo; 5) *data links*; 6) elementos de apoio (ver Figura 1).

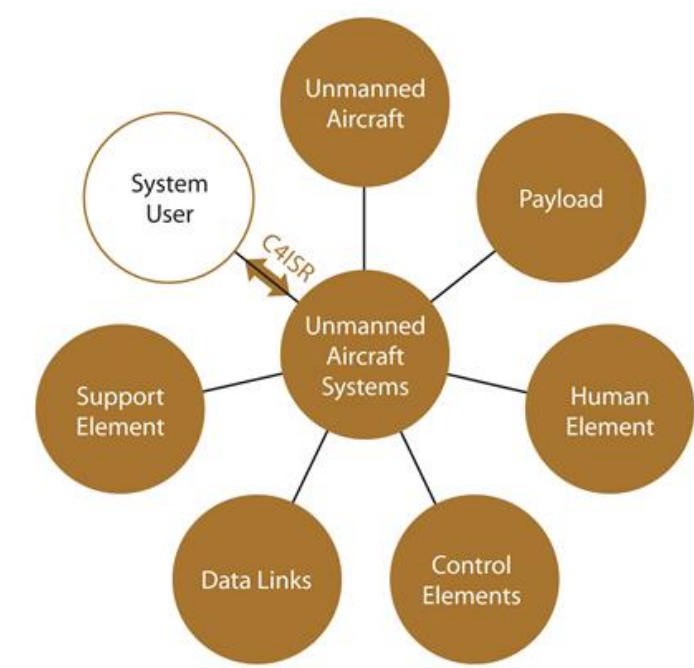


Figura 1 – Unmanned Aircraft System Componentes

Fonte: Cfr. JAPCC (2010, p. 48).

1. **Unmanned Aircraft** (UA) são aeronaves de asa fixa ou rotativa que não transportam o operador e são capazes de voar por controlo remoto ou voar autonomamente, quando pré-programadas. Esta componente engloba a aeronave e o equipamento integrado na mesma (sistema de propulsão, sistema de navegação, sistema de comunicações, entre outros). (DoD, 2010, p.8)
2. **Payloads** ou *mission packages* são os equipamentos transportados num UAS. Estes podem variar consoante a missão que é atribuída ao sistema e incluem

sensores, transmissores de comunicação, armamento (letal ou não letal) e a carga em si, podendo esta ser interna ou externa ao UA. (DoD, 2010, p.8)

Segundo o Departamento de Defesa dos EUA (DoD, 2010), alguns desafios atuais que se prendem com esta componente são o tamanho, peso, potência, precisão e regulação de imagem. Segundo o mesmo, existem três categorias típicas de *mission package*:

- Sensores com câmaras eletro-ópticas (EO), câmaras de infravermelhos (IV), *Synthetic Aperture Radar* (SAR)², *Ground Moving Target Indication*³ (GMTI), *Signal Intelligence* (SIGINT)⁴ e sensores de ataques eletrónicos.

- *Payloads* relativos às comunicações, que aumentam as capacidades das transmissões⁵.

- *Payloads* de armas. Estes podem incluir armas letais ou não letais⁶.

3. Elemento Humano. Relativamente à componente do elemento humano, alguns autores não fazem a distinção entre elemento humano e elemento de controlo, contudo, segundo o JAPCC (2010), esta distinção é fundamental.

“A ideia de que os UAS são “*unmanned*” é uma ilusão. Enquanto a aeronave em si não é tripulada, o sistema é. Os UAS requerem um certo nível de envolvimento humano de modo a ser possível preparar e executar as missões. (...). Os responsáveis pelos UAS têm de ser qualificados na área específica em que operam” (JAPCC, 2010, p.4).

4. Elemento de Controlo.

“O elemento de controlo está encarregue de vários tipos de missões, sendo estas o comando e controlo (C2), o planeamento da missão, o controlo de cargas e as comunicações” (JAPCC, 2010, p.5). Quando falamos do elemento de controlo, falamos de um posto de comando, podendo este ser móvel ou estático, permitindo

² SAR complementa os dispositivos EO/IR, visto que consegue cobrir a largura do terreno e penetrar as condições atmosféricas que estes não conseguem. Apesar das suas capacidades, o SAR não substitui os dispositivos EO/IR, pois não tem capacidade de distinguir pequenos detalhes essenciais para a identificação de alvos (DOD, 2010).

³ Esta tecnologia fornece a capacidade única de distinguir alvos móveis em terra ou água, em tempo real e ao longo de uma grande área. Isto é possível mesmo com mau tempo e de noite (Bingham, 2004).

⁴ Termo genérico utilizado para descrever as informações que derivam das comunicações (AAP-06, 2014).

⁵ Quando introduzido um repetidor de sinal no sistema, este permite garantir que não existam falhas de comunicações entre unidades. Este facto deve-se principalmente ao alcance das transmissões e a obstáculos do terreno como é o caso das zonas mortas (Rabaça, 2014, p.16).

⁶ Considera-se letal o caso de bombas e mísseis. Entende-se por não letais, as capacidades que o sistema tem de interferir eletronicamente nos sistemas inimigos, procurando causar danos e baixas em sistemas ou infraestruturas inimigas (Rabaça, 2014, p.16).

assim que este seja integrado por exemplo num navio, numa viatura tática ou numa outra aeronave de maior porte. Deste modo, a força que utiliza o sistema tem a capacidade de atuar nas várias dimensões do campo de batalha, o que permite garantir a eficiência do sistema quando incumbido da sua missão (JAPCC, 2010, p.5)

5. **Data links** definem-se como meios utilizados com vista à transmissão e receção de dados eletronicamente, incluindo todo o tipo de comunicações entre a UA, o elemento de controlo do UAS e o utilizador. Estes podem ser transmitidos via *Line-of-sight*⁷ (LOS) ou *Beyond-line-of-sight*⁸ (BLOS) (STANAG 4586, 2012).
6. **Elementos de Apoio:** “Tal como as aeronaves tripuladas, os UAS requerem apoio logístico. Este inclui todos os pré-requisitos de equipamentos a ser empregue, o transporte, a manutenção, o sistema de lançamento e de recuperação da aeronave e as respetivas comunicações” (JAPCC, 2010, p.5).

Um outro aspeto a ter em conta é a estandardização do modo de operar do sistema, assim como todo o seu apoio logístico, de maneira a que quando uma força opera de modo conjunto ou combinado, como por exemplo entre membros da NATO (*North Atlantic Treaty Organization*), este seja possível de operar por qualquer operador.

1.3. Interoperabilidade e estandardização do sistema

A *International Organization for Standardization* (ISO) define um padrão como “um conjunto de requisitos, especificações, diretrizes ou características que possam ser usadas consistentemente de modo a assegurar que materiais, produtos, processos e serviços sejam adequados ao seu propósito”⁹. Com vista a evitar restrições e complexidades indesejadas no desenvolvimento de novos sistemas e tecnologias, são criadas normas internacionais com este mesmo objetivo. Assim, através destas normas de padronização, é possível existir compatibilidade e interoperabilidade entre os vários sistemas, que as nações dispõem, permitindo a troca de dados, comunicações e modo de funcionamento comum entre as organizações (DoD, 2010, p.16).

Com o desenvolvimento dos novos sistemas UAS, a NATO verificou assim também a necessidade de criar uma norma com esse mesmo objetivo, criar interoperabilidade do

⁷ Entende-se por LOS, em linha de vista.

⁸ Entende-se por BLOS, para além da linha de vista.

⁹ Cfr. <https://www.iso.org/standards.html> acedido em 07 de fevereiro de 2018, às 18.15h.

sistema, de modo a que este seja compatível entre todos os membros da organização. Deste modo, foi criado um *Standardization Agreement* (STANAG) com vista a especificar as características a serem implementadas no sistema, de modo a adquirir o nível de interoperabilidade adequado. O *STANAG 4586 (EDITION 3) – Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability*, tem como objetivo:

“especificar as características que devem ser implementadas a fim de alcançar o nível de interoperabilidade operacional exigido, de acordo com o conceito de operações do respetivo sistema UAV, de acordo com as características específicas de cada teatro de operações. Isto será alcançado através da implementação de características padrão no sistema de controlo do UAV, de modo a tornar possível a comunicação com diferentes tipos de UAVs, permitindo assim o controlo de *payloads* e melhorando o sistema de comando, controlo, comunicações e informações computacionais (C4I)” (DoD, 2010, p.17).

1.4. Níveis de Interoperabilidade

A interoperabilidade dos sistemas UAV, como já visto anteriormente, é fundamental para que exista um comando e controlo mais consistente e eficiente. O STANAG 4586 define também cinco níveis de interoperabilidade com vista a atingir os requisitos operacionais pretendidos, de acordo com o tipo de missão que lhe é atribuída. Os respetivos requisitos operacionais e o conceito de operação determinarão assim o nível de interoperabilidade necessária para que o sistema se adeque aos requisitos da missão.

De acordo com o STANAG 4586, os níveis de interoperabilidade, que estão definidos com vista a obter uma maior flexibilidade operacional, são os seguintes:

Nível 1: Receção e transmissão indireta de metadados produzidos e associados ao sensor do UAV.

Nível 2: Receção direta de dados produzidos pelo sensor e associados aos metadados do UAV.

Nível 3: Controlo e monitorização do *payload* do UAV.

Nível 4: Controlo e monitorização do UAV, exceto o sistema de lançamento e recuperação.

Nível 5: Controlo e monitorização do UAV e do seu sistema de lançamento e recuperação.

1.5. Classificação

Devido à grande diversidade de aeronaves não tripuladas, às suas diversas capacidades e às finalidades a que se destinam, são vários os diferentes os tipos de classificação que as grandes organizações, a nível mundial, atribuem aos UAS, uma vez que estas dependem das características pretendidas para analisar o sistema. Segundo o JAPCC (2010) os UAS são classificados em três classes, tendo em conta o seu peso, a sua categoria, emprego, altitude normal de voo, raio de ação e escalão da unidade que integra e comanda o sistema.

- **Classe I:** Integra os UAS com menos de 150 Kgs (sendo este subdividido consoante a altitude de voo, ainda que não aplicável segundo o padrão NATO). Estes são categorizados em pequenos, mini e micro UAV, tem um alcance que pode atingir os 50 Kms , e voam até uma altitude média de aproximadamente 1500 m acima do nível do solo. O emprego destes sistemas de classe I é de nível tático, ou seja, tem um baixo nível de independência, sendo controlados remotamente. Estes são lançados manualmente ou através de um sistema portátil de lançamento, são empregues nos baixos escalões, tendo como principal função o reconhecimento “*over the Hill*”¹⁰ ou “*around the corner*”¹¹. Quanto ao seu *payload*, este é geralmente modular, como é o caso das câmaras EO, IV e SAR. Por fim, quanto às suas necessidades logísticas, estas carecem de pouco apoio e preocupação.
- **Classe II:** Compreende os UAS entre os 150 kgs e os 600 kgs. Os sistemas UAV que esta classe compreende têm uma capacidade de voar até aos 3000 metros de altura acima do nível do solo tendo um raio de ação de 200 kms. Estas UAS são empregues ao nível tático e são empregues em unidades até ao escalão de brigada. Estas aeronaves são sistemas tipicamente móveis e de tamanho médio, lançados através de rampas de lançamento. Os requisitos atribuídos a estes sistemas de classe II, ao nível do seu emprego são *Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance* (ISTAR)¹². Quanto ao *payload*, este pode incluir

¹⁰ “*Over the Hill*” é um termo utilizado para caracterizar o tipo de reconhecimento em que é utilizado o UAV para observar além de um ponto de cota ou de uma curva de nível, de onde a força não consegue observar da sua posição.

¹¹ “*Around the corner*” é um termo utilizado para caracterizar o tipo de reconhecimento em que é utilizado o UAV para observar para além de uma curva de caminhos apertada.

¹² Entende-se por ISTAR as tarefas de aquisição de informações, vigilância, aquisição de alvos e reconhecimento.

sensores com câmaras EO/IV, SAR, *laser range finder/designator*¹³ e GMTI. Os UAS que integram esta classe, apesar de não haver necessidade de grandes preocupações ao nível logístico, requerem uma maior coordenação em combate devido ao controlo do espaço aéreo.

- **Classe III:** Abrange os UAS com pesos superiores a 600 kgs (sendo estes subdivididos consoante a altitude média de voo). Esta classe compreende as maiores e mais complexas aeronaves não tripuladas. Estas podem ser empregues ao nível estratégico¹⁴ ou operacional¹⁵. Os sistemas cujo emprego é estratégico tem uma capacidade de operar até aos 20 kms da superfície terrestre e uma autonomia de até 40 horas de voo, tendo assim um raio de ação de aproximadamente 2700kms. Relativamente ao *payload*, estes sistemas podem estar equipados com câmaras EO/IV, SAR, radares multifunções, GMTI, lasers, transmissores de comunicações, SIGINT, sistemas de identificação automático e armamento. A grande maioria das aeronaves desta classe requerem infraestruturas ou áreas específicas para o seu lançamento e recuperação e poderão ser operadas de fora do campo de batalha via satélite. As necessidades logísticas destes sistemas são semelhantes às de uma aeronave tripulada com as mesmas dimensões. A falha de ligação por satélite entre o sistema e o operador pode restringir as suas capacidades operacionais.

Tabela 1: Guia de classificação de aeronaves não tripuladas

Classe	Categoria	Emprego tático	Altitude média de voo	Raio de ação	Atribuição	Exemplo
CLASSE I (Mais de 150 Kg)	Pequeno	Baixos escalões (Sistema de lançamento)	Até 1500m	50 Km (LOS)	Regimento/ Batalhão	Luna, Hermes 90
	Mini	Baixos escalões (Lançamento manual)	Até 900m	25 Km (LOS)	Companhia	Scan Eagle, Skylark, Raven, DH3, Aladin, Strix
	Micro	Pequeno escalão/ individual	Até 60m	5 Km (LOS)	Pelotão/ Secção	Black Winfow

¹³ Dispositivo que permite determinar a distância entre o sistema e o alvo/objeto.

¹⁴ UAS estratégicos são sistemas cuja aeronave é empregue a longas distâncias com vista a reconhecer território inimigo. Estes sistemas são caracterizados pela sua elevada autonomia.

¹⁵ UAS operacionais são sistemas com capacidades não só de reconhecimento mas também de ataque.

CLASSE II (De 150 a 600 Kg)	Tático	Emprego tático de altos escalões	Até aos 3000m	200 Km (LOS)	Brigada	Sperwer, Iview 250, Hermes 450, Aerostar, Ranger
CLASSE III (Mais de 600 Kg)	Combate	Nível estratégico	Até aos 20000m	Ilimitado (BLOS)	Nível Estratégico	
	Elevada altitude e grande autonomia (HALE)	Nível estratégico	Até aos 20000m	Ilimitado (BLOS)	Nível Estratégico	Global Hawk
	Altitude média e grande autonomia (MALE)	Nível estratégico	Até aos 20000m	Ilimitado (BLOS)	Força Conjunta	Predator B, Predator A, Heron, Heron TP, Hermes 900

Fonte: Traduzido de JAPCC (2010, p.6).

CAPÍTULO 2. PROTEÇÃO BALÍSTICA

Segundo Cheeseman e Bogetti (2003), sempre que o Homem está na presença de um ambiente hostil procura proteger a sua integridade física. A utilização de peles como meio de proteção pessoal era utilizada nos primórdios, contudo, com o evoluir da ameaça, passando de garras e presas de animais para objetos metálicos de corte e penetração, esta proteção tornou-se obsoleta, tendo evoluído assim para meios de proteção mais eficazes à base de materiais metálicos. Este tipo de proteção era bastante eficiente relativamente à ameaça, contudo, com a evolução das armas de fogo, estes tornaram-se obsoletos.

“O atual desenvolvimento técnico/científico em torno das proteções balísticas tem procurado confrontar o constante aperfeiçoamento dos projéteis e do seu poder de penetração. Sendo as blindagens muitas vezes desenvolvidas para fins específicos de forma a aumentar o desempenho na proteção de pessoas e equipamentos. Para cumprir esse objetivo é muitas vezes necessário recorrer a soluções inovadoras, tanto em termos dos materiais e da respetiva qualidade/quantidade utilizada no seu fabrico, como ao nível do formato da própria blindagem” (Pinto, 2009, p.3).

Desta forma, existe a necessidade de compreender alguns conceitos relacionados com a proteção balística, antes de passarmos para o estudo dos materiais em causa.

2.1. Balística

Entende-se por Balística “a ciência que estuda as forças atuantes sobre os projéteis e os correspondentes movimentos destes, nos vários meios onde eles têm movimentos, desde a sua posição inicial dentro das armas até à sua penetração dos alvos que são supostos atingir” (Neto, 1997, p. 48).

“A balística estuda todo o percurso do projétil, iniciando com o movimento do disparo (que parte do repouso), até ao momento que atinge o alvo. Consequentemente, consideramos três ramos distintos da balística: a Balística interna, Balística externa e a Balística de efeitos” (Carlucci & Jacobson, 2010, p.4)

2.1.1. Balística Interna

A Balística interna estuda a interação entre a arma, o projétil e a carga propulsora desde o momento em que o projétil está no interior do cano, em repouso, até ao momento que este deixa de estar sob influência da carga propulsora à saída da boca do cano (Carlucci & Jacobson, 2010).

“esta categoria inclui o processo de ignição da carga propulsora, a combustão da carga propulsora no interior do cano, o primeiro movimento do projétil, a rotação do projétil e a saturação do cano, a dinâmica interna do projétil e a dinâmica tubular durante o ciclo de lançamento” (Carlucci & Jacobson, 2010, p.4).

2.1.2. Balística Intermédia

“A Balística intermédia estuda os fenómenos que acontecem nos projéteis desde que saem do cano da arma até ao momento em que deixam de estar influenciados pelos gases remanescentes à boca da arma” (Mestre, 2015, p.4). Esta área da balística era, segundo Carlucci & Jacobson (2010, p.4) “inicialmente estudada conjuntamente com a balística interna, contudo, através do desenvolvimento do conhecimento científico nesta área, verificou-se a necessidade de criar uma categoria nova uma vez que esta não se adequa bem ao que é a balística interna”.

2.1.3. Balística Externa

“A Balística externa abrange o estudo do projétil desde o período em que o projétil sai à boca da arma até que embate com o alvo” (Carlucci & Jacobson, 2010, p.4).

“A Balística externa divide-se em duas partes: a Balística no vácuo e a Balística no ar. A primeira, constitui a introdução racional à Balística no ar, pois a balística no vácuo só considera a ação da gravidade enquanto que a Balística no ar considera a ação da gravidade e a resistência do ar. Portanto, o objetivo da Balística externa é determinar as leis que regem o movimento do projétil no espaço, ou seja, desde que abandona a boca da arma até ao impacto no alvo” (Ferreira, 2015, p.8).

2.1.4. Balística de Efeitos

A Balística dos efeitos, ou Balística terminal, é o ramo da Balística que estuda o comportamento dos projéteis desde que estes colidem com o alvo até que entram em repouso (Ferreira, 2015).

“Quando o projétil embate no alvo podem ocorrer duas situações: penetrar o alvo ou não penetrar o alvo. Da primeira situação, podem também surgir duas situações distintas: O projétil fica detido no interior do alvo ou atravessa completamente o mesmo e segue a sua trajetória. Quando o projétil não penetra o alvo, poderá esmagar-se ou fazer ricochete, seguindo uma nova trajetória” (Ferreira, 2015, p.9).

2.2. Elementos Balísticos

Entende-se por Elementos balísticos as munições de armas ligeiras e os Elementos de Proteção Balística. O estudo da relação destes elementos constitui uma parte fundamental do presente TIA uma vez que o pretendido é estudar alguns tipos de blindagens de modo a poder aplicar as mesmas em UAS.

2.2.1. Munições de Armas Ligeiras

De modo a compreender melhor o funcionamento das munições, há que analisar a sua estrutura parte a parte. As munições de armas ligeiras compõem-se em quatro partes fundamentais (Figura 2):

- Projétil;
- Invólucro, caixa ou estojo;
- Carga propulsora;
- Escorva, cápsula ou fulminante.



Figura 2 – Munição de Armas Ligeiras

Fonte: Cfr. Pereira (2010, p.3).

Apesar de o projétil ser a parte da munição que produz os efeitos desejados no nosso alvo/objetivo, todas as partes da munição são igualmente importantes e devem funcionar de forma integrada.

Algumas das características fundamentais que o metal do projétil deve apresentar são: “possuir uma densidade elevada para facilmente adquirir grande energia; ser infusível,

para que com o atrito na alma do cano não se funda neste; ser pouco deformável para possuir poder vulnerante¹⁶ ou derrubante¹⁷” (Ferreira, 2015, p.11).

Relativamente à composição do projétil, este caracteriza-se por ter três partes fundamentais: a coifa, em chumbo, auxilia na penetração do núcleo; o núcleo, normalmente composto por “chumbo endurecido com estanho ou antimónio, deve ser introduzido por compressão dentro da camisa para se obter uma maior homogeneidade” (Mestre, 2015, p.7); “e por fim a camisa que deve ser suficientemente espessa para evitar a fusão do núcleo e pouco dura para não deteriorar as estrias da arma” (Mestre, 2015, p.7).

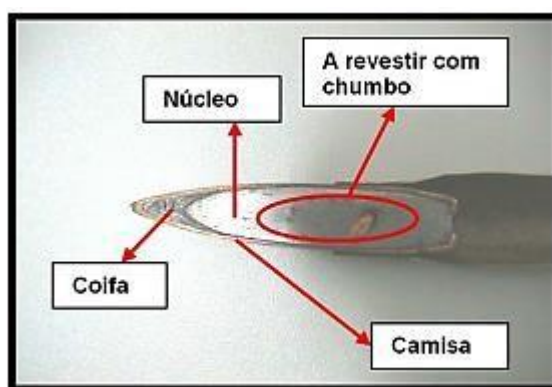


Figura 3 – Projétil em corte transversal, com as três zonas distintas

Fonte: Cfr. Monteiro (2007, p.9).

O invólucro é a parte posterior da munição e contém no seu interior a carga propulsora. Segundo Ferreira (2015), este deve ser maleável o suficiente para que se adapte às paredes da câmara, tem de ter um nível de resistência considerável de modo a que não rebente com a ação dos gases provocados pela deflagração da pólvora, deve ser inoxidável de modo a garantir o bom estado do material durante mais tempo e deve ainda ser elástico de modo a voltar à sua forma original permitindo assim a extração do mesmo.

“Distinguem-se quatro partes no invólucro, nomeadamente: o colo, a concordância, o corpo e a base. O colo destina-se a segurar o projétil, ou seja, é a parte anterior do invólucro. A concordância é a parte que liga o colo ao corpo do invólucro. O corpo apresenta uma forma tronco-cónica para facilitar a sua introdução e extração na câmara, este é reforçado na base, onde é mais resistente e mais largo. A base serve de suporte para a realização da extração do invólucro da câmara e no seu centro encontra-se alojada a escorva (...). A carga propulsora é a substância que está contida no interior do invólucro e que dá movimento ao projétil. Esta substância, nas munições de armas ligeiras, estão no estado sólido e é “constituída por pólvora química em grão” (Telo & Álvares, 2004, p. 234).

¹⁶ Poder vulnerante: Caracteriza-se por ser a energia mínima que um projétil deve possuir para colocar um Homem fora de combate.

¹⁷ Poder derrubante: Caracteriza-se por ser a energia mínima que um projétil deve possuir para eliminar imediatamente um Homem.

A escorva é um pequeno mecanismo a que se dá o nome de cápsula que permite, através de um impacto no mesmo, inflamar a carga propulsora, sendo que a “cápsula contém uma substância explosiva que detona pelo choque do percutor” (Telo & Álvares, 2004, p. 244). É ainda importante enunciar que a cápsula deve ser suficientemente dúctil e resistente de modo a que quando sofre o impacto do percutor esta não se perfure e permita a libertação de gases pela retaguarda e também para garantir algumas condições de segurança, como é o caso, por exemplo, de quando estas caem ao chão, a cápsula não se ativar com um pequeno impacto na mesma (Telo & Álvares, 2004, p.244).

2.2.2. Elementos de Proteção Balística

“A evolução dos elementos de proteção balística e das blindagens estão fortemente relacionadas com a evolução do armamento. Contudo, esta evolução deve-se ao desenvolvimento das ciências dos materiais que possibilitam o progresso dos elementos de proteção balística” (Ferreira, 2015, p.13).

De acordo com Ferreira (2015), é perceptível que o nível de proteção está diretamente dependente do nível da ameaça balística a enfrentar, devendo sempre ter-se em conta que esta relação não é linear, uma vez que se deve ter em conta a usabilidade do equipamento. Deste modo, o desenvolvimento e estudo de novos materiais tem vindo a decorrer neste sentido, com vista a obter sempre soluções mais cómodas e leves para o combatente ou para o sistema a equipar, mas mantendo sempre os requisitos de proteção balística necessários.

Quando falamos em novos materiais em desenvolvimento, que se adequam às características e necessidades acima abordadas, estamos a falar de materiais Poliméricos, Cerâmicos, Metálicos e Compósitos, ou combinações destes Materials Today (2004).

2.2.2.1. Níveis de Proteção Balística

Antes de abordarmos o estudo destes elementos de proteção balística, as suas composições e capacidades, será necessário ter em conta a existência de normas e orientações que regulam os níveis de proteção balística dos mesmos, definindo assim a sua capacidade de resistência balística. Deste modo seguir-se-á o *Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06*.

De acordo com o *NIJ Standard-0101.06*, os níveis de proteção balística, apresentados na tabela 2, dividem-se em cinco tipos (IIA, II, IIIA, III e IV). Esta classificação permite

caracterizar uma determinada proteção balística, como por exemplo um colete balístico, de acordo com as suas capacidades de proteção aos diferentes tipos de ameaças.

Este documento caracteriza ao detalhe as capacidades de proteção balística do equipamento de acordo com a ameaça do nível em que este é categorizado. De um modo geral, o nível IIA e II, têm a capacidade de resistir a impactos de munições de 9mm, contudo o nível II apresenta uma capacidade de proteção balística mais elevada, uma vez que é mais eficiente contra impactos de maiores velocidades. O nível IIIA, para além de resistir a munições de 9 mm, apresenta capacidade de proteção contra o calibre .44 Magnum. Relativamente ao nível III, este apresenta uma capacidade de proteção balística muito superior aos anteriores, uma vez que para além das capacidades do nível anterior, tem capacidade de proteção contra os calibres 5.56 e 7.62 NATO. Por fim, o nível IV, apresenta uma capacidade de proteção balística até ao calibre .30 com munições perfurantes.

Tabela 2 – Níveis de proteção balística *NIJ Standard-0101.06*.

Nível	IIA	II	IIIA	III	IV
Densidade	3,5kg/m	4,2kg/m	5,9kg/m	25,9kg/m	32,5kg/m
Espessura	4mm	5mm	6mm	15mm	20mm
9mm	X	X	X	X	X
44 Magnum			X	X	X
5.56 NATO				X	X
7.62 NATO				X	X
30mm perfurante					X

Fonte: Adaptado de Mukasey, M. (2008)

“Apesar da diversidade de armas de fogo e da respetiva munição, o potencial de ameaça é circunscrito à energia do projétil e, portanto, pela sua massa e velocidade” (Kneubuehl, 2003, p.45).

A tabela que se segue apresenta uma síntese das características dos projéteis tipicamente utilizados em testes balísticos.

Tabela 3 – Características típicas dos projéteis utilizados em testes balísticos

Tipo de Arma	Calibre	Peso do Projétil (g)	Velocidade do Teste (m/s)	Energia (J)	Densidade de Energia (J/mm ²)
Armas Curtas	9 mm Luger	8.0	410	670	10.5
	357 Magnum	10.2	430	940	14.8
	44 Rem Mag	15.5	440	1500	15.2
Armas Longas	5.56 mm NATO	4.0	935	1750	72.8
Forças Armadas	7.62 mm NATO	9.5	830	3270	71.8
	7.5 mm GP 11	11.3	780	3440	76.8
Armas Longas	7 mm Rem Magnum	10.5	960	4840	125.7
Caça	8 x 68S	12.7	920	5375	106.9
Espingardas	12/70	31.4	425	2860	10.6

Fonte: Mestre (2015, p.10).

2.2.2.2. Requisitos de proteção balística em UAS

Nesta secção são abordados os requisitos dos elementos de proteção balística, nomeadamente as proteções aplicáveis a UAS com vista à obtenção de uma maior resistência a impactos, sem que haja alteração das capacidades do UAV. Estes mesmos requisitos foram levantados de acordo com as capacidades técnicas e operacionais de UAS e adaptados do *NIJ Standard-0101.06* e STANAGs 2911 e 4569, no que diz respeito aos requisitos de proteção balística.

Deste modo são levantados uma série de Requisitos de Proteção Balística em UAV (ReqProtBalUAV), com vista a estudar a aplicabilidade de placas de proteção balística nos mesmos.

- **ReqProtBalUAV1** O UAV tem de ter a capacidade de operar entre os -20°C e os 42°C, de acordo com as temperaturas dos Teatros de Operações onde estes são empregues;
- **ReqProtBalUAV2** O *payload* e estrutura não deve ser danificado com a aterragem do sistema;
- **ReqProtBalUAV3** A aplicação de placas de proteção balística nos UAV não deve limitar as suas capacidades de *Payload* e de *Data links*.

- **ReqProtBalUAV4** O peso das placas de proteção balística aplicadas não deve interferir significativamente com o seu peso de modo a que o UAV mantenha a categoria em que está classificado, desde que mantenha os níveis de proteção balística adequados.
- **ReqProtBalUAV5** A autonomia e velocidade do sistema não deve ser significativamente reduzida, devido ao peso extra e aerodinâmica, mantendo assim o design dos mesmos.
- **ReqProtBalUAV6** A manutenção do UAV, nomeadamente a aplicação e substituição de placas de proteção balística deve ser fácil e rápida de modo a poder ser substituída entre duas missões.
- **ReqProtBalUAV7** Toda a interoperabilidade do sistema deve ser mantida de modo a que este seja utilizado por qualquer força a que o mesmo seja atribuído.
- **ReqProtBalUAV8** Providenciar o máximo de proteção balística contra munições de fragmentação. A proteção contra pequenas armas de fogo deve ser também maximizada, desde que não haja degradação das proteções balísticas.
- **ReqProtBalUAV9** Prever uma proteção extra dos sistemas críticos do UAV.
- **ReqProtBalUAV10** O centro de gravidade do UAV deve ser mantido, pelo que o peso adicional deve estar distribuído pela maior área possível;
- **ReqProtBalUAV11** O tamanho das placas de proteção balística deve ser fornecido em diferentes tamanhos de modo a ser empregue em vários tipos de UAV;
- **ReqProtBalUAV12** Ser resistente à degradação provocada pelo uso, nomeadamente colisões, contacto com água e humidade.
- **ReqProtBalUAV13** As placas de proteção balística devem promover uma proteção de pelo menos nível II de proteção balística de acordo com o *NIJ Standard-0101.06*.

CAPÍTULO 3. LABORATÓRIO DE IMPACTOS

O estudo da balística, pertencente à área científica de material e tiro, na Academia Militar, e há muito que tem vindo a ser desenvolvido, através dos trabalhos de investigação elaborados pelos alunos finalistas da Academia militar e também pelo Centro de Investigação da Academia Militar, CINAMIL.

Todas as vertentes da balística, como por exemplo o estudo de materiais e da sua capacidade de resistência a projéteis é uma área que tem vindo a dar passos largos no que diz respeito à produção de novos conhecimentos. Para tal é fundamental a realização de ensaios balísticos, de modo a testar o equipamento e os materiais em estudo, em ambiente controlado, para que deste modo se possa tirar as devidas conclusões, e, se possível, adquirir avanços científicos na área em causa.

Deste modo, é notório a necessidade de existência de uma infraestrutura capaz de realizar estes mesmos ensaios, de modo mais rigoroso e sem que haja a necessidade de deslocamento a uma carreira de tiro (CT) aberta. Até à data, todos os ensaios têm sido realizados na Escola das Armas, contudo, as condições em termos científicos não são as melhores para obter resultados suficientemente esclarecedores, maioritariamente devido às condições que uma carreira de tiro aberta impõe.

Este capítulo tem como principal finalidade explicar as características, normas e finalidades a que se destina a infraestrutura em causa, o Laboratório de Impactos da Academia Militar. Ao longo do capítulo são abordadas temáticas que dizem respeito à organização, objetivos, normas e medidas de segurança, materiais e finalidades do Laboratório.

3.1. Normas aplicáveis para habilitação de laboratórios de ensaios

A *American Society for Testing and Materials (ASTM)* e a *International Organization for Standardization (ISO)*, são algumas das principais organizações internacionais que se dedicam à standardização e creditação de laboratórios de impactos. Estas garantem que a análise e o teste de materiais, através de impactos, deve seguir um conjunto de normas, procedimentos e condições para que o mesmo seja credível e produza um resultado cientificamente aceite. Deste modo, a ISO/IEC 17025 (2005) anuncia um conjunto de medidas a cumprir com vista à obtenção do sucesso das investigações em curso. Segundo a

mesma, “o laboratório deve utilizar métodos e procedimentos apropriados para todos os testes dentro do seu âmbito. Estes incluem amostragem, manuseamento, transporte, armazenamento e preparação de materiais a serem testados e as respectivas análises dos resultados dos mesmos. O laboratório deve ter instruções sobre o uso e operação de todos os equipamentos, sobre o manuseamento e preparação dos materiais a serem testados.”(ISSO/IEC, 2005).

3.1.1. Disposições Gerais

A ASTM E3062-16, (2016) caracteriza as seguintes especificações como requisitos para uma infraestrutura de testes de ensaios balísticos:

1) Dimensões mínimas da sala

A dimensão da sala de teste deve ser suficientemente ampla de modo a que todo o equipamento caiba no seu interior e de forma a permitir que o responsável pela condução dos testes consiga operar no seu interior sem qualquer obstrução.

2) Condições ambientais

2.1. A humidade relativa deve ser de 50 +/- 20%;

2.2. A temperatura ambiental deve ser controlada, sendo esta de 20 +/- 5,5°C;

2.3. O sistema de iluminação geral deve providenciar luz suficiente para que os funcionários do laboratório consigam realizar as suas tarefas sem qualquer constrangimento visual. Em tarefas associadas à análise e leitura de resultados dos ensaios, deve existir uma iluminação local, extra, que auxilie neste tipo de tarefas.

3) Sistema de disparo do projétil

3.1. *Fragment Simulator*: sistema de projeção de munições, constituído por um mecanismo de disparar pneumático ou elétrico e um cano autónomo.

3.2. **Arma de Fogo**: a utilização de armas de fogo não é o método ideal, uma vez que não é tão preciso e mais difícil de regular (ASTM E3062-16, 2016).

4) Sistemas de monitorização

4.1. Sistema de medição de velocidades do projétil:

4.1.1. A posição e alinhamento do sistema deve ser mantida no decorrer do teste;

4.1.2. O sistema deve ser apropriado para as velocidades que estão a ser utilizadas;

4.1.3. Deve existir um método independente de verificação da precisão do sistema;

4.1.4. A velocidade do projétil deve ser determinada através de pelo menos dois sistemas eletrônicos independentes;

4.1.5. Todas as influências indesejáveis na medição da velocidade do projétil devem ser mitigadas.

4.2. Sistema de medição da rotação do projétil:

4.2.1. O laboratório de testes deve ter a capacidade de medição da rotação do projétil.

5) Espaçamento e montagem do Equipamento

5.1. A disposição e montagem do equipamento deve ser realizada de acordo com a Figura 4, com o espaçamento e requisitos adicionais descritos na tabela 4.

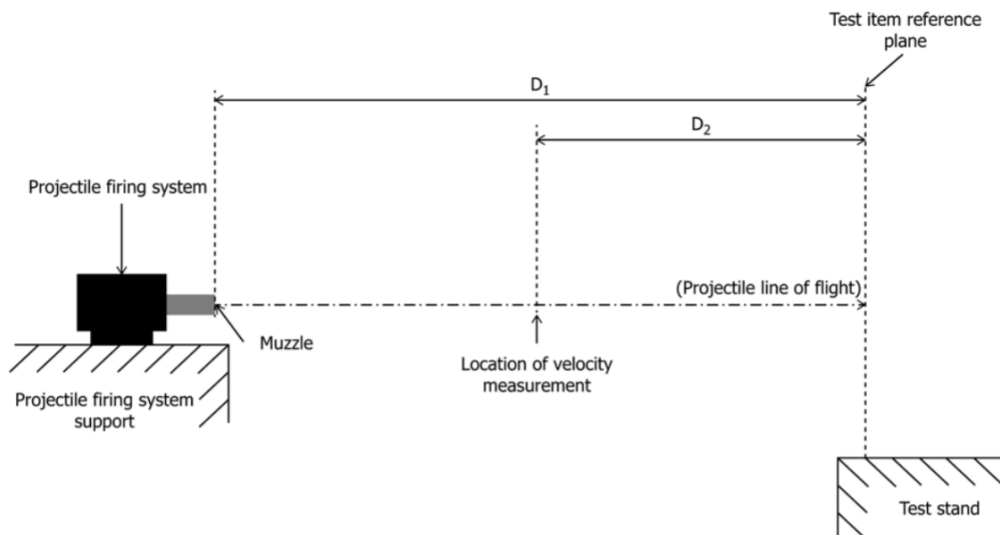


Figura 4 – Disposição da instalação de ensaios

Fonte: Cfr. ASTM E3062-16 (2016, p.3).

Tabela 4 – Distâncias da instalação de acordo com a ameaça

Ameaça	Distâncias
Espingardas e <i>fragment simulators</i> (granulagem das munições superior a 64g)	D1: Distância entre boca do cano e a amostra de teste = 7,6m
	D2: Distância do sistema de medição de velocidades ao alvo = 3,7m +/- 2,5cm
Pistolas e <i>fragment simulators</i> (granulagem das munições compreendida entre 16 e 64g)	D1: Distância entre boca do cano e a amostra de teste = 4,6m
	D2: Distância do sistema de medição de velocidades ao alvo = 2,3m +/- 2,5cm
<i>fragment simulators</i> (granulagem das munições inferior a 16g)	D1: Distância entre boca do cano e a amostra de teste = 3m
	D2: Distância do sistema de medição de velocidades ao alvo = 0,9m +/- 2,5cm

Fonte: Cfr ASTM E3062-16 (2016, p.3)

5.1.1. O equipamento de teste deve ser montado no local exato onde o ensaio se vai realizar (de acordo com a distância ao alvo estipulada), com um ângulo de incidência de 0°. O equipamento não deve ser movido exceto em caso de correção do alcance ou ângulo de incidência.

5.2. A distância entre a boca do cano e o alvo deve ser ajustada de forma a minimizar as influências causadas pela rotação do projétil e a deflagração de gases.

5.3. Se o sistema de medição de velocidades for um radar, uma câmara de alta velocidade ou um sistema de raio X, o sistema deve determinar a velocidade na localização definida na tabela 4.

5.4. Se o sistema de medição de velocidade dos projéteis for determinado através de um sistema de telas, deve seguir-se os seguintes requisitos:

5.4.1. As telas devem estar posicionados de acordo com a figura 5;

5.4.2. As telas devem ser montadas aos pares, tanto as iniciais como as finais.

5.4.3. As telas devem ser montadas paralelamente entre as mesmas e perpendiculares ao trajeto do projétil;

5.4.4. A distância entre a última tela e a amostra de teste não deve exceder os 1,5m.

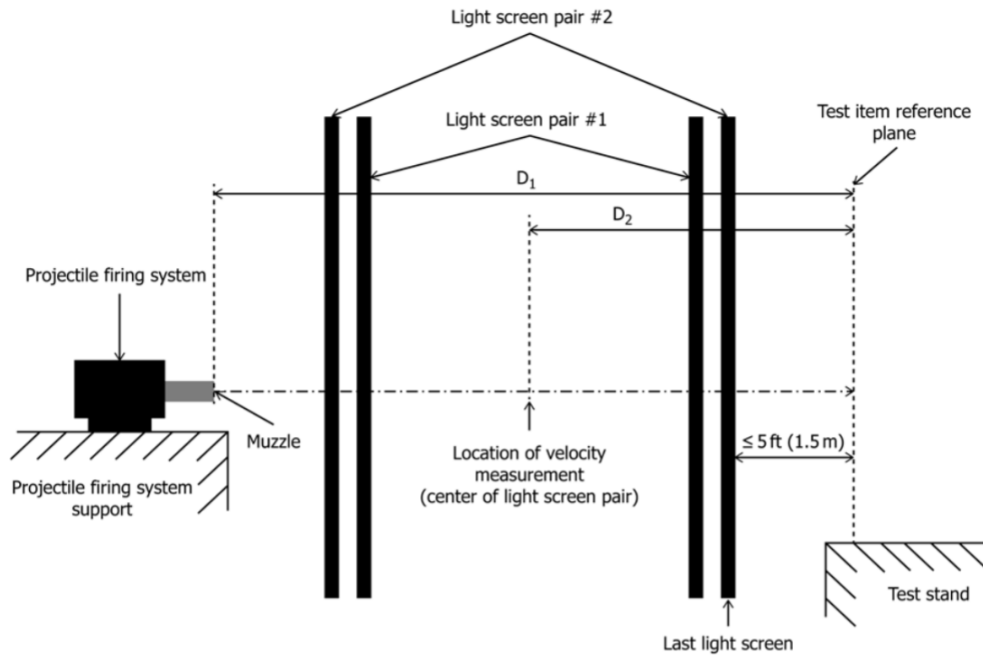


Figura 5 – Distância da instalação do sistema de telas.

Fonte: Cfr ASTM E3062-16 (2016, p.3)

6) Outras especificações:

- 6.1. Toda a estrutura que engloba o sistema de teste deve manter-se imóvel no decorrer do ensaio;
- 6.2. A estrutura do sistema de teste deve permitir que tanto o sistema de projeção como a estrutura de suporte da placa testemunha tenham a capacidade de ser ajustadas tanto verticalmente como horizontalmente, de modo a permitir a realização de impactos balísticos de várias localizações.
- 6.3. A estrutura do sistema de teste deve permitir que a estrutura de suporte da amostra de teste tenha a capacidade de rotação, de modo a permitir a execução de ensaios com ângulos de incidência diferentes de 0° .
- 6.4. Deve existir um pára-balas ou um coletor de projéteis e estilhaços à retaguarda da estrutura de suporte das amostras que estão a ser testadas.

3.1.2. Disposições Técnicas

Para além das organizações internacionais anunciadas no início do capítulo, o DoD (1997), apresenta também um conjunto de requisitos técnicos que deve ser seguido aquando da realização de testes de materiais através de impactos balísticos:

- a) Dispositivo de disparo - O espaçamento entre o cano e o alvo deve ser suficiente para evitar danos causados pela saída de gases à boca do cano. O mecanismo de disparo deve ter capacidade suficiente para projetar o projétil às velocidades definidas, de acordo com cada tipo de armamento, nos padrões NATO.
- b) O projétil - O calibre do projétil deve ser especificado no projeto de teste. Este deve seguir as dimensões e gramagem da carga propulsora tabeladas de modo a que o equipamento seja creditado com determinada capacidade balística segundo os padrões NATO.
- c) Equipamento de medição de velocidades - Para que os testes sejam validados, um dos requisitos fundamentais é a velocidade do projétil. A existência de aparelhos de medição de velocidades dos projéteis, como por exemplo os cronógrafos, é fundamental para a execução dos ensaios.
- d) Placa testemunha¹⁸ - A placa testemunha deve ser de alumínio (2024-T3, 2024-T4 ou 5052) com 0,05 mm de espessura para armaduras e de 0,51 mm para outros materiais. O tamanho mínimo desta deve ser de 279 mm x 356 mm e ser de tamanho suficiente para que todos os fragmentos resultantes da penetração colidam na mesma. Quando o alvo apresenta uma superfície curva, a placa testemunha deve estar atrás do alvo, curvada e orientada de modo a maximizar a probabilidade de impacto perpendicular.
- e) Amostra de teste - Deve ser fixada na montagem do alvo de teste com o lado de impacto perpendicular à linha de voo do projétil. Os apoios da estrutura ou fixações de montagem devem ser capazes de reter a amostra e resistir a choques resultantes do impacto balístico dos projéteis. A rigidez da estrutura de suporte da amostra deve ser igual ou superior à mesma.
- f) Distância ao alvo - A distância entre o mecanismo propulsor do projétil e o alvo depende dos objetivos da investigação. A velocidade do projétil é crucial para determinar a distância a que deve ser colocada a amostra. As distâncias podem variar consoante a composição do material e o calibre do projétil, contudo, no STANAG 4569, estão apresentadas as distâncias padrão a que estes testes devem ser realizados.

¹⁸ A placa testemunha é uma folha, geralmente de alumínio, colocada atrás da amostra (150 + 10 mm) e é utilizada para detetar a penetração do projétil (DoD, 1997)

- g) Primeiro disparo - Para o teste de aceitação, a munição deve ser carregada com uma carga propulsora de referência para que a velocidade de impacto seja aproximadamente 75 a 100 m/s acima do mínimo estipulado pelo *V50Ballistic Limit* (V50BL)¹⁹. Relativamente aos restantes testes, estes devem ser executados com munições cujo a carga propulsora seja de referência, em que a probabilidade de penetração estimada seja de 50%.
- h) Análise da placa testemunha - Após definido o objetivo do ensaio balístico, definem-se a categoria, classe e o objetivo a validar (V50 ou Vproof). Caso o material em causa seja de proteção rígida, deve ainda ser definida a largura da zona de impactos e o número de impactos, uma vez que estes só são considerados válidos quando distanciados de 30 mm de qualquer outro apoio, ponto de fixação, bordo, impacto anterior, deformação ou perturbação. Na verificação do resultado do teste, a placa testemunha deve ser analisada de modo a verificar se existiu ou não penetração. O modo como este procedimento deve ser feito é através da incidência de uma luz na placa testemunha. Se se verificar a passagem de feixes de luz através da mesma, existe penetração, caso contrário não existe penetração ou pode ainda considerar-se que existe uma penetração parcial, caso a amostra seja penetrada mas a placa testemunha não.
- i) Determinação do V50BL - A determinação do V50BL pode ser feita de modo analítico²⁰ ou experimental. Quando se pretende determinar através do modo experimental, é feita uma sequência de impactos em que a cada impacto é configurada a carga propulsora do projétil, de modo a que a velocidade do projétil diminua 15 a 30 m/s por cada impacto até se verificar que não existiu penetração. O V50BL é então obtido quando através das sucessivas recalibrações da carga propulsora, não se verifica a penetração na amostra em causa.
- j) Determinação do Vproof - A classificação do limite balístico Vproof de um material é a velocidade para a qual a probabilidade de uma penetração parcial de um determinado projétil é superior a 90%.

¹⁹ *V50 Ballistic Limit* é a velocidade a que a probabilidade de penetração no material balístico é de 50%.

²⁰ O cálculo do V50BL de modo analítico é feito através da fórmula $V_p = V_o \times R$, onde V_o é a velocidade do projétil, R é a distância e α é o coeficiente balístico do material em estudo.

3.1.3. Procedimentos para o condicionamento de amostras.

O condicionamento dos itens a serem testados, segundo Mukasey (2008), através da submersão, deve seguir os seguintes requisitos:

- O equipamento de submersão deve consistir numa estrutura, tipo reservatório de água, com dimensões suficientemente amplas de forma a que a amostra esteja submersa verticalmente a pelo menos 102 mm da superfície e distanciada de 51 mm de outras amostras ou dos rebordos do reservatório.
- A água do reservatório deve ser potável ou desmineralizada, sendo que sempre que tenha impurezas deve ser renovada. A temperatura deve estar compreendida entre os 15,5 C° e os 23,8 C°, sendo que a temperatura ideal é de 21,1 C° (70°F).
- Cada amostra deve ser submersa verticalmente durante 30 minutos (+/- 5 minutos) e após este período deve ser removida e deixada a secar, pendurada verticalmente por um período de 10 a 15 minutos, antes de ser montada no suporte da amostra para ser realizado o ensaio.

3.1.4. Relatório de teste de impactos Balísticos

Após a realização dos ensaios aos respetivos materiais, é fundamental a realização de um relatório onde esteja descrito pormenorizadamente o tipo de teste que foi feito, o material utilizado e as características específicas do teste. O *V50 Ballistic Test For Armor*, a ISO/IEC 17025/2005 e o ASTM E3062-16 (2016) apresentam algumas das características que um relatório deve ter no âmbito comercial. Este adaptado ao conceito do laboratório de impactos da AM deve apresentar:

1. Identificação do contrato;
2. Infraestrutura onde foram realizados os testes;
3. Número do contrato;
4. Número dos lotes testados e respetivas quantidades;
5. Descrição do material;
6. Número/identificação do item analisado para cada amostra;
7. Temperatura e humidade da instalação onde foi feito o teste;
8. Responsável pelo teste e quem esteve presente;
9. Tipo de método utilizado
10. Arma ou mecanismo de disparar utilizado;

11. Projétil utilizado, respetivo peso e tipo de carga propulsora;
12. Velocidade do projétil usada no cálculo do V50 com maior penetração parcial e menor penetração completa;
13. Características da placa testemunha
14. Observações pertinentes à realização do teste.

3.2. Conceito de instalação para ensaios balísticos

Os ensaios balísticos visam o teste de variados tipos de materiais. Estes procuram desenvolver novos materiais passíveis de serem aplicados em elementos de proteção balística. A ambição pela procura de novos materiais, mais leves, económicos e que satisfaçam os requisitos de proteção balística para os fins a que se destinam é constante.

Os laboratórios de impactos balísticos, visam este mesmo objetivo, contudo, para tal, é necessário um vasto leque de requisitos ao nível de procedimentos e material para que o seu produto final seja alcançado. Apesar das diferentes capacidades e meios de cada laboratório para realizar estas investigações, existe um conceito base, para a realização dos mesmos testes, no que diz respeito à instalação e estrutura dos mesmos.

Na realização de ensaios balísticos, a disposição da instalação deverá ser semelhante à figura 6. Esta deverá ser constituída por: um sistema de projeção do projétil (arma ou canhão balístico); um sistema de deteção e medição de velocidades dos projéteis, um sistema de fixação dos painéis a ensaiar; uma placa testemunha, a amostra e o projétil.

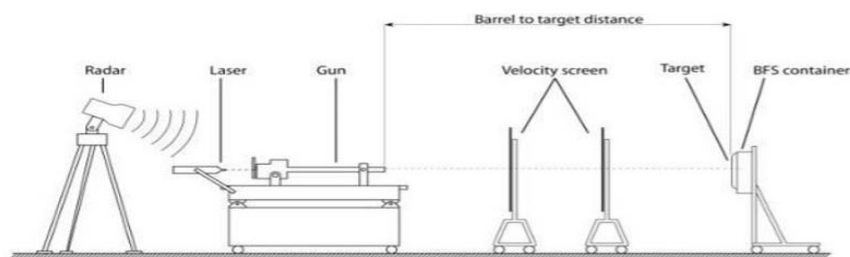


Figura 6 – Conceito de instalação para ensaios balísticos

Fonte: AEP 2920 (2014)

3.3. Equipamento

O Laboratório de impactos deve ter o equipamento necessário para que os ensaios dos materiais sejam feitos de modo rigoroso, cumprindo todos os requisitos de testes já apresentados com vista à obtenção de resultados fidedignos e credíveis cientificamente. Este

deve ser apenas operado por pessoal com formação específica e responsável pelo mesmo, devendo ser recalibrado pelo mesmo periodicamente.

De acordo com a ISO/IEC 17025 (2005), “o equipamento e o software utilizado para os testes deve ser capaz de alcançar a precisão exigida e estar em conformidade com as especificações de cada teste.(...) Antes do laboratório iniciar a sua investigação, todos os equipamentos, incluindo os de preparação dos materiais a serem testados, devem ser calibrados de modo a verificar se os requisitos específicos de cada equipamento estão em conformidade com as funções de cada um.”(ISO/IEC 17025, 2005).

3.3.1. Cronógrafo

Os cronógrafos balísticos são aparelhos que têm como função a medição da velocidade de projéteis. Num laboratório de impactos este conceito é fundamental para que os testes às capacidades balísticas dos materiais em estudo sejam rigorosos e precisos. Um dos requisitos fundamentais para o cálculo do V50BL é a velocidade do projétil, sendo assim impreterível a utilização de cronógrafos. A figura 7 mostra-nos o conceito de cronógrafo.

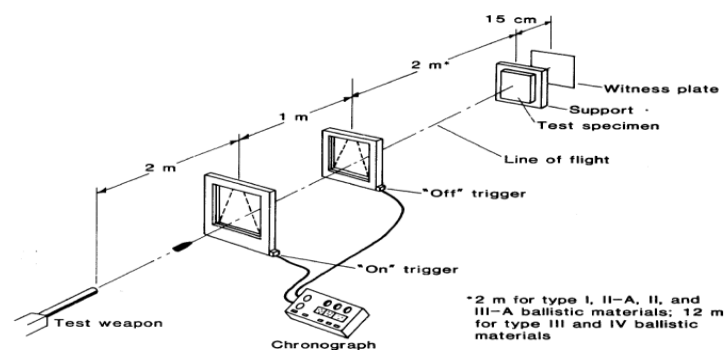


Figura 7 – Cronógrafo Balístico

Fonte: Cfr. Mukasey, M. (2008, p.23)

3.3.2. Coletor de projéteis e estilhaços

O coletor de projéteis, ilustrado na figura 8, é um aparelho que permite a recolha de projéteis e estilhaços. Este equipamento é composto de aço, variando na sua dureza consoante o calibre do armamento a que se destina. Este funciona como um funil para as munições, ou seja, conduz as munições até à sua parte posterior, que está ligada a um cilindro onde a munição entra e inicia um movimento circular até perder a sua energia e cair no

depósito de armazenamento. Esta tecnologia torna-se bastante prática e econômica, uma vez que não requer qualquer tipo de consumível para reduzir a energia do projétil.

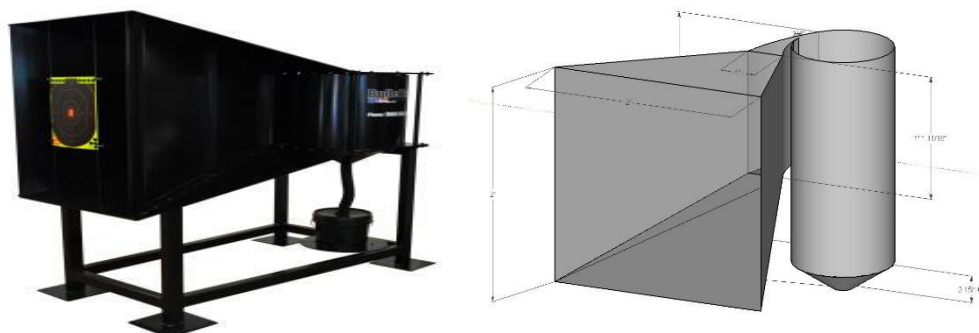


Figura 8 – Coletor de Projéteis e estilhaços.

Fonte: Retirado de <http://www.bullettrapusa.com/> acessado em 23 de Março de 2018.

3.3.3. Estrutura porta alvos

Como já mencionado anteriormente, a dureza dos materiais que compõem o suporte da amostra deve ser igual ou superior à da amostra. Não existe regulamentação que indique um tipo de suporte específico. Deste modo, um exemplo de suporte é o da figura 9, já utilizado em testes anteriores.



Figura 9 – Estrutura porta alvos

Fonte: Cfr. Mestre (2015, p.45).

3.3.4. Adaptador para fixação de painéis

Quando os provetes, a serem testados têm dimensões mais reduzidas (ainda que dentro dos parâmetros normalizados), existe a necessidade de utilizar um suporte de fixação capaz de reter o provete no porta alvos. O adaptador metálico da figura 10 já existe na Academia Militar, uma vez que já foi utilizado em ensaios anteriores. Este foi construído a partir de aço blindado de 10 mm e as suas dimensões são de 500mm x 500 mm. Ao centro

do mesmo “foi realizado um corte quadrangular e quatro furos para introdução de parafusos que permitem a fixação dos painéis de dimensão mais reduzida entre o adaptador metálico e uma moldura também produzida a partir de aço blindado” (Mestre,2015).



Figura 10 – Adaptador metálico para fixação dos painéis

Fonte: Cfr. Mestre (2015, p.45).

3.3.5. Para-balas

O Para-balas, representado na figura 11, é uma estrutura que visa garantir uma maior segurança à infraestrutura e as pessoas que estão a operar na mesma. Apesar de existir o aparelho coletor de munições e estilhaços e com vista a garantir uma maior segurança, este será dimensionado à retaguarda do coletor com vista a reduzir para zero o risco de ricochete ou de munições perdidas.

Esta estrutura²¹ é constituída por duas séries de lamelas de borracha, suspensas numa calha superior e dispostas em paralelo entre lamelas, obliquamente em relação ao eixo do túnel de impactos. Estas lamelas têm uma densidade de 45 tiras por metro linear e são de fácil substituição, permitindo mais de 100 000 impactos por metro quadrado.

²¹ Cfr. <https://www.actiontarget.com/tag/vertical-rubber-granule-trap/> acessado em 12 de Abril de 2018, às 09.48h.



Figura 11 – Protótipo de um para-balas de lamelas

Fonte: Cfr <https://www.actiontarget.com/tag/vertical-rubber-granule-trap>, acessido a 12 de abril de 2018, às 18.12h.

3.3.6. Sistema de projeção de projéteis

Segundo o ASTM E3062-16, (2016), o sistema de disparo pode ser de dois tipos: Através de um *fragment simulator* composto por uma culatra e um cano, que funcionam eletronicamente ou através de um sistema de ar comprimido, ou através de uma arma de fogo real. O mesmo considera que o sistema ideal é o primeiro pelo facto de ser mais preciso, mais rigoroso e apresentar uma maior segurança para quem o opera. Deste modo o laboratório está equipado com um sistema composto por um cavalete de suporte do sistema de projeção, móvel e adaptável, tanto verticalmente consoante a altura do alvo, como longitudinalmente consoante a distância a que se pretende realizar o ensaio, à semelhança do apresentado na Figura 12.



Figura 12 – Sistema de projeção composto por cavalete e fixador com culatra e cano.

Fonte: Retirado de <http://www.ballisticedge.com.au/laboratory.htm>, acessado a 14 de Abril de 2018, às 15.22h.

3.4. Disposições construtivas

Com vista a obter um maior grau de segurança e seguir as normas estipuladas para este tipo de edifício, será de todo importante adotar as normas aplicáveis a carreiras de tiro internas, na parte estrutural do túnel de impactos e sala de impactos. Desta forma, Basto (2008) afirma que para este tipo de estrutura “é comum seguir-se que as paredes sejam em betão armado (ETL 06-11), embora possa perfeitamente ser utilizada a tradicional parede de alvenaria dupla, uma vez que o desenfiamiento nunca será garantido pelos elementos construtivos.” (Basto, 2008, p.67) Neste tipo de infraestrutura é ainda de considerável importância evitar saliências no plano da parede com vista a diminuir a possibilidade de ricochetes e estas não devem ser pintadas por razões de condicionamento acústico.

Relativamente às características do chão, este “deve constituir uma superfície plana de betão, (...), à semelhança das paredes, não deve ser pintado nem existir quaisquer saliências no mesmo.” (Basto, 2008, p.67).

O túnel de impactos deverá apresentar uma altura do teto de 2,4 m. Esta dimensão segundo Basto (2008, p68), é de considerável importância, pois tem influência na “possibilidade de vibração dos elementos estruturais devido ao conteúdo de baixas frequências do espectro acústico da detonação e a influência que a altura pode traduzir em um aumento da secção de cálculo do caudal do sistema de ventilação.”

Relativamente ao acesso ao túnel de impactos, segundo Basto (2008), todas as portas que existam devem ser protegidas por dispositivos diafragma anti ricochete e providas de sistemas de alarme luminoso e sonoro. Estas devem ainda dispor de dispositivos elétricos de fecho que impeçam a sua abertura durante a realização dos ensaios.

3.4.1. Proteção Acústica

A proteção acústica é outro fator a ter em conta na construção do edifício, principalmente no túnel de impactos. Apesar de este ser totalmente fechado e isolado do resto do edifício, é fundamental a existência de material próprio capaz de reduzir a reflexão e aumentar a absorção sonora de modo a reduzir a transmissão sonora para o exterior do mesmo. Deste modo, Basto (2009) define três tipos de materiais aplicáveis que providenciam a proteção acústica necessária: Materiais porosos e fibrosos, membranas ressonantes e os ressoadores. No caso do laboratório de impactos, para o revestimento das paredes e do teto,

poderão ser aplicadas placas de borracha onduladas, fixas numa estrutura de madeira cujo interior será preenchido com lã de rocha.

3.4.2. Sistema de Ventilação

O sistema de ventilação numa superfície fechada, como é o caso do túnel de impactos, é fundamental para garantir a renovação do ar contaminado pelo chumbo produzido pelos ensaios balísticos. Esta deve ser aplicada de modo a garantir um fluxo contínuo de ar no sentido do para-balas onde é feita a extração. Deste modo, o sistema de ventilação deve garantir “caudais contínuos e uniformes com velocidades entre os 0,25 m/s e os 0,38 m/s.” (Basto, 2008). “O sistema de ventilação deve ser dedicado unicamente à zona de tiro” (Anania, *et al*, 1975; NASR, 2005). O edifício que alberga, mesmo que lhe seja inteiramente dedicado, deverá ter o seu próprio sistema de ventilação. Os sistemas de insuflação e de extração devem ser de funcionamento independente” (Anania, *et al*, 1975). Assim, tendo em conta todos estes requisitos, será aplicada uma rede de distribuição de ar comprimido através de um sistema de climatização HVAC com ventilação e extração dedicado, com uma capacidade de 200 l/h com uma pressão nominal de trabalho de 7 bar. A qualidade do ar será seco, com uma humidade relativa de 50%, +/- 20% e uma temperatura de 20 C°, +/- 5,5 C°, como já caracterizado anteriormente.

3.4.3. Sistema de iluminação

O sistema de iluminação poderá ser diferenciado de acordo com o compartimento a que se destina. No túnel de impactos serão utilizadas lâmpadas luminárias do tipo led. A sala de impactos é a que requer uma iluminação mais objetiva pois esta, para além da luz residual, necessita ainda de iluminação necessária para apoio dos equipamentos de aquisição de imagem. Quanto aos restantes compartimentos do laboratório, estes serão equipados com lâmpadas tubulares luminárias.

3.4.4. Segurança

A segurança das operações é fundamental para evitar acidentes desnecessários. Deve ter-se em conta dois tipos de segurança, a externa e a interna.

A segurança externa, uma vez que estamos a falar de uma estrutura com total capacidade de proteção balística, não existe grande probabilidade de ocorrer algum acidente no exterior da mesma, como por exemplo uma munição perdida, contudo, quando os ensaios estão a decorrer, deve ser sinalizada com uma bandeira ou uma placa de aviso no exterior de modo a evitar que existam pessoas nas imediações do edifício.

Relativamente à segurança interna, esta deve ser bem analisada e detalhada. O laboratório deve dispor de procedimentos para manuseio seguro, transporte, armazenamento, uso e manutenção planeada do equipamento de medição, a fim de assegurar o funcionamento adequado e evitar contaminação e deterioração do material e acidentes de trabalho.

Como já abordado anteriormente, é fundamental que não exista ninguém com compartimento do túnel balístico e da sala de impactos, para tal as portas que dão acesso aos mesmos devem ser controladas na sala de monitorização e não poder ser abertas no decorrer dos ensaios. Também no decorrer dos mesmos, deve existir um sinal sonoro, juntamente com uma luz de aviso de modo a garantir que quem está a operar no laboratório sabe que os ensaios irão iniciar e toma as medidas de segurança estipuladas.

A utilização de supressores de ruído deve ser obrigatório para todos os elementos que operam no edifício. Deve ainda de existir um plano de emergência para o edifício. Outro tipo de medidas e normas devem ser adotadas tendo em conta a normalização nacional e internacional relativamente a este tipo de infraestruturas.

3.5. Organização geral do laboratório de impactos

Quanto à organização da infraestrutura, esta poderá ter uma dimensão de 30 m x 16,5 m, o que equivale a um edifício com 495 m². A figura 13 mostra o exemplo de uma planta do laboratório, com as seguintes divisões:

1. Hall de entrada;
2. Oficina de ensaios mecânicos de baixa velocidade;
3. Sala de projeto;
4. Armazém geral;
5. Zona de prototipagem;
6. Gabinete e armazém de equipamento eletrónico;
7. Casa de banho;
8. Sala de acondicionamento de materiais;
9. Armazém de consumíveis e carregamento de munições;

10. Túnel de impactos balísticos;
11. Sala de impactos;
12. Sala de controlo de ensaios.

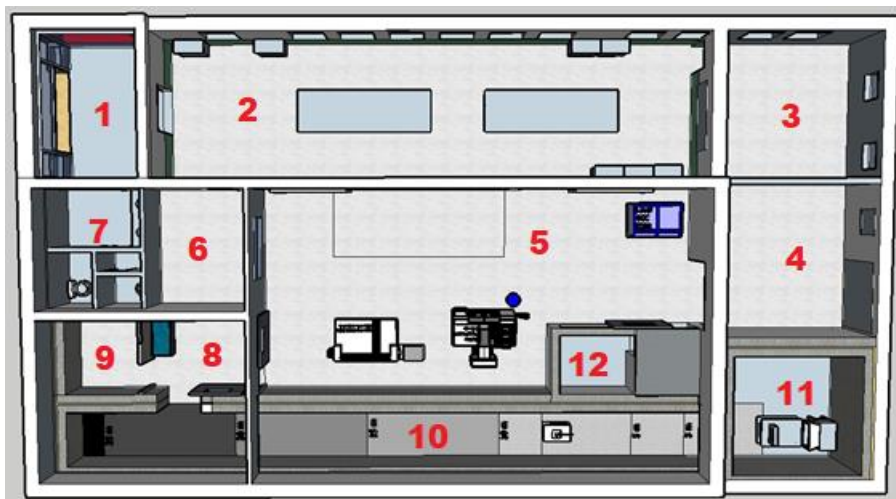


Figura 13 – Exemplo de planta do Laboratório de impactos

Fonte: Elaboração própria.

3.5.1. Zona de Implantação

O local de implantação do laboratório é um assunto que carece de algumas características específicas. A sua localização deve ser escolhida tendo em conta não só as dimensões do edifício mas também do seu espaço envolvente. Dadas as dimensões e características do terreno da área pertencente à Academia Militar, na Amadora, este fator não é uma limitação, contudo a zona de implantação escolhida, representada na figura 14 é a ideal, uma vez que a carreira de tiro descoberta se encontra nas imediações do laboratório, paralela ao mesmo, o que poderá ser benéfico para o estudo de proteções balísticas, em ambiente natural, caso esta seja reativada. Na escolha do local de implantação também foi tido em conta o isolamento do laboratório relativamente a outras infraestruturas, estando a infraestrutura mais próxima a aproximadamente 150 metros do laboratório, de modo a reduzir os riscos de acidente com pessoas ou bens que possam estar na zona envolvente ao edifício.



Figura 14 – Zona de implantação do Laboratório de Impactos

Fonte: Elaboração própria.

3.5.2. Zonas Funcionais do Laboratório de Impactos

3.5.2.1. Túnel de impacto balísticos

O Túnel e sala de impactos²² é o compartimento mais importante do laboratório. Este visa a determinação da resistência dos materiais a serem testados e quais as suas capacidades de proteção balística. Este compartimento tem um comprimento de aproximadamente 28 m e uma largura de 2 m, o que permite efetuar impactos até à distância de 25 m, sendo a distância de cada teste regulada através da colocação do cavalete com o sistema de projeção da munição, de acordo com os requisitos de cada teste. Toda a estrutura envolvente a este compartimento é composta por parede dupla em bloco de cimento com revestimento acústico intermédio, o que garante um elevado nível de proteção balística. Apesar de não perceptível na figura²³, este tem também uma cobertura superior, negando a possibilidade de transposição de ricochetes ou estilhaços para outros compartimentos do edifício, conferindo assim total segurança a quem está a operar no laboratório.

²² Ver Apêndice J – Compartimentos do laboratório de Impactos

²³ Ver Apêndice J – Compartimentos do laboratório de Impactos

3.5.2.2. Sala de Impactos

A sala de impactos²⁴, está localizada na parte anterior do túnel de impactos, tem uma largura de 4,2 m, um comprimento de 4,5 m e tem ligação para a sala de controlo de ensaios, de modo a facilitar a monitorização dos mesmos. Nesta existirá uma estrutura de suporte do material a ser testado, o coletor de projéteis e estilhaços e ainda a cortina para-balas.

3.5.2.3. Oficina de ensaios mecânicos de baixa velocidade

A oficina de ensaios mecânicos²⁵, tem como objetivo a caracterização de materiais e a execução de testes a baixas velocidades. Este compartimento é bastante amplo, com cerca de 19,3 m de comprimento por 5 m de largura, o que permite que seja adaptável também a outros objetivos de investigação que não os mencionados anteriormente. A oficina é composta por duas bancadas de aproximadamente um metro, o que permite um melhor manuseio de equipamento e melhores condições de trabalho.

3.5.2.4. Sala de acondicionamento de materiais

Para que os testes sejam feitos de acordo com as normas anteriormente referenciadas (*NIJ Standard-0101.06*), existe a necessidade de os materiais em estudo serem sujeitos a uma climatização que tem como objetivo reproduzir as condições a que estes estão sujeitos quando empregues em condições operacionais, em combate, tais como a temperatura e humidade relativa do ar, entre outras. Deste modo, este compartimento²⁶ está equipado com um reservatório de água com capacidade de monitorizar a temperatura do mesmo, de forma a cumprir com os requisitos das normas internacionais e com os objetivos da investigação.

3.5.2.5. Sala de controlo de ensaios

A sala de controlo de ensaios²⁷ é um elemento extremamente importante do laboratório de impactos. Esta pode ser preparada com painéis de controlo que facilitam o uso de distintas funções tais como o início do teste, com ativação do mecanismo de disparo eletrónico da culatra, a ventilação, a iluminação de todos os compartimentos e a monitorização do condicionamento dos materiais e prototipagem.

²⁴ Ver Apêndice J – Compartimentos do laboratório de Impactos

²⁵ Ver Apêndice J – Compartimentos do laboratório de Impactos

²⁶ Ver Apêndice J – Compartimentos do laboratório de Impactos

²⁷ Ver Apêndice J – Compartimentos do laboratório de Impactos

CAPÍTULO 4. ENSAIOS BALÍSTICOS

4.1. Caracterização e seleção dos materiais para painéis balísticos

Os materiais compósitos²⁸ resultam da combinação de dois ou mais materiais distintos, com uma interface clara e que combina propriedades complementares. Através da conjugação de dois ou mais materiais é possível obter propriedades que não se conseguem obter com os materiais isolados. As propriedades dos compósitos dependem da natureza dos materiais e do grau de ligação entre os mesmos.

De acordo com Silva (2014), nenhum material apresenta por si só as características necessárias para suportar um impacto proveniente de um evento balístico. Por conseguinte, a solução é a produção de proteções balísticas que combinem as propriedades de dois ou mais materiais. Assim sendo, o elemento de proteção balística é formado pela combinação de matérias com propriedades distintas e complementares, fazendo com que evitem a penetração do projétil.

No âmbito da investigação, procedeu-se ao teste de painéis balísticos produzidos por investigações anteriores e que ainda não tinham sido testados. Desta forma, os painéis balísticos testados eram compostos pelos seguintes materiais: Alumínio e Fibra de Alumínio, compósitos cerâmicos, Fibra de vidro, Fibra de Carbono, compósito plástico e cortiça.

4.2. Modos de falha

Existem diferentes modos de falha no que diz respeito aos elementos de proteção balística. A figura 15 representa esses mesmos modos. Segundo Carlucci & Jaconson (2010), a fragmentação (*spalling*) é muito comum e é o resultado da reflexão da onda na face posterior do painel. É comum para os materiais mais resistentes à compressão do que em tração. O destacamento (*scabbing*) é semelhante à fragmentação, que resulta de uma grande deformação do painel, que começa numa fenda num local onde possui falta de homogeneidade local. Descamação (*petaling*) ocorre quando as tenções radiais circunferenciais são elevadas e a velocidade de impacto do projétil está perto do limite balístico. A obturação (*plugging*) e a perfuração (*piercing*) ocorrem em materiais que são bastante dúcteis e quando a velocidade de impacto do projétil é muito próximo do limite

²⁸ Cfr.: <http://disciplinas.ist.utl.pt/qgeral/mecanica/MatComp.pdf> acedido em 04 de abril de 2018, às 11.53h.

balístico. A fratura frágil (*brittle fracture*) ocorre geralmente em painéis com baixa densidade. As rachas radiais (*radial cracking*) são comuns nos materiais cerâmicos onde a resistência à tração é menor do que a resistência à compressão.

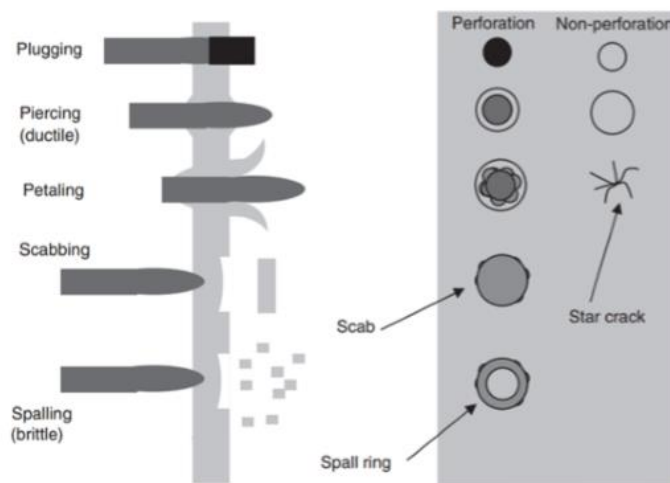


Figura 15 – Modos de falha das estruturas de painéis de proteção balística

Fonte: Cfr. Ferreira (2015, p.28)

4.3. Plano de Ensaio

Para que os ensaios balísticos decorressem da forma pretendida, foi elaborado um plano de ensaios antes da realização dos mesmos. Para a realização do mesmo partiu-se do pressuposto que o resultado seria o insucesso no que diz respeito à proteção balística, ou seja, existiria sempre penetração total nos painéis.

Apesar de não estarem previstas no plano falhas por parte do atirador e estas terem ocorrido, não podemos concluir que o plano tivesse falhado, ou seja, este foi seguido no decorrer dos ensaios, ainda que com circunstâncias específicas, de modo atingir os objetivos dos ensaios, o teste da capacidade balística dos materiais em estudo e a maximização do número de ensaios com vista à obtenção de um maior número de resultados.

O plano de ensaios, apresentado na tabela 5, descreve caracteriza os nove ensaios planeados.

Tabela 5 – Plano de Ensaio Balísticos

Ensaio Balístico	Nº de Impactos	Nº de Painéis	Projéteis	Distância ao Alvo	Tipo de Pannel
1	1	1	Walther 9 mm	10 m	Fibra de Carbono
2	1	1	Walther 9 mm	10 m	Fibra de Carbono
3	1	1	Walther 9 mm	10 m	Compósito
4	1	1	Walther 9 mm	10 m	Compósito
5	1	1	Walther 9 mm	10 m	Compósito
6	1	1	Walther 9 mm	10 m	Fibra de vidro
7	1	1	Walther 9 mm	10 m	Compósito
8	1	1	Walther 9 mm	10 m	Compósito
9	1	1	Walther 9 mm	10 m	Compósito

Fonte: Elaboração própria

4.4. Requisitos dos Painéis Balísticos

Tendo em conta a bibliografia estudada, os conceitos apresentados e os requisitos da proteção balística em UAV houve necessidade de encontrar os Requisitos dos Ensaio Balísticos (ReqEnsBal). Estes requisitos procuram testar as capacidades de novos materiais compósitos com vista a integrar a componente estrutural do UAV. Deste modo, tendo em conta o emprego do sistema UAV, as características das suas missões, as suas capacidades e as suas necessidades de proteção, vamos então levantar requisitos para os ensaios com vista a responder aos requisitos de proteção balística dos UAV.

Conjugando estes mesmos requisitos obtêm-se os Requisitos dos Ensaio Balísticos. O ReqProtBalUAV8 e o ReqProtBalUAV9 dão origem ao **ReqEnsBal1**: Providenciar proteção balística de acordo com o tipo de ameaça.

O ReqProtBalUAV6, ReqProtBalUAV7 e o ReqProtBalUAV11 dão origem ao **ReqEnsBal2**: Os painéis devem ser de fácil aplicação, não representando danos colaterais ao UAS.

O ReqProtBalUAV13 dá origem ao **ReqEnsBal3**: Providenciar nível de proteção II(NIJ), minimizando a proteção de zonas vitais do UAV.

O ReqProtBalUAV3, ReqProtBalUAV4 e ReqProtBalUAV5 dão origem ao **ReqEnsBal4**: Produzir placas balísticas, com materiais leves, de forma a não comprometer as capacidades do UAV, nomeadamente a autonomia e velocidade.

Na Figura 16, está representado o Diagrama de evolução dos ReqProtBalUAV para os ReqEnsBal.

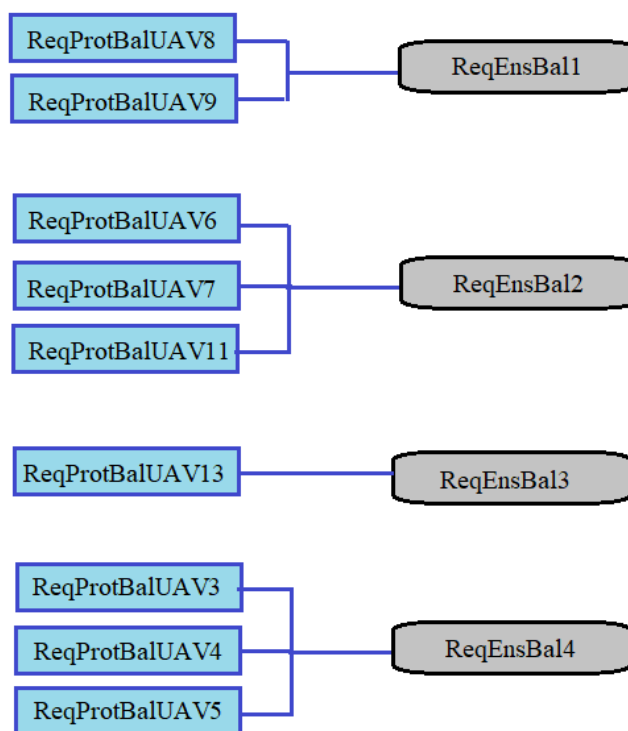


Figura 16 – Requisitos dos Ensaio Balísticos

Fonte: Elaboração própria

4.5. Preparação das Infraestruturas e da instalação dos Ensaio

Os ensaios balísticos, dos materiais compósitos analisados, foram realizados na carreira de tiro nº 1 da EA, em Mafra. O primeiro passo foi verificar as condições do material e equipamento a utilizar na realização dos ensaios, ou seja, munições e armamento. Seguidamente foi preparado o abrigo de proteção, os porta-alvos e os painéis balísticos.

Após a verificação do material e equipamento, procedeu-se à montagem da instalação do equipamento para a realização dos ensaios balísticos, à distância de 10 m entre a arma e o porta-alvos. O porta-alvos compreende o suporte de fixação de painéis e o adaptador de fixação de painéis, tendo estes já sido abordados no capítulo anterior.

Todas as munições, armamento que não estava a ser utilizado, painéis balísticos e outros equipamentos estavam junto do abrigo de proteção, onde se encontrava o responsável pela realização dos ensaios balísticos.

Após todos estes procedimentos, foi preparada a carreira de tiro para a realização dos ensaios, ou seja, foram garantidas todas as normas e procedimentos para a realização dos ensaios em segurança. Seguidamente, foram realizados os ensaios planeados, tendo estes corrido dentro do estipulado.

CAPÍTULO 5. METODOLOGIA

5.1. Tipo de Estudo

A investigação “é um processo que permite resolver problemas ligados ao conhecimento dos fenómenos do mundo real no qual nós vivemos” (Fortin, 1999, p.15). Chega então a altura de optar pelo método de investigação em que, segundo Sarmiento (2013, p.7), “numa investigação pode ser utilizado mais do que um método, para que sejam encontradas as respostas para a pergunta de partida da investigação e perguntas derivadas da pergunta de partida”. Assim, para a realização do presente TIA foram utilizados os seguintes métodos: método de observação direta, uma vez que este “consiste no exame de todos os factos, no seu registo, na sua análise e posteriores conclusões” (Sarmiento, 2013, p.7) e o método experimental, que “ fundamenta-se em ensaios, provas ou testes. Estabelece uma causa-efeito, que explica uma determinada situação”. (Sarmiento, 2013, p.7).

Relativamente ao método de investigação quanto à abordagem, dos três tipos (indutivo, dedutivo e hipotético-dedutivo), o método utilizado para a realização do presente TIA foi o método hipotético-dedutivo, “baseia-se na formulação de hipóteses ou conjeturas, que melhor relacionam e explicam os fenómenos” (Sarmiento, 2013, p.9), ou seja, comprovando ou não as hipóteses de investigação levantadas no início da investigação através da análise documental e dos ensaios balísticos, respondendo assim às questões derivadas.

5.2. Técnicas, Procedimentos e Meios Utilizados

De acordo com Fortin (1999, p.240), “Os dados podem ser colhidos de diversas formas junto dos sujeitos. Cabe ao investigador determinar o tipo de instrumento que melhor convém ao objetivo do estudo.” Nesta investigação, os principais métodos de recolha de informação que foram utilizados são a análise documental e ensaios balísticos.

5.3. Perguntas Derivadas

Como sugerido por Santos, L. *et all* (2016, p.60), as questões de investigação devem ser claras, exequíveis, devem estar relacionadas com teorias e com investigações, estarem interligadas e permitirem um contributo original na investigação.

De modo a ser possível obter uma resposta bem fundamentada e estruturada da questão central, existe necessidade de aprofundar o tema em vários aspetos, requerendo assim levantar as seguintes Questões Derivadas (QD):

QD1: Como deve ser implementado a proteção balística nos UAS, de modo a que estes não percam as suas capacidades operacionais?

QD2: Quais as normas que regulam o funcionamento de um laboratório de impactos?

QD3: Que medidas de segurança devem ser tomadas em consideração aquando da realização dos ensaios?

QD4: Quais os materiais passíveis de serem aplicados nos UAS, que fazem face às necessidades de proteção balística dos mesmos?

QD5: Como se caracteriza o comportamento mecânico dos painéis balísticos em estudo face às ameaças?

5.4. Hipóteses de investigação

As hipóteses de investigação, segundo Sarmiento (2013, p.13), “é a resposta temporária e provisória, é uma suposição que o investigador propõe perante uma interrogação formulada a partir de um problema de investigação ou pergunta de partida”.

Hipótese 1: As placas de proteção balística, de modo a não reduzir as capacidades operacionais dos UAS, devem ser aplicadas apenas em zonas críticas do sistema, ou seja, o *payload*. Desta forma garantem a continuidade das suas capacidades de aquisição de imagens, caso sofra algum impacto, e a sua autonomia é mantida uma vez que o peso adicional é mínimo por só ser adicionado em volta do *payload*.

Hipótese 2: As normas que regulam o funcionamento do laboratório de impactos são elaboradas por organizações internacionais de standardização e regulamentação. No caso do laboratório de impactos, a ASTM (E3062-16, 2016), a ISO/IEC 17025 (2005) e o NIJ Standard-0101.06 elaboram um conjunto de standards que devem ser seguidos para a construção de um laboratório de impactos e funcionamento do mesmo.

Hipótese 3: Nos que diz respeito à estrutura do edifício, esta deve ser muito mais robusta, de forma a impedir que qualquer tipo de munição ou ricochete atravesse a mesma e passe para o seu exterior. Quanto a medidas de segurança, os operadores do laboratório de impactos devem permanecer numa zona de segurança e utilizar óculos de proteção e supressores de ruído no decorrer dos ensaios.

Hipótese 4: Os materiais que fazem face às necessidades de proteção balística são os materiais compósitos, os produtos cerâmicos e metálicos.

Hipótese 5: De acordo com as ameaças escolhidas, os materiais compósitos utilizados não terão sucesso, ou seja, existirá sempre penetração dos mesmos.

5.5. Local e Data da Pesquisa e Recolha de Dados

No âmbito da análise documental, realizada entre o período de fevereiro de 2017 a abril de 2018, esta foi essencialmente recolhida através do Repositório comum, na plataforma EBSCO e através da internet, em plataformas internacionais, como é o caso do *United States Department of Defense*, *North Atlantic Treaty Organization* e da *International Organization for Standardization*. O estudo baseou-se na análise de documentos doutrinários e publicações da NATO, do Exército Português e dos EUA. Para além destes, foram também analisadas teses e dissertações de modo a atribuir um maior rigor científico ao trabalho.

Os ensaios balísticos, tendo como base de conhecimento alguns ensaios balísticos já realizados em anos anteriores, seguem o desenvolvimento da mesma linha de investigação, com vista a adquirir melhores resultados com materiais compósitos diferentes. Estes foram realizados no dia 20 de outubro de 2017, na Escola das Armas (EA), em Mafra.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

6.1. Generalidades

“O nível de proteção balística refere-se ao nível de ameaça balística a que um equipamento de proteção consegue resistir” (Carlucci & Jacobson, 2010, p.18). Assim, o objetivo dos ensaios balísticos é determinar as capacidades de resistência a ameaças balísticas de um determinado equipamento, sendo neste caso, os painéis compósitos.

De acordo com Kneubuehl (2003), os ensaios balísticos podem ser realizados de acordo com duas orientações:

- Ameaça: É definida uma ameaça específica e os equipamentos têm que apresentar características satisfatórias apenas para a arma e o projétil pré-definidos.
- Proteção: É definido um nível de proteção e os equipamentos têm de apresentar características satisfatórias para todas as energias e densidades de energia inferiores às especificadas pelo nível de proteção.

Para os ensaios balísticos que foram realizados (disponíveis em apêndice), determinou-se a ameaça como a Pistola Walther P38 9mm m/961, com um projétil de 9 mm, um peso de aproximadamente 8 g e uma velocidade inicial de aproximadamente 384 m/s. Os ensaios foram todos realizados à distância de 10m entre a boca do cano e o alvo.

É ainda importante referir que os ensaios balísticos realizados têm um caráter inicial e exploratório com o objetivo de fornecer uma base teórica e experimental para futuros trabalhos.

6.2. Ensaio Balístico N.º 1

O Ensaio Balístico n.º 1²⁹ foi realizado a um painel balístico compósito (laminado A1), sendo este composto por Fibra de Carbono. O painel apresentava uma massa de 99,70 g e uma dimensão de 197 x 197 x 1,9 mm, o que equivale a um peso de 2,57 kg/m². Para este ensaio foi utilizado a Pistola Walther P38 9mm, tendo sido realizado apenas um impacto, existido perfuração, ou seja, o projétil atravessou completamente o alvo. Após o impacto, verificou-se ainda que a perfuração do alvo provocou uma delaminação do painel

²⁹ Ver Apêndice A – Relatório de Ensaio Balístico n.º 1

no sentido da composição das fibras. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados, estando na tabela 6 caracterizados os resultados de respectivo ensaio.

Tabela 6 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 1

Ensaio	Caracterização do painel	ReqEnsBal				Tipo de falha
		1	2	3	4	
1	Laminado A1 Painel compósito	S	X	X	S	Perfuração completa; <i>Scabbing</i>

Fonte: Elaboração própria.

6.3. Ensaio Balístico N.º 2

O Ensaio Balístico n.º 2³⁰ foi realizado a um painel balístico compósito (laminado A2), sendo este composto por Fibra de Carbono. O painel apresentava uma massa de 98,60 g e uma dimensão de 197 x 197 x 1,9 mm, o que equivale a um peso de 2,54 kg/m². Para este ensaio foi utilizado a Pistola Walther P38 9mm, tendo sido realizado apenas um impacto, existido perfuração, ou seja, o projétil atravessou completamente o alvo. Após o impacto, verificou-se ainda que a perfuração do alvo provocou uma delaminação do painel no sentido da composição das fibras. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados, estando na tabela 7 caracterizados os resultados de respectivo ensaio.

Tabela 7 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 2

Ensaio	Caracterização do painel	ReqEnsBal				Tipo de falha
		1	2	3	4	
2	Laminado A2 Painel compósito	S	X	X	S	Perfuração completa; <i>Scabbing</i>

Fonte: Elaboração Própria.

6.4. Ensaio Balístico N.º 3

O Ensaio Balístico n.º 3³¹ foi realizado a um painel balístico compósito (laminado A4), sendo este composto por uma primeira camada de 3,2 mm de Fibra de Carbono, uma segunda camada de 2,6 mm de Nitreto de Silício, terceira camada de 3,2 mm de Fibra de

³⁰ Ver Apêndice B – Relatório de Ensaio Balístico n.º 2.

³¹ Ver Apêndice C – Relatório de Ensaio Balístico n.º 3.

Carbono e uma última camada de 1 mm de uma Placa de Alumínio. As camadas estavam solidificadas entre cada compósito através de adesivo estrutural. O painel apresentava uma massa de 709,7 g e uma dimensão de 200 x 200 x 10,6 mm, o que equivale a um peso de 17,743kg/m². Para este ensaio foi utilizada a Pistola Walther P38 9mm, tendo sido realizado apenas um impacto, existido perfuração, ou seja, o projétil atravessou completamente o alvo. Um possível motivo da existência de penetração foi o facto de o impacto não ter atingido a zona da bolacha cerâmica, pelo que não podemos considerar este ensaio válido. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados, estando na tabela 8 caracterizados os resultados de respetivo ensaio.

Tabela 8 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 3

Ensaio	Caracterização do painel	ReqEnsBal				Tipo de falha
		1	2	3	4	
3	Laminado A4 Painel compósito	S	X	X	S	Perfuração completa; <i>Petaling</i>

Fonte: Elaboração própria.

6.5. Ensaio Balístico N.º 4

O Ensaio Balístico n.º 4³² foi realizado a um painel balístico compósito (laminado A5), sendo este composto por uma primeira camada de 7,4 mm de Nitrato de Silício, uma segunda camada de 6 mm de Compósito Plástico e uma terceira camada de 4 mm de Compósito de Alumínio. As camadas estavam solidificadas entre cada compósito através de adesivo estrutural. O painel apresentava uma massa de 654,8 g e uma dimensão de 200 x 200 x 17,8 mm, o que equivale a um peso de 16,37 kg/m². Para este ensaio foi utilizada a Pistola Walther P38 9mm, tendo sido realizado apenas um impacto, existido penetração sem perfuração, ou seja, o projétil não atravessou completamente o alvo. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados, estando na tabela 9 caracterizados os resultados de respetivo ensaio.

Tabela 9 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 4

Ensaio		ReqEnsBal	Tipo de falha

³² Ver Apêndice D – Relatório de Ensaio Balístico n.º 4

	Caracterização do painel	1	2	3	4	
4	Laminado A5 Painel compósito	S	S	S	S	Penetração sem perfuração

Fonte: Elaboração própria.

6.6. Ensaio Balístico N.º 5

O Ensaio Balístico n.º 5³³ foi realizado a um painel balístico compósito (laminado A7), sendo este composto por uma primeira camada de 7,4 mm de Compósito de Alumínio, uma segunda camada de 6 mm de Cortiça e uma terceira camada de 4 mm de Compósito de Alumínio. As camadas estavam solidificadas entre cada compósito através de adesivo estrutural. O painel apresentava uma massa de 606,1 g e uma dimensão de 200 x 200 x 19,4 mm, o que equivale a um peso de 15,153 kg/m². Para este ensaio foi utilizado a Pistola Walther P38 9mm, tendo sido realizado apenas um impacto, existido penetração, ou seja, o projétil atravessou completamente o alvo. Após o impacto, verificou-se ainda que a área de penetração no painel estava bem delimitada. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados, estando na tabela 10 caracterizados os resultados de respetivo ensaio.

Tabela 10 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 5

Ensaio	Caracterização do painel	ReqEnsBal				Tipo de falha
		1	2	3	4	
5	Laminado A7 Painel compósito	S	X	X	S	Perfuração completa; <i>Piercing</i>

Fonte: Elaboração própria.

6.7. Ensaio Balístico N.º 6

O Ensaio Balístico n.º 6³⁴ foi realizado a um painel balístico compósito (laminado A9), sendo este composto por uma primeira camada de 4,2 mm de Fibra de Vidro e uma segunda camada de 5 mm de Fibra de Vidro. As camadas estavam solidificadas entre cada compósito através de adesivo estrutural. O painel apresentava uma massa de 544,8 g e uma dimensão de 200 x 200 x 9,4 mm, o que equivale a um peso de 13,62 kg/m². Para este ensaio foi utilizada a Pistola Walther P38 9mm, tendo sido realizado apenas um impacto, existido

³³ Ver Apêndice E – Relatório de Ensaio Balístico n.º 5

³⁴ Ver Apêndice F – Relatório de Ensaio Balístico n.º 6

penetração, ou seja, o projétil atravessou completamente o alvo. Após o impacto, verificou-se ainda que o impacto provocou uma delaminação da placa no sentido das fibras. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados, estando na tabela 11 caracterizados os resultados de respectivo ensaio.

Tabela 11 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 6

Ensaio	Caracterização do painel	ReqEnsBal				Tipo de falha
		1	2	3	4	
6	Laminado A9 Painel compósito	S	X	X	S	Perfuração completa; <i>Scabbing</i>

Fonte: Elaboração própria.

6.8. Ensaio Balístico N.º 7

O Ensaio Balístico n.º 7³⁵ foi realizado a um painel balístico compósito (laminado A11), sendo este composto por uma primeira camada de 5,95 mm de Nitrato de Silício e uma segunda camada de 8 mm de compósito de Fibra de Vidro e Fibra de Carbono. As camadas estavam solidificadas entre cada compósito através de adesivo estrutural. O painel apresentava uma massa de 760 g e uma dimensão de 200 x 200 x 14,15 mm, o que equivale a um peso de 19 kg/m². Para este ensaio foi utilizada a Pistola Walther P38 9mm, tendo sido realizado apenas um impacto, existido penetração sem perfuração, ou seja, o projétil não atravessou completamente o alvo. Após o impacto, verificou-se ainda que a bolacha cerâmica fraturou mas não se verificou perfuração do laminado, que reteve alguns fragmentos da munição (após impacto com o cerâmico). Os fragmentos da munição, após o impacto penetraram no laminado. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados, estando na tabela 12 caracterizados os resultados de respectivo ensaio.

Tabela 12 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 7

Ensaio	Caracterização do painel	ReqEnsBal				Tipo de falha
		1	2	3	4	

³⁵ Ver Apêndice G – Relatório de Ensaio Balístico n.º 7

7	Laminado A11 Painel compósito	S	S	N	S	Penetração sem perfuração parcial
---	----------------------------------	---	---	---	---	--------------------------------------

Fonte: Elaboração própria.

6.9. Ensaio Balístico N.º 8

O Ensaio Balístico n.º 8³⁶ foi realizado a um painel balístico compósito (laminado A12), sendo este composto por uma primeira camada de 10 mm de Nitrato de Silício e uma segunda camada de 8 mm de compósito de Fibra de Vidro e Fibra de Carbono. As camadas estavam solidificadas entre cada compósito através de adesivo estrutural. O painel apresentava uma massa de 848 g e uma dimensão de 200 x 200 x 18,2 mm, o que equivale a um peso de 21,2 kg/m². Para este ensaio foi utilizada a Pistola Walther P38 9mm, tendo sido realizado apenas um impacto, existido penetração sem perfuração, ou seja, o projétil não atravessou completamente o alvo. Após o impacto, verificou-se ainda que a bolacha cerâmica fraturou mas não se verificou perfuração do laminado que reteve alguns fragmentos da munição (após impacto com o cerâmico). É ainda importante referir que algumas zonas exteriores à placa cerâmica foram atingidas e sofreram perfuração e delaminação no sentido das fibras. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados, estando na tabela 13 caracterizados os resultados de respetivo ensaio.

Tabela 13 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 8

Ensaio	Caracterização do painel	ReqEnsBal				Tipo de falha
		1	2	3	4	
8	Laminado A12 Painel compósito	S	S	X	S	Penetração sem perfuração parcial

Fonte: Elaboração própria.

6.10. Ensaio Balístico N.º 9

O Ensaio Balístico n.º 9³⁷ foi realizado a um painel balístico compósito (laminado A13), sendo este composto por uma primeira camada de 3,5 mm de Nitrato de Silício e uma segunda camada de 8 mm de compósito de Fibra de Vidro e Fibra de Carbono. As camadas

³⁶ Ver Apêndice H – Relatório de Ensaio Balístico n.º 8

³⁷ Ver Apêndice I – Relatório de Ensaio Balístico n.º 9

estavam solidificadas entre cada compósito através de adesivo estrutural. O painel apresentava uma massa de 650 g e uma dimensão de 200 x 200 x 11,7 mm, o que equivale a um peso de 16,25 kg/m². Para este ensaio foi utilizada a Pistola Walther P38 9mm, tendo sido realizado apenas um impacto, existido penetração sem perfuração, ou seja, o projétil não atravessou completamente o alvo. Após o impacto, verificou-se ainda que a bolacha cerâmica fraturou mas não se verificou perfuração do laminado. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados, estando na tabela 14 caracterizados os resultados de respectivo ensaio.

Tabela 14 – Resultados do Ensaio Balístico n.º 9

Ensaio	Caracterização do painel	ReqEnsBal				Tipo de falha
		1	2	3	4	
9	Laminado A13 Painel compósito	S	S	S	S	Penetração sem perfuração

Fonte: Elaboração própria.

CAPÍTULO 7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No presente capítulo são apresentados os resultados da investigação, existindo assim a necessidade de interpretar os mesmos. A análise documental e os ensaios balísticos são a solução para a resposta às questões de investigação e questão central, apresentadas no decorrer na investigação. Assim, no presente capítulo, serão analisados os resultados obtidos de modo a verificar a validade das hipóteses de investigação e ser assim possível responder às questões derivadas e questão central.

7.1. Resposta às Questões Derivadas e Verificação das Hipóteses

Com o objetivo de obter uma resposta à questão central levantada no início da investigação, foram levantadas cinco questões derivadas, fundamentais para obter uma melhor resposta à questão central.

À QD1- “Como deve ser implementado a proteção balística nos UAS, de modo a que estes não percam as suas capacidades operacionais?”, foi levantada a seguinte hipótese: as placas de proteção balística, de modo a não reduzir as capacidades operacionais dos UAS, devem ser aplicadas apenas em zonas críticas do sistema, ou seja, o *payload*. Desta forma garantem a continuidade das suas capacidades de aquisição de imagens, caso sofram algum impacto, sendo a sua autonomia mantida uma vez que o peso adicional é mínimo por só ser adicionado em volta do *payload*.

Quando adicionado um elemento de proteção balística num UAS, é fundamental que este mantenha a sua interoperabilidade e a mesma classificação. Só desta forma será considerado como exequível a aplicação do elemento de proteção balística. Deste modo, a proteção balística em sistemas aéreos não tripulados pode ser aplicada de duas formas distintas: a primeira será nos próprios constituintes do sistema, ou seja, o material com que o mesmo é produzido ser constituído pelos próprios materiais que conferem proteção balística ao sistema, a segunda opção será aplicar painéis de proteção balística em elementos críticos, como é o caso do *payload*.

A primeira opção, ainda que exequível, não será a ideal uma vez que o material de proteção balística é muito mais pesado que o material com que o mesmo é construído atualmente. Desta forma, o UAV perderia a capacidade mais importante do mesmo, a autonomia, uma vez que o seu peso, caso o UAV seja construído com material de proteção balística, iria aumentar significativamente, perdendo assim grande parte da sua autonomia.

A hipótese formulada para a QD em causa foi validada, pois a segunda opção torna-se mais aceitável, produzindo assim pequenas placas de proteção balística, aplicadas aos elementos críticos. Desta forma, o peso adicional que é introduzido no sistema não será significativa, mantendo-se assim a autonomia do sistema.

Relativamente à QD2: “Quais as normas que regulam o funcionamento de um laboratório de impactos?”, a hipótese levantada foi: as normas que regulam o funcionamento do laboratório de impactos são elaboradas por organizações internacionais de Standardização e regulamentação. No caso do laboratório de impactos, a ASTM (E3062-16, 2016), a ISO/IEC 17025 (2005) e o NIJ Standard-0101.06 elaboram um conjunto de standards que devem ser seguidos para a construção de um laboratório de impactos e funcionamento do mesmo.

Para que um equipamento de proteção balística seja aceite como tal, há que ser testado segundo um conjunto de procedimentos internacionalmente descritos para que desta forma este esteja de acordo com os parâmetros internacionais e seja acreditado das suas capacidades. Para tal, existe um conjunto de organizações internacionais que se ocupam de elaborar normas e procedimentos para o funcionamento de laboratórios de impactos e dos respetivos ensaios. A *American Society for Testing and Materials* (ASTM), pode caracterizar-se como a principal fonte de produção de normas no que diz respeito a esta investigação, uma vez que apresenta um conjunto de documentos que visam a standardização de infraestruturas para ensaios balísticos e os respetivos procedimentos a tomar no decorrer dos ensaios, de onde se destaca o ASTM E3062-16 (2016). Standard Specification for Indoor Ballistic Test Ranges for Small Arms and Fragmentation Testing of Ballistic-resistant Items. Para além desta organização, a *International Standardization organization* (ISO), apresenta um conjunto de standards com o mesmo objetivo, dos quais se destaca a ISO/IEC 17025 (2005). Para além destas, é ainda de grande pertinência destacar o Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06 do *U.S. Department of Justice* e o V50 Ballistic Test for Armor do Department of Defense que apresentam um conjunto de métodos e requisitos a seguir na realização de ensaios balísticos.

A segunda hipótese é validada. Ainda que um pouco incompleta, uma vez que não foram nomeadas todas as normas, pode-se afirmar que as normas apresentadas na hipótese dois são válidas.

À QD3- “Que medidas de segurança devem ser tomadas em consideração aquando da realização dos ensaios?”, foi levantada a seguinte hipótese: nos que diz respeito à estrutura do edifício, esta deve ser muito mais robusta de forma a impedir que qualquer tipo de

munição ou ricochete atravesse a mesma e passe para o seu exterior. Quanto a medidas de segurança, os operadores do laboratório de impactos devem permanecer numa zona de segurança e utilizar, óculos de proteção e supressores de ruído no decorrer dos ensaios.

Num laboratório de impactos, na realização dos ensaios, podemos considerar dois tipos de segurança distintos: a segurança estrutural, que se relaciona com as características do edifício, e a segurança técnica que se subdivide nos requisitos do equipamento a utilizar (segurança passiva) e nas medidas de segurança a adotar por quem conduz os ensaios (segurança ativa).

No que diz respeito à segurança técnica, deve-se ter em conta as dimensões mínimas da sala de ensaios, garantindo a mobilidade de equipamento e pessoal no seu interior. O chão, teto e todas as paredes da sala de impactos deve seguir as características standard no que diz respeito à sua constituição e proteção acústica. Devem ainda existir sistemas de ventilação e de iluminação adequados às dimensões da sala. Por fim, deve existir uma sala de monitorização (Zona segura) que controle de forma automática todo o decorrer do ensaio, reduzindo assim os riscos de acidente de quem está a operar.

Relativamente à segurança técnica, caracteriza-se por segurança passiva a utilização do equipamento adequado, ou seja, o sistema de projeção de munições, um coletor de estilhaços e/ ou um para-balas e a sua respetiva calibração constante. Quanto à segurança ativa, devem existir normas de execução permanentes para todos os procedimentos a ter no laboratório de impactos. Antes do início dos ensaios, deve ser sinalizado através de uma bandeira, no exterior do edifício, de forma a avisar quem está em redor do laboratório que os ensaios se iram iniciar. No interior do edifício deve também existir um sinal sonoro e luminoso que adverte todos os utilizadores do laboratório, de que os mesmos se irão iniciar e devem tomar as devidas precauções, nomeadamente ausentarem-se da sala de impactos que será bloqueada na sala de monitorização antes do início dos ensaios e de que estes deverão colocar o equipamento de proteção sonora individual. Devem ainda existir planos em caso de emergência, nomeadamente em caso de acidentes ou fogo.

A hipótese de investigação levantada, ainda que bastante incompleta considera-se válida, uma vez que deve ter-se em conta medidas de segurança adicionais para este tipo de infraestruturas.

Quanto à QD4- “Quais os materiais passíveis de serem aplicados nos UAS, que fazem face às necessidades de proteção balística dos mesmos?”, foi apresentada a seguinte hipótese: os materiais que fazem face às necessidades de proteção balística são os materiais compósitos, os produtos cerâmicos e metálicos.

As capacidades de proteção balística de um determinado equipamento devem fazer face às ameaças a que estes estão submetidos. Com o desenvolvimento de armamento mais eficaz, torna-se fundamental que as capacidades de proteção balística dos respetivos equipamentos evolua de forma semelhante. Desta forma, verifica-se a necessidade de explorar novos materiais e as suas respetivas capacidades de proteção balística.

“O material compósito é formado pela união de dois ou mais materiais de naturezas diferentes, resultando num material de performance superior quando comparado aos seus componentes separadamente. O material resultante pode ser um arranjo de fibras contínuas ou não, que são impregnados por resinas. São as fibras que conferem ao material compósito as suas características mecânicas: rigidez, resistência e tolerância aos danos. As fibras podem ser de vidro, de aramida, de carbono, de boro, fibra de polietileno de muito alto peso molecular, entre outras. As matrizes têm como principal função transferir as solicitações mecânicas às fibras e protegê-las do ambiente externo.” (Júnior, 2007).

“Os produtos cerâmicos têm sido considerados para aplicações ao nível da proteção balística devido a apresentarem as seguintes características: baixa densidade; dureza e elevada resistência à compressão. Os principais materiais cerâmicos para elementos de proteção balística são a alumina, o carbetto de silício e o carbetto de boro.” (Silva et al., 2014).

Tendo em conta os materiais utilizados, e analisando os resultados dos ensaios balísticos realizados, podemos concluir que os materiais que apresentam melhores resultados, no que diz respeito à sua capacidade de proteção balística, são a conjugação de materiais compósitos com produtos cerâmicos e alumínio.

A quarta hipótese é válida. No entanto, é de salientar que só conseguimos obter o melhor rendimento, no que diz respeito às suas capacidades de proteção balística, dos materiais, quando conjugados.

Por fim, à QD5 – “Como se caracteriza o comportamento mecânico dos painéis balísticos em estudo face às ameaças?”, foi apresentada a seguinte hipótese: de acordo com as ameaças escolhidas, os materiais compósitos utilizados não terão sucesso, ou seja, existirá sempre penetração dos mesmos.

Para analisar o comportamento mecânico dos painéis balísticos, foi definida primeiramente a ameaça. Esta foi a Pistola walther P38 m/961 com projéteis de 9mm, um peso de +/- 8g e uma velocidade de +/- 384 m/s. Os ensaios foram realizados a uma distância de 10 metros.

Nos ensaios nº 1, 2, 3, 5 e 6, os painéis compósitos não conseguiram providenciar proteção balística face à ameaça escolhida. O ensaio balístico nº 4, realizado ao laminado

A5 apresentou um resultado parcialmente satisfatório, uma vez que apesar de ter existido penetração, não se verificou a sua perfuração. Relativamente aos ensaios nº 7, 8 e 9, estes apresentaram excelentes resultados, pois não se verificou a perfuração dos mesmos. Desta forma, podemos concluir que estes cumpriram os requisitos de proteção balística exigidos, garantindo assim uma capacidade de proteção balística face à ameaça.

A quinta hipótese não é válida, uma vez que se conseguiu obter a proteção balística adequada à ameaça em um terço dos painéis de proteção balística estudados.

7.2. Resposta à Questão Central

Após concluída toda a análise documental, análise dos resultados dos ensaios e tendo sido respondido às questões derivadas, é agora possível responder à seguinte Questão central: “Quais as especificações e requisitos de um laboratório de impactos?”

Tendo uma base de conhecimento já consolidada no que concerne às principais normas e características do funcionamento de um laboratório de impactos, surgem então os requisitos para a estruturação e funcionamento de um laboratório de impactos. De forma a tornar a estruturação destes mais perceptível, primeiramente há que distinguir requisitos gerais de requisitos técnicos.

Os requisitos gerais surgem das necessidades estruturais e organizacionais do laboratório de impactos, enquanto os requisitos técnicos surgem do seu funcionamento e características da realização dos ensaios.

Relativamente aos requisitos gerais destacam-se os seguintes: a dimensão da sala de teste deve ser suficientemente ampla de modo a que todo o equipamento caiba no seu interior e de forma a permitir que o responsável pela condução dos testes consiga operar no seu interior sem qualquer obstrução; as condições ambientais devem ser controladas, devendo a humidade relativa ser de 50 +/- 20% e a temperatura ambiental de 20 +/- 5,5°C; ter um sistema de disparo de projéteis, preferencialmente pneumático ou elétrico, não utilizando armas reais; ter um sistema de monitorização cujas capacidades de medição de velocidades seja adequado às velocidades dos projéteis a serem utilizados e aplicados às distâncias padrão; seguir as normas padrão apresentadas pelo ASTM no que diz respeito à montagem e espaçamento do equipamento utilizado nos ensaios, de acordo com a ameaça utilizada; apresentar as devidas medidas de segurança necessárias, das quais se destacam a existência de um para-balas ou um coletor de estilhaços à retaguarda da estrutura de suporte da amostra e apresentar uma estrutura adequada à finalidade a que o mesmo se destina.

Quanto aos requisitos técnicos, destacam-se os seguintes: todos os equipamentos devem ser testados e recalibrados com considerável regularidade; seguir as normas apresentadas pelo DoD (1997) no que concerne ao dispositivo de disparo, projétil, equipamento de medição de velocidades, placa testemunha, amostra de teste e determinação do V_{50BL} e do V_{proof} ; os materiais, antes de serem testados devem sofrer o respectivo condicionamento, de forma a replicar as condições a que estes estão sujeitos nos teatros de operações, quando empregues e ser elaborado um relatório de teste para cada ensaio balístico.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente capítulo é resultado de todo um processo de investigação que termina assim com apresentação das respetivas conclusões da respetiva investigação.

De forma a ser possível investigar os “Impactos balísticos em UAS: requisitos para a criação de um laboratório de impactos”, foi inicialmente essencial aprofundar conhecimentos relativamente à temática dos UAS, da proteção balística e do laboratório de impactos. Tendo em consideração esta base de conhecimento, foi possível investigar o estudo dos materiais que resultariam na maximização da proteção balística em UAS e ainda os requisitos necessários para a criação de um laboratório de impactos e a respetiva implementação na Academia Militar. Consolidadas estas temáticas, foi possível executar os ensaios balísticos e analisar os respetivos resultados, contribuindo estes para a justificação e consolidação da investigação.

Relativamente ao estudo da implementação de proteções balísticas em UAS, conclui-se que esta deve ser aplicada apenas nos seu elementos críticos, como é o caso do *payload*, de forma a que o seu peso, autonomia e aerodinâmica não sejam significativamente alterados, mantendo assim as capacidades operacionais do sistema.

No que diz respeito às normas que regulam a estruturação e funcionamento de um laboratório de impactos, conclui-se que estas são detalhadamente definidas e caracterizadas por organizações internacionais de standardização. A ASTM apresenta-se como a principal fonte de standardização das normas estudadas e analisadas.

Quanto às medidas de segurança de um laboratório de impactos, conclui-se que estas representam é um aspeto fundamental para o funcionamento desta infraestrutura. Como tal devem existir dois tipos de medidas de segurança: segurança estrutural, ou seja, as competências estruturais que o edifício deve apresentar, e segurança técnica que se divide em segurança passiva (requisitos dos equipamentos utilizados) e segurança ativa (medidas de segurança a adotar pelos operadores do laboratório).

O resultado da realização dos ensaios balísticos permite concluir que os principais materiais que fazem face às necessidades de proteção balística dos UAS são a conjugação de materiais compósitos com produtos cerâmicos e alumínio, pois os painéis com esta composição apresentaram capacidade de proteção balística face à ameaça utilizada.

Existem dois tipos de requisitos para a organização e funcionamento de um laboratório de impactos: os requisitos gerais, que surgem das necessidades estruturais e

organizacionais do laboratório de impactos e os requisitos técnicos, que surgem do seu funcionamento e características da realização dos ensaios.

Relativamente aos requisitos gerais, estes prendem-se com as dimensões, condições ambientais, sistema de disparo, sistema de monitorização e ainda o modo de montagem e espaçamento do equipamento do laboratório de impactos. Os objetivos específicos prendem-se com o teste e recalibração do equipamento utilizado, as especificações técnicas do material, equipamento e método de ensaio, o condicionamento do material a ser testado e o relatório de ensaios.

O culminar de todos estes resultados permite assim concluir que um laboratório de impactos apresenta inúmeros requisitos, sendo que o fundamental será cumprir as normas apresentadas pelas organizações internacionais de standardização para que os resultados obtidos na realização de ensaios balísticos sejam fidedignos e internacionalmente aceites.

No decorrer da investigação, foram algumas as dificuldades e limitações sentidas. A maior dificuldade, que resultou numa limitação da investigação, vai de encontro o grande objetivo deste trabalho de investigação, ou seja, o facto de não existir nenhum laboratório onde seja possível realizar os ensaios balísticos limitou a investigação na medida em que os resultados obtidos não podem ser tomados como cientificamente válidos pois as condições em que estes foram realizados não são as condições apropriadas. O tamanho dos painéis balísticos constituiu-se também como uma limitação, pois devido às suas reduzidas dimensões, criaram grandes dificuldades ao atirador que nem sempre teve sucesso na realização do impacto, salientando ainda que esta limitação não existiria caso o ensaio fosse executado num laboratório de impactos.

Ainda que os principais objetivos do trabalho de investigação tenham sido alcançados, existem algumas temáticas que poderiam ser analisadas e aprofundadas. Desta forma, alguns dos objetivos de futuras investigações poderiam procurar responder às seguintes perguntas: Qual o método ideal de aplicação de painéis de proteção balística em sistemas aéreos não tripulados?; Quais as capacidades de proteção balística, em UAS, face às suas ameaças no teatro de operações?; Quais os materiais compósitos que tem a capacidades de proporcionar painéis balísticos mais leves e com nível de proteção balística nível III e IIIA?; Qual o processo de validação e creditação de um laboratório de impactos?.

—

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livros

Carlucci, D. & Jacobson, S. (2010). *Ballistics: theory and design of guns and ammunition*. New York: CRC Press.

Fortin, M. (1999). *O processo de investigação. Da conceção à realização*. Loures: Lusociência.

Neto, F. (1997). *Glossário de Termos do Armamento*. Lisboa: Edições Culturais da Marinha.

Santos, L. et al. (2016). *Orientações Metodológicas para Elaboração de Trabalhos de Investigação*. Lisboa: Instituto Universitário Militar.

Sarmiento, M. (2013). *Metodologia Científica para a Elaboração, Escrita e Apresentação de Teses*. Lisboa: Universidade Lusíada Editora.

Sousa, M., & Batista, C. (2011). *Como Fazer Investigação, Dissertações, Teses e Relatórios* (2ª Edição). Lisboa: Pactor.

Telo, A. & Álvares, M. (2004). *Armamento do Exército Português – Armamento Ligeiro*. Lisboa: Prefácio.

Revistas, Artigos, Teses e outras Publicações

AAP-06 (2014). NATO Glossary of Terms and Definitions. *The NATO Standardization Agency*.

AEP-2920 (2014). Procedures for the Evaluation and Classification of Personal Armour. Bullet and Fragmentation Threats. *The NATO Standardization Agency*.

Anania, T. & Seta, A. (1975). Lead Exposure and Design Considerations for Indoor Firing Ranges. *National Institute for Occupational Safety and Health*.

ASTM E3062-16 (2016). Standard Specification for Indoor Ballistic Test Ranges for Small Arms and Fragmentation Testing of Ballistic-resistant Items. *American Society for Testing and Materials*.

Basto, J. (2008). *Carreiras de Tiro: Introdução aos Princípios, Técnicas e Dispositivos Conducentes á sua Otimização*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Militar. Instituto Superior Técnico.

Bingham, P., Dunn, R., & Fowler, C. (2004). Ground Moving Target Indicator Radar and the transformation of U.S Warfighting. *Northrop Grumman*.

- Botelho, J. (2006). UAV's no Exército. *Jornal do Exército*, 551, 40-46.
- Cheeseman, B. & Bogetti, T. (2003). Ballistic impact into fabric and compliant composite laminates. *Composite Structures*, 61, 161-173.
- Department of Defense [DoD] (1997). V50 Ballistic Test for Armor. Department of Defense Test Method Standard
- Department of Defense [DoD] (2010). Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010-2035. U.S Army UAS Center of Excellence.
- Department of Defense [DoD] (2014). Command and Control of Joint Air Operations.
- Ferreira, J. (2015). *Proteção Balística do Soldado de Infantaria*. Academia Militar.
- ISO/IEC 17025 (2005). General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. *International Standard*.
- Joint Air Power Competence Centre [JAPCC] (2010). Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems.
- Júnior, W. (2007). *Processamento de Placa Espessa de Compósito Através de Moldagem por Transferência de Resina*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Mestre, J. (2015). *Análise Numérico-Experimental de Blindagens Balísticas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Instituto Superior Técnico.
- Monteiro, P. (2007). *Avaliação do Desempenho de Blindagens na Proteção de Pessoas e Equipamentos*. Instituto Superior Técnico.
- Mukasey, M. (2008). Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06. *U.S. Department of Justice*.
- National Association of Shooting Ranges [NASR] (2005). Lead Management and OSHA Compliance For Indoor Shooting Ranges. National Shooting Sports Foundation (NSSF).
- Nicholas, G. & Donald, L. (2009). Reference Ballistic Chronograph. *National Institute of Standards and Technology*.
- Pereira, N. (2010). *Os Calibres das Armas Ligeiras de Infantaria – Potencialidades e adequabilidade dos calibres 7,62 NATO e 5,56 NATO às missões contemporâneas*. Academia Militar.
- Pinto, J. (2009). *Avaliação do Comportamento Mecânico de Blindagens Balísticas*. Instituto Superior Técnico.
- Rabaça, T. (2014). *O Uso de Drones na Atual Conflitualidade: Uma Análise ao Nível Estratégico e Tático*. Academia Militar.

Richard, J., Price, T. & Charles, A. (2004). Ground Moving Target Indicator Radar and the Transformation of U.S. Warfighting. *Northrop Grumman*.

Silva, M.d., Stainer, D., Al-Qureshi, H. & Hotza, D. (2014). Ceramic armors for ballistic applications: a review. *Ceramic*, 60, 323-331.

STANAG 2911 (1989). Design Criteria for Fragmentation Protective Body Armor. *The NATO Standardization Agency*.

STANAG 2920 (2014). Classification of Personal Armoured Vehicles. *The NATO Standardization Agency*.

STANAG 4569 (2011). Protection Levels for Occupants of Armoured Vehicles. *The NATO Standardization Agency*.

STANAG 4586 (2012). Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability. *The NATO Standardization Agency*.

Páginas de Internet

Action Target (s.d.). Bullet Trap Comparisons, pt. 2 in *Tag: Vertical Rubber Granule Trap*, acessado em 12 de abril de 2018 em <https://www.actiontarget.com/tag/vertical-rubber-granule-trap>.

ASTM International (2016). Standard Specification for Indoor Ballistic Test Ranges for Small Arms and Fragmentation Testing of Ballistic-resistant Items in *Designation: E3062 – 16*, acessado em 06 de abril de 2018 em https://www.astm.org/VIEW_ONLY/web/viewer.html?file=rqvl_1592M.

Ballistic Edge (s.d.). Research Laboratory in *Mechanical impact testing*, acessado a 14 de abril de 2018 em <http://www.ballisticedge.com.au/laboratory.html>.

BulletTrapUSA (s.d.). Bullet in *BulletTrapUSA*, acessado em 02 de abril de 2018 em <http://www.bullettrapusa.com>.

International Organization for Standardization [ISO] (s.d.). Standards in *ISO*, acessado em 22 de março de 2018 em <https://www.iso.org/standards.html>.

Kneubuehl, B. (2003). Ballistic Protection, acessado em 30 de março de 2018 em <http://www.vpam.eu/fileadmin/Wissenswertes/Ballistic-protection.pdf>.

Materials Today (2004). Mecânica in *Materials Today*, acessado em 04 de abril de 2018 em <http://disciplinas.ist.utl.pt/qgeral/mecanica/MatComp.pdf>.

Apêndices

Apêndice A – Relatório de Ensaio Balístico n.º 1

Tabela 15 – Ensaio balístico n.º 1 (Geral)

Data do ensaio balístico	20/10/2017
Responsável pelo teste	AspOf Inf André Bernardino
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Fibra de carbono
Identificação do painel	A1
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal	
Resultado do Teste	
Perfuração completa	
Outros comentários	
Delaminação do painel: <i>Scabbing</i>	

Fonte: Elaboração própria



Figura 17 – Laminado A1. Ensaio balístico nº1

Fonte: Elaboração própria.

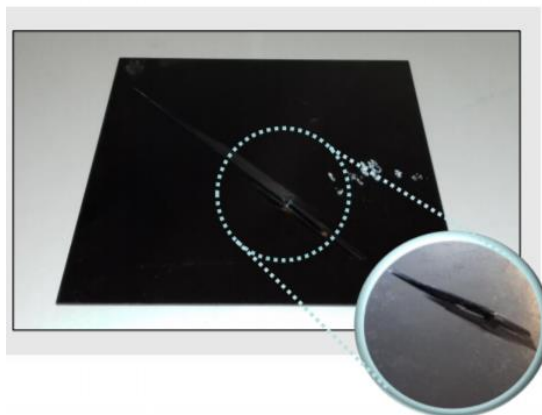


Figura 18 – Lado de saída do projétil. Laminado A1. Ensaio balístico n.º 1.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 16 – Ensaio Balístico n.º 1 (Detalhe)

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Identificação do painel	A1
Dimensão (largura x altura)	197 x 197 mm
Espessura	1,9 mm
Massa	99,70 g
Peso por m ²	2,57 Kg/m ²
Composição do painel	
1ª Camada	Fibra de Carbono
Especificações do Ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro n.º 1 da EA
Temperatura	26°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	45 min
Temperatura	26°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Comprimento do cano	125 mm
Número de estrias do cano	6 no sentido dextrorsum
Projétil	Cartucho 9 mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9 mm
Origem	Portugal
Distância ao alvo	10 m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice B – Relatório de Ensaio Balístico n.º 2

Tabela 17 – Ensaio balístico n.º 2 (Geral)

Data do ensaio balístico	20/10/2017
Responsável pelo teste	AspOf Inf André Bernardino
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Fibra de carbono
Identificação do painel	A2
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal	
Resultado do Teste	
Perfuração completa	
Outros comentários	
Delaminação do painel: <i>Scabbing</i>	

Fonte: Elaboração própria.



Figura 19 – Laminado A2. Ensaio balístico n.º2

Fonte: Elaboração própria.

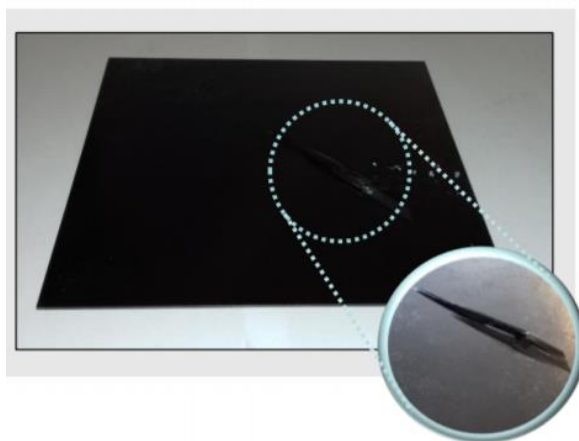


Figura 20 – Lado de saída do projétil. Laminado A2. Ensaio balístico n.º 2.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 18 – Ensaio balístico n.º 2 (Detalhe)

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Identificação do painel	A2
Dimensão (largura x altura)	197 x 197 mm
Espessura	1,9 mm
Massa	98,60 g
Peso por m ²	2,54 Kg/m ²
Composição do painel	
1ª Camada	Fibra de Carbono
Especificações do Ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro n.º 1 da EA
Temperatura	26°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	45 min
Temperatura	26°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Comprimento do cano	125 mm
Número de estrias do cano	6 no sentido dextrorsum
Projétil	Cartucho 9 mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9 mm
Origem	Portugal
Distância ao alvo	10 m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice C – Relatório de Ensaio Balístico n.º 3

Tabela 19 – Ensaio balístico n.º 3 (Geral)

Data do ensaio balístico	20/10/2017
Responsável pelo teste	AspOf Inf André Bernardino
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Compósito
Identificação do painel	A4
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal	
Resultado do Teste	
Perfuração completa	
Outros comentários	
Ensaio não válido: <i>Petalting</i>	

Fonte: Elaboração própria.

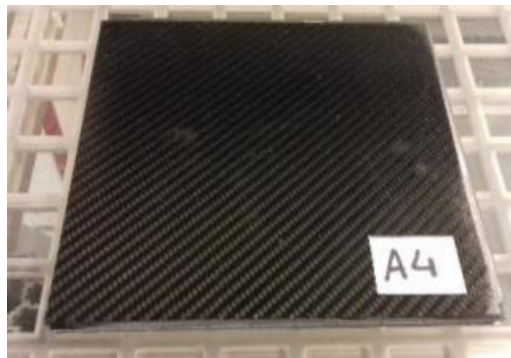


Figura 21 – Laminado A4. Ensaio balístico n.º3.

Fonte: Elaboração própria.

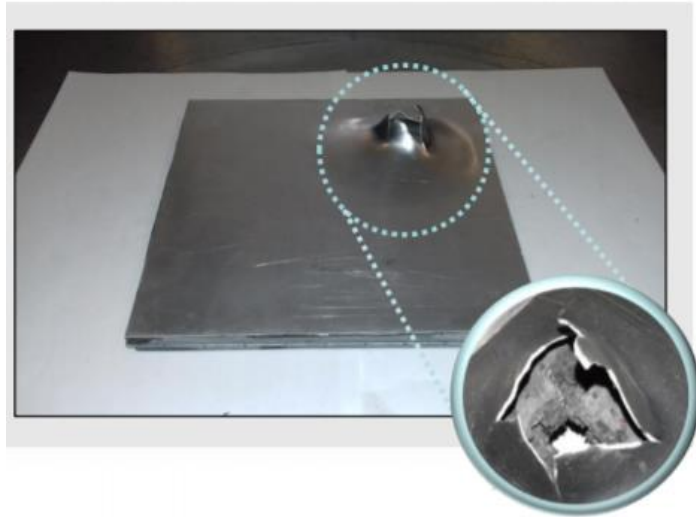


Figura 22 – Lado de saída do projétil. Laminado A4. Ensaio balístico n.º3.

Fonte: Elaboração própria.

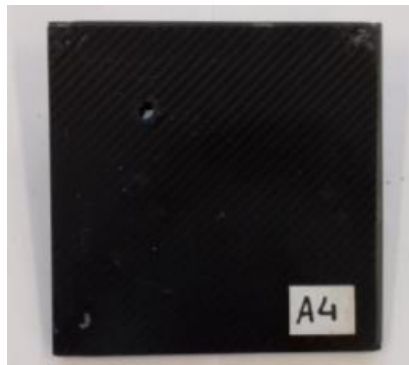


Figura 23 – Lado de entrada do projétil. Laminado A4. Ensaio balístico n.º3.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 20 – Ensaio balístico n.º 3 (Detalhe)

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Identificação do painel	A4
Dimensão (largura x altura)	200 x 200 mm
Espessura	10,6 mm
Massa	709,70 g
Peso por m ²	17,74 Kg/m ²
Composição do painel	
1ª Camada	Fibra de Carbono
2ª Camada	Nitrato de silício
3ª Camada	Fibra de Carbono
4ª Camada	Placa de Alumínio
Especificações do Ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro n.º 1 da EA
Temperatura	26°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	45 min
Temperatura	26°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Comprimento do cano	125 mm
Número de estrias do cano	6 no sentido dextrorsum
Projétil	Cartucho 9 mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9 mm
Origem	Portugal
Distância ao alvo	10 m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice D – Relatório de Ensaio Balístico n.º 4

Tabela 21 – Ensaio balístico n.º 4 (Geral)

Data do ensaio balístico	20/10/2017
Responsável pelo teste	AspOf Inf André Bernardino
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Compósito
Identificação do painel	A5
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal	
Resultado do Teste	
Penetração sem perfuração	
Outros comentários	
Resultado parcialmente satisfatório	

Fonte: Elaboração própria.

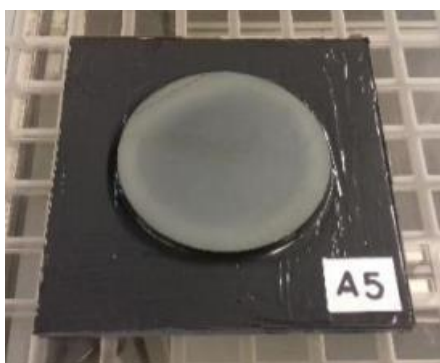


Figura 24 – Laminado A5. Ensaio balístico nº4.

Fonte: Elaboração própria.



Figura 25– Lado de entrada do projétil. Laminado A5. Ensaio balístico nº4.

Fonte: Elaboração própria.



Figura 26 – Lado de saída do projétil. Laminado A5. Ensaio balístico n.º4.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 22 – Ensaio balístico n.º 4 (Detalhe)

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Identificação do painel	A5
Dimensão (largura x altura)	200 x 200 mm
Espessura	17,8 mm
Massa	654,80 g
Peso por m ²	16,37 Kg/m ²
Composição do painel	
1ª Camada	Nitrato de silício
2ª Camada	Compósito plástico
3ª Camada	Compósito de alumínio
Especificações do Ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro n.º 1 da EA
Temperatura	26°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	45 min
Temperatura	26°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Comprimento do cano	125 mm
Número de estrias do cano	6 no sentido dextrorsum
Projétil	Cartucho 9 mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9 mm
Origem	Portugal
Distância ao alvo	10 m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice E – Relatório de Ensaio Balístico n.º 5

Tabela 23 – Ensaio balístico n.º 5 (Geral)

Data do ensaio balístico	20/10/2017
Responsável pelo teste	AspOf Inf André Bernardino
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Compósito
Identificação do painel	A7
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal	
Resultado do Teste	
Perfuração completa	
Outros comentários	
Perfuração completa: <i>Piercing</i>	

Fonte: Elaboração própria.



Figura 27 – Laminado A7. Ensaio balístico n.º5.

Fonte: Elaboração própria.

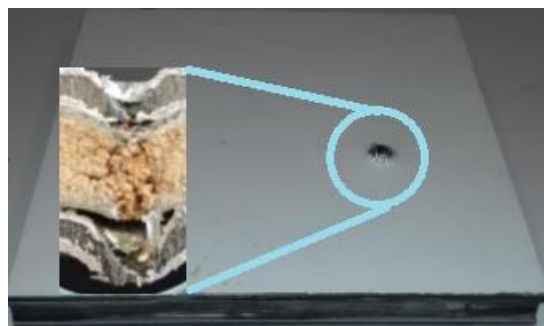


Figura 28 – Lado de saída do projétil. Laminado A7. Ensaio balístico n.º5.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 24 – Ensaio balístico n.º 5 (Detalhe)

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Identificação do painel	A7
Dimensão (largura x altura)	200 x 200 mm
Espessura	19,4 mm
Massa	606,1 g
Peso por m ²	15,153 Kg/m ²
Composição do painel	
1ª Camada	Compósito de alumínio
2ª Camada	Cortiça
3ª Camada	Compósito de alumínio
Especificações do Ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro n.º 1 da EA
Temperatura	26°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	45 min
Temperatura	26°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Comprimento do cano	125 mm
Número de estrias do cano	6 no sentido dextrorsum
Projétil	Cartucho 9 mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9 mm
Origem	Portugal
Distância ao alvo	10 m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice F – Relatório de Ensaio Balístico n.º 6

Tabela 25 – Ensaio balístico n.º 6 (Geral)

Data do ensaio balístico	20/10/2017
Responsável pelo teste	AspOf Inf André Bernardino
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Fibra de vidro
Identificação do painel	A9
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal	
Resultado do Teste	
Perfuração completa	
Outros comentários	
Perfuração completa: <i>Scabbing</i>	

Fonte: Elaboração própria.

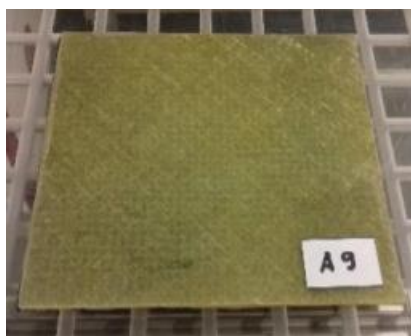


Figura 29 – Laminado A9. Ensaio balístico n.º6.

Fonte: Elaboração própria.

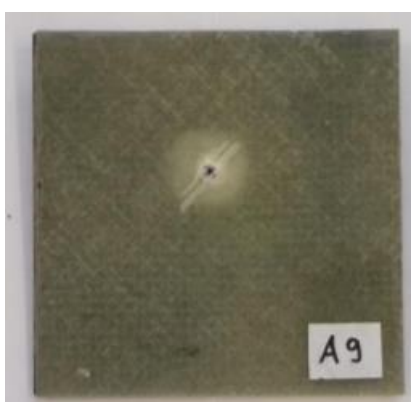


Figura 30 – Lado de entrada do projétil. Laminado A9. Ensaio balístico n.º6.

Fonte: Elaboração própria.

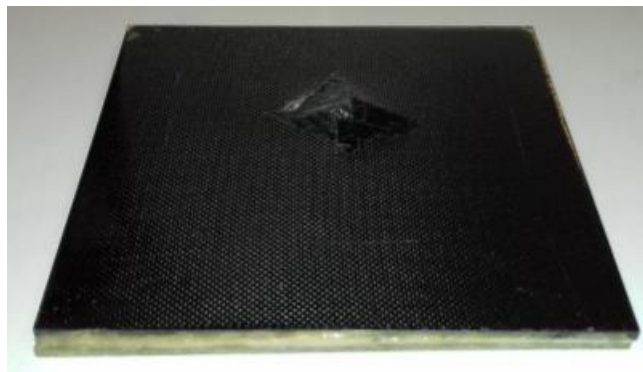


Figura 31 – Lado de saída do projétil. Laminado A9. Ensaio balístico n.º 6.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 26 – Ensaio balístico n.º 6 (Detalhe)

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Identificação do painel	A9
Dimensão (largura x altura)	200 x 200 mm
Espessura	9,4 mm
Massa	544,8 g
Peso por m ²	13,62 Kg/m ²
Composição do painel	
1ª Camada	Fibra de vidro
2ª Camada	Fibra de vidro
Especificações do Ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro n.º 1 da EA
Temperatura	26°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	45 min
Temperatura	26°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Comprimento do cano	125 mm
Número de estrias do cano	6 no sentido dextrorsum
Projétil	Cartucho 9 mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9 mm
Origem	Portugal
Distância ao alvo	10 m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice G – Relatório de Ensaio Balístico n.º 7

Tabela 27 – Ensaio Balístico n.º 7 (Geral)

Data do ensaio balístico	20/10/2017
Responsável pelo teste	AspOf Inf André Bernardino
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Compósito
Identificação do painel	A11
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal	
Resultado do Teste	
Painel sem perfuração	
Outros comentários	
Nada a referir	

Fonte: Elaboração própria.



Figura 32 – Laminado A11. Ensaio balístico n.º7.

Fonte: Elaboração própria.



Figura 33 – Lado de entrada do projétil. Laminado A11. Ensaio balístico n.º7.

Fonte: Elaboração própria.

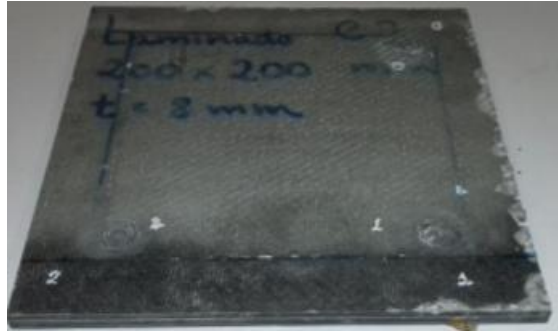


Figura 34 – Lado de saída do projétil. Laminado A11. Ensaio balístico n.º7.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 28 – Ensaio balístico n.º 7 (Detalhe)

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Identificação do painel	A11
Dimensão (largura x altura)	200 x 200 mm
Espessura	14,15 mm
Massa	760 g
Peso por m ²	19 Kg/m ²
Composição do painel	
1ª Camada	Nitrato de silício
2ª Camada	Compósito de fibra de vidro e fibra de carbono
Especificações do Ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro n.º 1 da EA
Temperatura	26°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	45 min
Temperatura	26°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Comprimento do cano	125 mm
Número de estrias do cano	6 no sentido dextrorsum
Projétil	Cartucho 9 mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9 mm
Origem	Portugal
Distância ao alvo	10 m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice H – Relatório de Ensaio Balístico n.º 8

Tabela 29 – Ensaio Balístico n.º 8 (Geral)

Data do ensaio balístico	20/10/2017
Responsável pelo teste	AspOf Inf André Bernardino
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Compósito
Identificação do painel	A12
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal	
Resultado do Teste	
Painel sem perfuração	
Outros comentários	
Nada a referir	

Fonte: Elaboração própria.



Figura 35 – Laminado A12. Ensaio balístico n.º8.

Fonte: Elaboração própria.

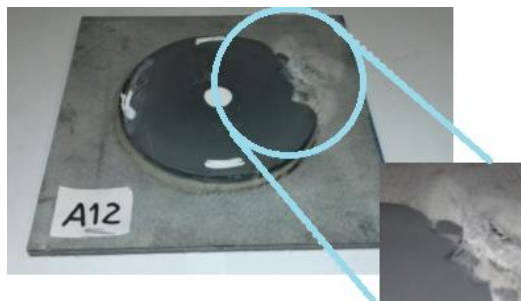


Figura 36 – Lado de entrada do projétil. Laminado A12. Ensaio balístico n.º8.

Fonte: Elaboração própria.

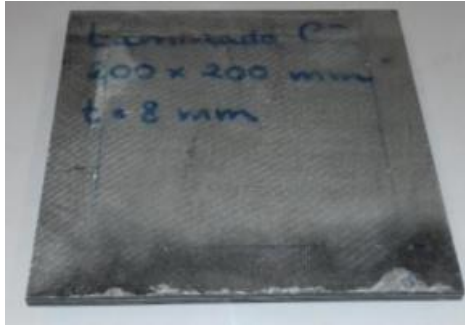


Figura 37 – Lado de saída do projétil. Laminado A12. Ensaio balístico n.º8.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 30 – Ensaio balístico n.º 8 (Detalhe)

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Identificação do painel	A12
Dimensão (largura x altura)	200 x 200 mm
Espessura	18,2 mm
Massa	848 g
Peso por m ²	21,2 Kg/m ²
Composição do painel	
1ª Camada	Nitrato de silício
2ª Camada	Compósito de fibra de vidro e fibra de carbono
Especificações do Ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro n.º 1 da EA
Temperatura	26°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	45 min
Temperatura	26°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Comprimento do cano	125 mm
Número de estrias do cano	6 no sentido dextrorsum
Projétil	Cartucho 9 mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9 mm
Origem	Portugal
Distância ao alvo	10 m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice I – Relatório de Ensaio Balístico n.º 9

Tabela 31 – Ensaio balístico n.º 9 (Geral)

Data do ensaio balístico	20/10/2017
Responsável pelo teste	AspOf Inf André Bernardino
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Compósito
Identificação do painel	A13
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal	
Resultado do Teste	
Painel sem perfuração	
Outros comentários	
Nada a referir	

Fonte: Elaboração própria.



Figura 38 – Laminado A13. Ensaio balístico n.º9.

Fonte: Elaboração própria.



Figura 39 – Lado de entrada do projétil. Laminado A13. Ensaio balístico n.º9.

Fonte: Elaboração própria.

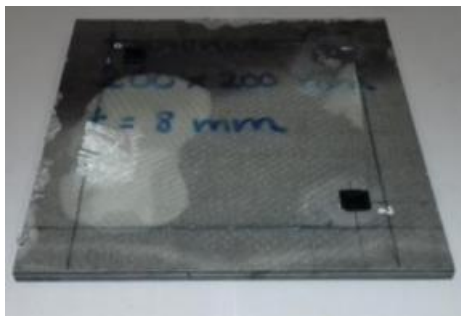


Figura 40 – Lado de saída do projétil. Laminado A13. Ensaio balístico n.º9.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 32 – Ensaio balístico n.º 9 (Detalhe)

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Identificação do painel	A13
Dimensão (largura x altura)	200 x 200 mm
Espessura	11,7 mm
Massa	650 g
Peso por m ²	16,25 Kg/m ²
Composição do painel	
1ª Camada	Nitrato de silício
2ª Camada	Compósito de fibra de vidro e fibra de carbono
Especificações do Ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro n.º 1 da EA
Temperatura	26°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	45 min
Temperatura	26°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Comprimento do cano	125 mm
Número de estrias do cano	6 no sentido dextrorsum
Projétil	Cartucho 9 mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9 mm
Origem	Portugal
Distância ao alvo	10 m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

Apêndice J – Compartimentos do laboratório de impactos

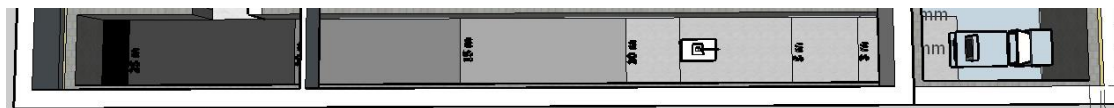


Figura 41 – Vista superior do túnel e sala de impactos.

Fonte: Elaboração própria



Figura 42 – Vista em profundidade do túnel de impactos.

Fonte: Elaboração própria.

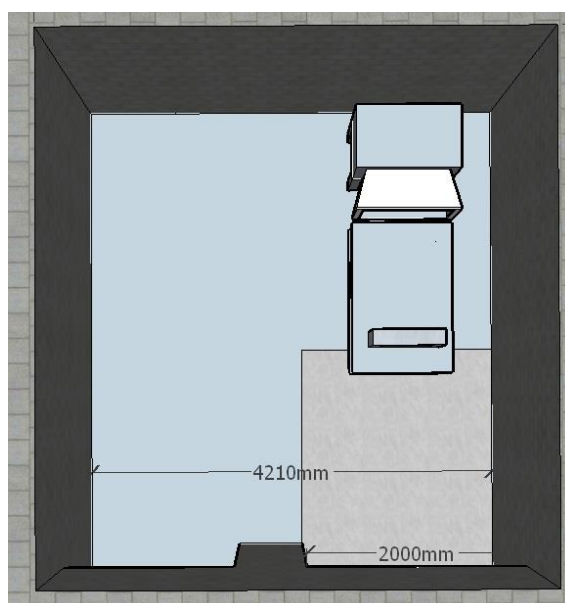


Figura 43 – Vista superior da sala de impactos.

Fonte: Elaboração própria

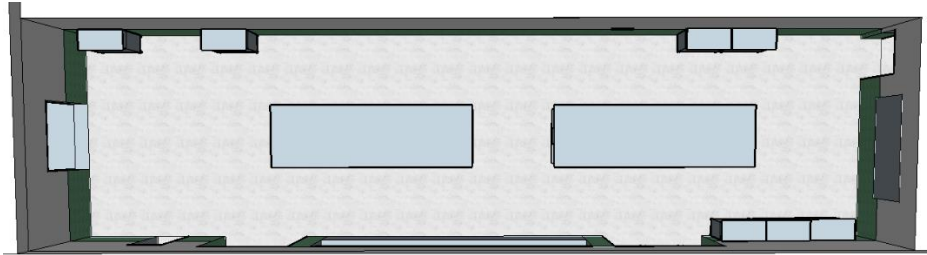


Figura 44 – Vista superior da Oficina de ensaios mecânicos de baixa velocidade.

Fonte: Elaboração própria.

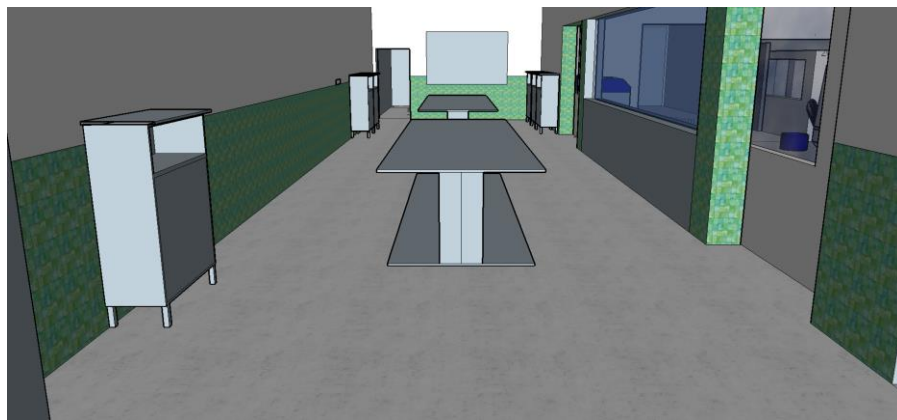


Figura 45 – Vista em profundidade da Oficina de ensaios mecânicos de baixa velocidade.

Fonte: Elaboração própria.

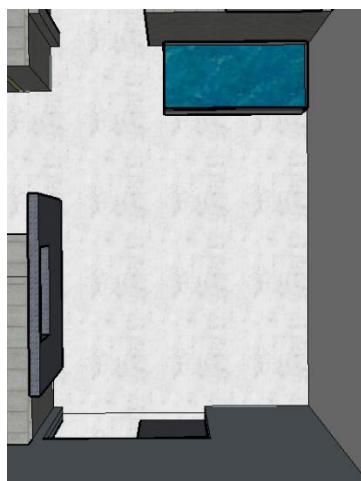


Figura 46 – Vista superior da sala de condicionamento de material.

Fonte: Elaboração própria.