



# **Academia Militar**

## **Proteção Balística do Soldado de Infantaria**

**Aspirante Oficial Aluno de Infantaria João Edgar Domingos Ferreira**

**Orientador José Alberto de Jesus Borges (Professor de Engenharia Mecânica)**

**Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada**

**Lisboa, julho de 2015**



**Academia Militar**

**Proteção Balística do Soldado de Infantaria**

**Aspirante Oficial Aluno de Infantaria João Edgar Domingos Ferreira**

**Orientador: José Alberto de Jesus Borges (Professor de Engenharia Mecânica)**

**Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada**

**Lisboa, julho de 2015**

## **Dedicatória**

À minha Família, Namorada, Amigos e Camaradas, por todo o apoio e dedicação ao longo da frequência do curso da Academia Militar.

## **Agradecimentos**

Para a realização do presente Trabalho de Investigação Aplicada, que visa obter o grau de mestre na especialidade de Infantaria, muitas foram as pessoas que contribuíram para a realização do mesmo. Contudo, não podia deixar de referir alguns nomes a quem gostaria de agradecer em particular.

Em primeiro lugar, queria agradecer ao Sr. Professor Doutor José Borges, que nas funções de orientador sempre demonstrou total disponibilidade, celeridade na resposta e auxílio. Ao indicar o caminho na direção correta foi sem dúvida, um grande pilar na concretização do presente trabalho.

Um agradecimento ao Sr. TCor Estevão da Silva por me levar a escolher o tema do presente trabalho, bem como por toda a sua disponibilidade e empenho enquanto Diretor do Curso. Um agradecimento ao atual Diretor de Curso, o Sr. Maj Pinto de Oliveira, que demonstrou sempre total dedicação e empenho para com o Curso de Infantaria.

Agradeço ao CINAMIL, pois o presente trabalho enquadra-se no projeto de investigação e desenvolvimento intitulado “Produção e Testes de Painéis de Proteção Balística” com financiamento do CINAMIL.

Agradeço também ao Sr. Alferes Aluno Mestre pela sua disponibilidade e colaboração ao longo da realização do trabalho, bem como a todos os presentes durante a execução dos ensaios balísticos, desde os camaradas que prestaram apoio, ao Sr. Professor Luís Pina e ao Sr. TCor Bernardino pela ajuda no decorrer dos mesmos ensaios. Também agradeço ao Sr. 1Sarg Bagulho por se ter disponibilizado prontamente para a realização do tiro.

Ao Sr. Maj Camilo pela ajuda na recolha de documentação necessária e por elucidar alguns conceitos referentes ao presente trabalho.

Ao Curso Tenente-General António Xavier Correia Barreto, em especial ao Curso de Infantaria, por todo o apoio e amizade durante os últimos anos.

Um agradecimento muito especial à minha família, que sempre me apoiou ao longo dos cinco anos de frequência na Academia Militar. Ao meu pai, João Ferreira por ter sempre uma palavra sábia para me ajudar nas diversas situações, à minha mãe Clara Ferreira, por todo o carinho e apoio; à minha irmã Rita Ferreira, por me ter auxiliado em diversas situações e trabalhos, ao meu avô, José Domingos pela sua preocupação; e

finalmente à minha avó Maria Júlia Ferreira, embora não estando presente durante a frequência da Academia Militar, pelo apoio em todas as minhas escolhas e pela educação que foi, sem dúvida, uma grande ajuda na construção dos pilares que hoje me definem como pessoa e como militar.

À minha namorada, Ana Rita, por me acompanhar ao longo desta grande jornada, pelo apoio, compreensão, amor, carinho e amizade. Por nunca ter desistido mesmo nas alturas mais difíceis. Pelo tempo que não lhe dediquei. Um obrigado por estar sempre presente.

Aos meus verdadeiros amigos, que sempre me acompanharam, apoiaram e sempre me deram força. Sem eles teria sido tudo mais difícil.

Por fim a todos aqueles que não foram citados, mas que, de alguma forma, contribuíram para o alcance desta etapa.

A todos, um grande Obrigado.  
João Edgar Domingos Ferreira

## Resumo

O presente Trabalho de Investigação Aplicada está subordinado ao tema “Proteção Balística do Soldado de Infantaria”.

Como objetivo geral pretende-se desenvolver uma base de conhecimento militar, no âmbito dos materiais e dos elementos de proteção balística ligeiros, no que concerne às suas especificações, características e requisitos técnicos.

A evolução dos elementos de proteção balística e das blindagens está fortemente relacionada com a evolução do armamento, e com isto foram surgindo novos materiais e fibras que possibilitam aliar a proteção balística com as necessidades e bem-estar do seu utilizador, sendo este o soldado de Infantaria, que atua em diferentes cenários, terrenos e condições, utilizando o fogo e movimento, necessitando portanto, de grande mobilidade.

Estas considerações levaram ao desenvolvimento de novos tipos de proteção realizados com materiais compósitos devido ao seu peso reduzido. Deste modo, no presente trabalho procedeu-se à elaboração de ensaios balísticos em situação de tiro real a painéis balísticos compósitos, de carácter exploratório.

No que se refere ao método de investigação científica foi utilizado o método hipotético-dedutivo, utilizado para comprovar as hipóteses colocadas no início da investigação e desta forma responder aos problemas colocados através da análise documental e ensaios balísticos.

O presente trabalho encontra-se dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo refere-se à introdução do tema. O segundo capítulo refere-se à revisão da literatura para o entendimento do estudo. O terceiro expõe os métodos e procedimentos utilizados durante a investigação. O capítulo quatro é referente aos painéis balísticos. No capítulo cinco são apresentados e analisados os resultados. As conclusões e recomendações futuras surgem no sexto capítulo.

Conclui-se que os elementos de proteção balística apresentam inúmeros requisitos sendo que o mais importante é aliar a capacidade de proteção ao peso reduzido, com a finalidade de manter a eficiência de combate do Soldado de Infantaria.

**Palavras-chave:** Soldado de Infantaria, Proteção Balística, Painéis Compósitos, Ensaios Balísticos.

## **Abstract**

The present Research Work is about the theme “Ballistic Protection of the Infantry Soldier”.

The overall goal is to develop military knowledge regarding materials and elements of light ballistic protection, in what concerns its specifications, features and technical requirements.

The evolution of the elements of ballistic protection and shields is strongly related to the evolution of weaponry. New materials and fibres that allow ballistic protection to be an ally of the needs and well-being of its user have emerged. Being the user an infantryman who moves in different scenarios, fields and conditions, using fire and movement because he/she needs great mobility.

These considerations led to the development of new types of protection made with composite materials due to its reduced weight. Throughout this research work ballistic tests in real life firing situation with ballistic panels were made, of exploratory character.

Concerning the research method the hypothetical-deductive method was used, which is meant to prove the hypothesis considered at the beginning of the research and this way give answers to the problems that have emerged by the data analysis and ballistic tests. The present work is divided into six chapters. The first chapter refers to the introduction of the theme. The second chapter refers to the review of the literature to the understanding of the study. The third explores the methods and procedures used throughout the research. The fourth chapter refers to ballistic panels. In chapter five the results are presented and analysed. The conclusions and future recommendations are in the sixth chapter.

It can be concluded that the elements of ballistic protection present many requirements. The most important being the link between the capacity of protection and its reduced weight in order to maintain the fight efficiency of the Infantry soldier.

**Keywords:** Infantry Soldier, Ballistic Protection, Composite Panels, Ballistic Tests.

## Índice Geral

<b>Dedicatória .....</b>	<b>ii</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>iii</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice Geral.....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>x</b>
<b>Índice de Tabelas .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Lista de Apêndices e Anexos.....</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Capítulo 1 Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento da investigação .....	1
1.2. Importância da Investigação e Justificação do Tema .....	2
1.3. Questão Central .....	3
1.4. Questões Derivadas .....	3
1.5. Hipóteses de investigação.....	4
1.6. Objetivo Geral e Objetivos Específicos do Estudo .....	5
1.8. Metodologia de Investigação.....	5
1.9. Estrutura do Trabalho .....	6
<b>Capítulo 2 Revisão da literatura .....</b>	<b>7</b>
2.1. Balística .....	7

2.1.1. Balística interna .....	7
2.1.2. Balística externa .....	8
2.1.3. Balística de efeitos .....	9
2.2. Elementos Balísticos .....	9
2.2.1. Munições de armas ligeiras .....	10
2.2.2. Elementos de Proteção Balística.....	13
2.2.2.1. Colete Balístico .....	15
2.2.2.2. Capacete Balístico .....	17
2.3. Requisitos .....	18
2.3.1. Soldado de Infantaria.....	18
2.3.2. Requisitos dos Elementos Balísticos .....	19
2.3.2.1. Requisitos dos coletes balísticos .....	20
2.3.2.2. Requisitos dos capacetes balísticos .....	22
2.4. Avaliação dos Elementos de Proteção Balística.....	24
2.4.1. Instalação de ensaio para os elementos de proteção balística .....	26
2.4.2. Descrição e inspeção do alvo .....	27
2.4.3. Modos de falha .....	27
<b>Capítulo 3 Trabalho de campo e metodologia de investigação .....</b>	<b>29</b>
3.1. Tipo de Estudo.....	29
3.2. Técnicas, Procedimentos e Meios Utilizados .....	30
3.3. Local e Data da Pesquisa e Recolha de Dados .....	30
<b>Capítulo 4 Ensaio Balísticos .....</b>	<b>31</b>
4.1. Procedimento Experimental na Produção dos Painéis Balísticos Compósito .....	31
4.2. Plano de Ensaio Balísticos .....	32
4.3. Requisitos dos Ensaio Balísticos.....	33
4.4. Medidas de segurança na execução dos ensaios balísticos.....	35

4.5. Preparação das infraestruturas e da instalação de ensaios .....	36
<b>Capítulo 5 Apresentação, análise e discussão dos resultados .....</b>	<b>38</b>
5.1. Generalidades .....	38
5.2. Ensaio Balístico N°1 .....	39
5.3. Ensaio Balístico N°2 .....	40
5.4. Ensaio Balístico N°3 .....	40
5.5. Ensaio Balístico N°4 .....	41
5.6. Ensaio Balístico N°5 .....	42
5.8. Ensaio Balístico N°6 .....	43
5.9. Ensaio Balístico N°7 .....	44
5.10. Ensaio Balístico N°8 .....	44
5.11. Ensaio Balístico N°9 .....	45
5.12. Ensaio Balístico N°10 .....	46
5.13. Ensaio Balístico N°11 .....	47
5.14. Ensaio Balísticos Realizados .....	47
<b>Capítulo 6 Conclusões e recomendações .....</b>	<b>50</b>
6.1. Resposta às Questões Derivadas e Verificação das Hipóteses .....	50
6.2. Resposta à Questão Central .....	54
6.3. Limitações da investigação .....	56
6.4. Propostas de Investigações Futuras .....	56
<b>Bibliografia.....</b>	<b>58</b>
<b>Apêndices.....</b>	<b>1</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>1</b>

## Índice de Figuras

Figura 1- Fotografia de um projétil com a representação das perturbações envolventes: 1) força de compressão sobre a ponta do projétil; 2) componente de fricção do ar sobre as superfícies e laterais do projétil; 3) força de sucção na retaguarda do projétil. ....	9
Figura 2 - Munições de armas ligeiras. ....	10
Figura 3 - Exemplos de coletes balísticos utilizados pelo Exército Português .....	16
Figura 4 - Exemplos de placas rígidas de proteção balística.....	16
Figura 5 - Zona de impactos e padrão de impactos.....	26
Figura 6 – Exemplo de instalação de ensaios para elementos de proteção balística. ....	27
Figura 7 - Modos de falha das estruturas de painéis de proteção balística.....	28
Figura 8 - Requisitos dos Ensaios Balísticos.....	35

### Apêndices

Figura 9 - Corte da fibra de Kevlar.....	1
Figura 10 - Corte da Fibra de Carbono.....	1
Figura 11 - Corte da fibra de vidro .....	2
Figura 12 - Mistura da Resina de Poliuretano com Endurecedor.....	2
Figura 13 - Aplicação da mistura entre camadas do painel balístico compósito.....	3
Figura 14 - Aplicação de camadas de fibra de Kevlar e de fibra de vidro .....	3
Figura 15 - Colocação do <i>pealply</i> .....	4
Figura 16 - Preparação do saco de vácuo .....	4
Figura 17 - Bomba de vácuo.....	5
Figura 18 - Peso para auxílio da compressão do painel .....	5
Figura 19 - Porta-alvos (vista de frente).....	1
Figura 20 - - Porta-alvos (vista de lateral).....	1
Figura 21 - Adaptador Metálico e Moldura.....	2
Figura 22 - Abrigo de Proteção .....	2
Figura 23 - Preparação da Espingarda Automática G3 .....	3

Figura 24 - Preparação da Pistola Walther P38.....	3
Figura 25 - Preparação dos Painéis Balísticos Compósitos e Painéis de Alumínio.....	4
Figura 26 - Preparação dos Elementos de Proteção Balística para o Atirador e Responsável pelos Ensaios.....	4
Figura 27 - Reparo para fazer tiro com a Espingarda Automática G3.....	5
Figura 28 - Lado de entrada do projétil. Painel 0101. Ensaio Balístico nº1.....	2
Figura 29 - Lado de saída do projétil. Painel 0101. Ensaio Balístico nº1.....	2
Figura 30 - Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0101. Ensaio Balístico nº1.....	3
Figura 31- Lado de entrada do projétil. Painel 0201. Ensaio Balístico nº2.....	5
Figura 32- Lado de saída do projétil. Painel 0201. Ensaio Balístico nº2.....	6
Figura 33- Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0201. Ensaio Balístico nº2.....	6
Figura 34 - Lado de entrada do projétil. Painel 0301. Ensaio Balístico nº3.....	8
Figura 35 - Lado de saída do projétil. Painel 0301. Ensaio Balístico nº3.....	9
Figura 36 - Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0301. Ensaio Balístico nº3.....	9
Figura 37 - Lado de entrada do projétil. Painel 0401. Ensaio Balístico nº4.....	11
Figura 38 - Lado de saída do projétil. Painel 0401. Ensaio Balístico nº4.....	12
Figura 39 - Lado de entrada do projétil. Painel 0601. Ensaio Balístico nº5.....	15
Figura 40 - Lado de saída do projétil. Painel 0601. Ensaio Balístico nº5.....	16
Figura 41 - Lado de entrada do projétil. Painel 0102. Ensaio Balístico nº6.....	19
Figura 42 - Lado de saída do projétil. Painel 0102. Ensaio Balístico nº6.....	20
Figura 43 - Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0102. Ensaio Balístico nº6.....	20
Figura 44 - Lado de entrada do projétil. Painel 0701. Ensaio Balístico nº7.....	22
Figura 45 - Lado de saída do projétil. Painel 0701. Ensaio Balístico nº7.....	23
Figura 46 - Lado de entrada do projétil. Painel 0701. Ensaio Balístico nº8.....	26
Figura 47 - Lado de saída do projétil. Painel 0701. Ensaio Balístico nº8.....	27
Figura 48 - Lado de entrada do projétil. Painel 0202. Ensaio Balístico nº8.....	27
Figura 49 - Lado de saída do projétil. Painel 0202. Ensaio Balístico nº8.....	28
Figura 50 - Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0202. Ensaio Balístico nº8.....	28
Figura 51 - Lado de entrada do projétil. Painel 0501. Ensaio Balístico nº9.....	31
Figura 52 - Lado de saída do projétil. Painel 0501. Ensaio Balístico nº9.....	32
Figura 53 - Lado de entrada do projétil. Painel 0801. Ensaio Balístico nº9.....	32
Figura 54 - Lado de saída do projétil. Painel 0801. Ensaio Balístico nº9.....	33
Figura 55 - Lado de entrada do projétil. Painel 0302. Ensaio Balístico nº10.....	35
Figura 56 - Lado de saída do projétil. Painel 0302. Ensaio Balístico nº10.....	36

Figura 57 - Lado de entrada do projétil. Painel 0901. Ensaio Balístico nº10.....	36
Figura 58 - Lado de saída do projétil. Painel 0901. Ensaio Balístico nº10 .....	37
Figura 59 - Lado de entrada do projétil. Painel 1001. Ensaio Balístico nº10.....	37
Figura 60 - Lado de saída do projétil. Painel 1001. Ensaio Balístico nº10 .....	38
Figura 61- Lado de entrada do projétil. Painel 0302. Ensaio Balístico nº11 .....	41
Figura 62- Lado de saída do projétil. Painel 0302. Ensaio Balístico nº11 .....	42
Figura 63 - Lado de entrada do projétil. Painel 0901. Ensaio Balístico nº11 .....	42
Figura 64 - Lado de saída do projétil. Painel 0901. Ensaio Balístico nº11 .....	43
Figura 65 - Lado de entrada do projétil. Painel 0402. Ensaio Balístico nº11 .....	43
Figura 66 - Lado de saída do projétil. Painel 0402. Ensaio Balístico nº11 .....	44
Figura 67 - Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0402. Ensaio Balístico nº11 ...	44
Figura 68 - Lado de entrada do projétil. Painel 1001. Ensaio Balístico nº11 .....	45
Figura 69 - Lado de saída do projétil. Painel 1001. Ensaio Balístico nº11 .....	45

## **Anexos**

Figura 70 - Classe dos Projéteis. Fonte: AEP-2920 .....	1
Figura 71 - Cartucho 9 mm M374. Fonte: FIMAT .....	1
Figura 72 - Cartucho Normal 7,62 x 51 mm M350. Fonte: FIMAT .....	2

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Níveis de proteção balística STANAG 4569 .....	14
Tabela 2 - Níveis de Proteção balística NIJ Standard-0101.06 .....	17
Tabela 3 - Plano de Ensaio Balísticos .....	33
Tabela 4 - Resultados do Ensaio Balístico nº1. ....	39
Tabela 5 - Resultados do Ensaio Balístico nº2 .....	40
Tabela 6 - Resultados do Ensaio Balístico nº3 .....	41
Tabela 7 - Resultados do Ensaio Balístico nº4 .....	42
Tabela 8 - Resultados do Ensaio Balístico nº5 .....	43
Tabela 9 - Resultados do Ensaio Balístico nº6 .....	43
Tabela 10 - Resultados do Ensaio Balístico nº7 .....	44
Tabela 11 - Resultados do Ensaio Balístico nº8 .....	45
Tabela 12 - Resultados do Ensaio Balístico nº9 .....	46
Tabela 13 - Resultados do Ensaio Balístico nº10 .....	46
Tabela 14 - Resultados do Ensaio Balístico nº11 .....	47
Tabela 15 - Resultados dos ensaios balísticos efetuados.....	48

### Apêndices

Tabela 16 - Exemplos de produtos existentes no mercado (parte 1) .....	1
Tabela 17 - Exemplos de produtos existentes no mercado (parte 2) .....	2
Tabela 18 - Exemplos de produtos existentes no mercado (parte 3) .....	3
Tabela 19 - Ensaio balístico nº1 – geral .....	1
Tabela 20 - Ensaio balístico nº1 – detalhe .....	4
Tabela 21 - Ensaio balístico nº2 – geral .....	5
Tabela 22 - Ensaio balístico nº2 – detalhe .....	7
Tabela 23 - Ensaio balístico nº3 – geral .....	8
Tabela 24 - Ensaio balístico nº3 – detalhe .....	10
Tabela 25 - Ensaio balístico nº4 – geral .....	11
Tabela 26 - Ensaio balístico nº4 – detalhe .....	13

Tabela 27 - Ensaio balístico nº5 – geral .....	15
Tabela 28 - Ensaio balístico nº5 – detalhe.....	17
Tabela 29 - Ensaio balístico nº6 – geral .....	19
Tabela 30 - Ensaio balístico nº6 – detalhe.....	21
Tabela 31 - Ensaio balístico nº7 – geral .....	22
Tabela 32 - Ensaio balístico nº7 – detalhe.....	24
Tabela 33 - Ensaio balístico nº8 – geral .....	26
Tabela 34 - Ensaio balístico nº8 – detalhe.....	29
Tabela 35 - Ensaio balístico nº9 – geral .....	31
Tabela 36 - Ensaio balístico nº9 – detalhe.....	34
Tabela 37 - Ensaio balístico nº10 – geral .....	35
Tabela 38 - Ensaio balístico nº10 – detalhe.....	39
Tabela 39 - Ensaio balístico nº11 – geral a .....	41
Tabela 40 - Ensaio balístico nº11 – detalhe.....	46

## **Lista de Apêndices e Anexos**

<b>Apêndices.....</b>	<b>1</b>
<b>Apêndice A – Fibras, Resinas e Cerâmicos .....</b>	<b>1</b>
<b>Apêndice B – Produtos existentes no mercado .....</b>	<b>1</b>
<b>Apêndice C – Procedimento Experimental na Produção dos Painéis Balísticos Compósitos .....</b>	<b>1</b>
<b>Apêndice D – Preparação das Infraestruturas e da Instalação de Ensaios.....</b>	<b>1</b>
<b>Apêndice E – Relatórios de Ensaios Balísticos.....</b>	<b>1</b>
Relatório do Ensaio Balístico nº1 .....	1
Detalhes do Ensaio Balístico nº1 .....	4
Relatório do Ensaio Balístico nº2 .....	5
Detalhes do Ensaio Balístico nº2 .....	7
Relatório do Ensaio Balístico nº3 .....	8
Detalhes do Ensaio Balístico nº3 .....	10
Relatório do Ensaio Balístico nº4 .....	11
Detalhes do Ensaio Balístico nº4 .....	13
Relatório do Ensaio Balístico nº5 .....	15
Detalhes do Ensaio Balístico nº5 .....	17
Relatório do Ensaio Balístico nº6 .....	19
Detalhes do Ensaio Balístico nº6 .....	21
Relatório do Ensaio Balístico nº7 .....	22
Detalhes do Ensaio Balístico nº7 .....	24

Relatório do Ensaio Balístico nº8 .....	26
Detalhes do Ensaio Balístico nº8 .....	29
Relatório do Ensaio Balístico nº9 .....	31
Detalhes do Ensaio Balístico nº9 .....	34
Relatório do Ensaio Balístico nº10 .....	35
Detalhes do Ensaio Balístico nº10 .....	39
Relatório do Ensaio Balístico nº11 .....	41
Detalhes do Ensaio Balístico nº11 .....	46
<b>Anexos.....</b>	<b>1</b>
<b>Anexo A – Classe dos Projéteis.....</b>	<b>1</b>
<b>Anexo B – Munições Utilizadas .....</b>	<b>1</b>

## Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

<b>1Sarg</b>	<b>Primeiro-Sargento</b>
<b>AEP</b>	<b>Allied Engineering Publication</b>
<b>AM</b>	<b>Academia Militar</b>
<b>APA</b>	<b>American Pshycological Association</b>
<b>AspOf</b>	<b>Aspirante a Oficial</b>
<b>BFS</b>	<b>Back Face Signature</b>
<b>CEDS</b>	<b>Combat Equipment for Dismounted Soldier</b>
<b>CICECO</b>	<b>Centro de Investigação em Materiais Cerâmicos e Compósitos</b>
<b>CINAMIL</b>	<b>Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar</b>
<b>CT</b>	<b>Carreira de Tiro</b>
<b>EA</b>	<b>Escola das Armas</b>
<b>EBSCO</b>	<b>Elton B. Stephens Company</b>
<b>EDA</b>	<b>European Defence Agency</b>
<b>EME</b>	<b>Estado-Maior do Exército</b>
<b>et al</b>	<b>Et Aliae (E outros)</b>
<b>g</b>	<b>Gramma</b>
<b>IESM</b>	<b>Instituto de Estudos Superiores Militares</b>
<b>INEGI</b>	<b>Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial</b>
<b>Inf</b>	<b>Infantaria</b>
<b>Kg</b>	<b>Quilograma</b>
<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Quilograma por Metro Quadrado</b>
<b>m</b>	<b>Metro</b>
<b>m/s</b>	<b>Metro por Segundo</b>
<b>Maj</b>	<b>Major</b>
<b>min</b>	<b>Minuto</b>
<b>mm</b>	<b>Milímetro</b>

<b>NATO</b>	North Atlantic Treaty Organization (OTAN, Organização do Tratado Atlântico Norte)
<b>NBQ</b>	Nuclear, <b>B</b> iológico e <b>Q</b> uímico
<b>NEP</b>	Norma de <b>E</b> xecução <b>P</b> ermanente
<b>NIJ</b>	National <b>I</b> nstitute of <b>J</b> ustice
<b>°C</b>	<b>G</b> rau <b>C</b> elsius
<b>OGME</b>	<b>O</b> ficinas <b>G</b> erais de <b>M</b> aterial de <b>E</b> ngenharia
<b>p.</b>	<b>P</b> ágina
<b>QC</b>	<b>Q</b> uestão <b>C</b> entral
<b>QD</b>	<b>Q</b> uestão <b>D</b> erivada
<b>RC</b>	<b>R</b> egulamento de <b>C</b> ampanha
<b>ReqCapBal</b>	<b>R</b> equisito do <b>C</b> apacete <b>B</b> alístico
<b>ReqColBal</b>	<b>R</b> equisito do <b>C</b> olete <b>B</b> alístico
<b>ReqEnsBal</b>	<b>R</b> equisito do <b>E</b> nsaio <b>B</b> alístico
<b>STANAG</b>	<b>S</b> tandardisation <b>A</b> greement
<b>TCor</b>	<b>T</b> enente- <b>C</b> oronel
<b>TIA</b>	<b>T</b> rabalho de <b>I</b> nvestigação <b>A</b> plicada

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1. Enquadramento da investigação

No âmbito da estrutura curricular do mestrado em Ciências Militares ministrado na Academia Militar (AM), surge o presente Trabalho de Investigação Aplicada (TIA), submetido ao tema “Proteção Balística do Soldado de Infantaria”, que culmina um percurso de cinco anos de formação na AM. Marca assim o fim de uma etapa e o início de outra, como oficial dos Quadros Permanentes do Exército Português.

Este trabalho enquadra-se numa cooperação tecnológica e científica do Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL), do Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI) e do Centro de Investigação em Materiais Cerâmicos e Compósitos (CICECO).

Este capítulo apresenta o enquadramento da investigação realizada, com o intuito de uma melhor perceção do assunto. De seguida, é feita a justificação do tema, e após esta, é apresentada a questão central, bem como as questões derivadas e suas hipóteses de investigação, que procuram responder às anteriores. De seguida são apresentados os objetivos, geral e específicos. Depois destes, é apresentada a metodologia de investigação, e por fim exposta a estrutura do trabalho.

A missão da Infantaria é o estreitamento do contacto com o inimigo e a sua destruição, combinando fogo e movimento. (Exército Português, 1987). Desta forma, o soldado de Infantaria será direcionado para diferentes cenários, terrenos e condições, utilizando o fogo e movimento, ou seja, necessitando de grande mobilidade. (CEDS, 2010). Assim, para manter a mobilidade e lhe ser possível executar o fogo e movimento, é necessário que o peso que ele transporte seja reduzido tanto quanto possível. Sabendo que uma das capacidades inerentes ao soldado de Infantaria é a proteção e sobrevivência, na área da proteção, que diz respeito à sua proteção balística, o peso reduzido deve ser um requisito fundamental a ter em conta.

Ao longo dos últimos anos tem vindo a observar-se uma grande evolução nos elementos de proteção balística, pois têm surgido novos materiais e fibras, que possibilitam aliar a proteção balística às necessidades e bem-estar do soldado de Infantaria. Desenvolveu-se assim a aplicação dos materiais compósitos na proteção balística, pois estes possuem uma elevada resistência em relação ao seu peso.

O uso dos materiais compósitos prende-se também com o facto de haver uma capacidade de produção em massa a um custo acessível, deste modo, o interesse por estes materiais está ligado a dois fatores muito importantes, a performance e a economia. (Júnior, 2007).

Com o presente trabalho pretende-se, assim, analisar os requisitos dos elementos de proteção balística e do soldado de Infantaria, dando origem aos requisitos a que os painéis de materiais compósitos devem responder para a sua aplicação na proteção balística do soldado de Infantaria. Para tal, foram executados ensaios balísticos, em situação de tiro real e em condições não controladas a painéis balísticos compósitos e à junção destes com painéis de alumínio. De referir que estes ensaios têm um carácter inicial e exploratório dentro de uma perspetiva de fornecer ensinamentos teóricos e experimentais para trabalhos futuros.

## **1.2. Importância da Investigação e Justificação do Tema**

“Qualquer investigação tem por ponto de partida uma situação considerada como problemática, isto é, que causa um mau estar, uma irritação, uma inquietação, e que, por consequência exige uma explicação ou pelo menos uma melhor compreensão do fenómeno observado. Um problema de investigação, é uma situação que necessita de uma solução, de um melhoramento ou de uma modificação (Adebo, 1974), ou ainda, é um desvio entre a situação atual e tal como deveria ser (Diers, 1979),” (Fortin, 2009, p. 48).

A definição do problema de investigação consiste em formular de forma explícita e compreensível, a dificuldade com que nos deparámos e à qual pretendemos dar resposta. Tendo como pressupostos os critérios dos recursos e da familiaridade para com o tema (Sousa e Baptista, 2011).

Uma vez que o tema de uma investigação deve ser atual e pertinente, considero a escolha do presente tema, “A Proteção Balística do Soldado de Infantaria”, de elevada pertinência, pois a utilização de sistemas de proteção balística é de extrema importância

nos cenários de guerra modernos, bem como nos cenários de guerrilha urbana. Compreender e analisar o nível de proteção balística face a diferentes ameaças (projéteis e estilhaços) é uma necessidade para garantir a segurança das forças militares.

O trabalho a desenvolver no presente TIA pretende contribuir para o conhecimento nesta área, através da criação de um referencial com características, especificações e requisitos técnicos para sistemas ligeiros de proteção balística a serem utilizados nos cenários atuais em que o Exército Português participa. O relatório que se segue pretende assim contribuir para maximizar os níveis de proteção e desempenho do Soldado de Infantaria e, ao mesmo tempo, formalizar o conhecimento pela construção de um referencial para análise e avaliação de sistemas ligeiros de proteção balística.

### **1.3. Questão Central**

Uma questão de investigação é “uma interrogação explícita relativa a um domínio que se deve explorar com vista a obter novas informações. É um enunciado interrogativo e não equívoco que precisa os conceitos-chave, especifica a natureza da população que se quer estudar e sugere uma investigação empírica” (Fortin, 2009, p. 51). Desta forma, a Questão Central deve apresentar as qualidades de clareza (ser precisa, concisa e inequívoca), de exequibilidade (ser realista) e de pertinência (ter intenção de compreender os fenómenos estudados) (IESM, 2007). Com isto, a Questão Central (QC) é a forma do investigador delinear a sua linha de pensamento através de uma questão.

Com base nestes pressupostos, o presente TIA procura responder à seguinte Questão Central: “Quais as especificações e requisitos técnicos para os elementos de proteção balística a serem utilizados pelo Soldado de Infantaria?”

### **1.4. Questões Derivadas**

As questões derivadas são “enunciados interrogativos precisos, escritos no presente, e que incluem uma ou duas variáveis assim como a população estudada. (...) Decorrem diretamente do objetivo e especificam os aspetos a estudar” (Fortin, 2009, p. 101). Ou seja, surgem da necessidade de aprofundar a questão central.

O aprofundar da questão central desta investigação, deu origem às seguintes Questões Derivadas (QD):

**QD1:** Quais os equipamentos utilizados pelo soldado de Infantaria no âmbito da proteção balística?

**QD2:**Quais os materiais passíveis de serem utilizados em elementos de proteção balística ligeira?

**QD3:** Quais as principais características que os elementos de proteção balística devem apresentar?

**QD4:** Como se caracteriza o comportamento mecânico dos painéis balísticos em estudo face às ameaças?

### 1.5. Hipóteses de investigação

Uma hipótese de investigação é “um enunciado formal das relações previstas entre duas ou mais variáveis. (...) Combina o problema e o objetivo numa explicação ou predição clara dos resultados esperados” (Fortin, 2009, p. 102). São suposições admissíveis que tentam dar uma solução à questão central e às questões derivadas, ajudando a compreender o tema. Estas hipóteses não são necessariamente verdadeiras, pois são formuladas para que no final da investigação sejam dadas as respostas corretas. (Sousa e Baptista, 2011).

Com base nas questões derivadas, surgem as seguintes hipóteses:

**Hipótese 1:** Para a sua proteção balística, o Soldado de Infantaria dispõe dos Coletes Balísticos e Capacetes Balísticos.

**Hipótese 2:** Os materiais utilizados nos elementos de proteção balística são: fibras, das quais se destaca o Kevlar®; materiais cerâmicos e metálicos para conferir maior proteção.

**Hipótese 3:** Os elementos de proteção balística devem ser: o mais leves possíveis, serem fáceis de colocar e retirar, e por fim, não devem constituir constrangimentos às tarefas de combate do Soldado de Infantaria.

**Hipótese 4:** Para as ameaças escolhidas os ensaios aos painéis compósitos e os ensaios aos painéis compósitos em conjunto com os painéis de alumínio não vou ter sucesso, ou seja, vai haver sempre penetração total.

## 1.6. Objetivo Geral e Objetivos Específicos do Estudo

No que diz respeito ao objetivo do estudo, este “indica o porquê da investigação. É um enunciado declarativo que precisa a orientação da investigação segundo o nível dos conhecimentos estabelecidos no domínio em questão. Especifica as variáveis-chave, a população alvo e o contexto de estudo” (Fortin, 2009, p. 100).

Por outras palavras, “O objetivo do estudo indica a principal intenção da investigação, ou seja, corresponde ao produto final que a investigação quer atingir. (...) Citando assim o que se quer alcançar com a investigação a longo prazo. Tanto os objetivos gerais como os específicos permitem o acesso gradual e progressivo aos resultados finais” (Sousa e Baptista, 2011, p. 26).

O Objetivo Geral do presente TIA visa desenvolver uma base de conhecimento militar, no âmbito dos materiais e dos elementos de proteção balística ligeiros, no que concerne às suas especificações, características e requisitos técnicos, com vista a maximizar os níveis de proteção e desempenho do soldado de Infantaria em contexto operacional.

Com os objetivos específicos, que vão ao encontro do objetivo geral da presente investigação pretende-se: Fazer uma revisão das tecnologias de proteção balística do Soldado de Infantaria; Identificar quais os materiais passíveis de serem utilizados em equipamentos de proteção balística ligeira; Identificar quais os equipamentos de proteção balística utilizados pelo soldado de Infantaria; Desenvolver uma metodologia para ensaios balísticos em condições de tiro real; e, finalmente executar ensaios balísticos a painéis compósitos e painéis compósitos em conjunto com painéis de alumínio.

## 1.8. Metodologia de Investigação

O método científico é utilizado nas ciências com a função de estudar um fenómeno de forma a ser o mais racional possível, para evitar enganos, procurando sempre evidências e provas para as afirmações, ideias e conclusões. (Freixo, 2012). Deste modo, o presente TIA foi realizado com o Método hipotético-dedutivo, no qual se assume conceitos anteriormente provados e verificados, que através do levantamento de questões estruturantes, orientadoras e de hipóteses semi-orientadas se procura chegar a factos científicos que pretendemos correlacionar e demonstrar. (Quivy & Campenhoudt, 2008).

Para a redação deste trabalho foi seguido o Anexo F da Norma de Execução Permanente (NEP) nº 520 de 29 de abril de 2013, da Academia Militar, sendo que, nos aspectos em que esta apresenta omissões, foi seguido a norma da *American Psychological Association* (APA) na 6ª edição.

No sentido de enquadrar este trabalho num contexto de investigação científica recorreu-se essencialmente ao livro “O Processo de Investigação da Concepção à Realização”, de Fortin (2009). Assim sendo, as técnicas, procedimentos e meios de aquisição de informação provêm da análise documental de artigos, livros, teses de doutoramento, dissertações de mestrado e documentos do Exército em geral.

Como trabalho de campo, foi utilizado o Método de Observação Direta, estando presente nos ensaios balísticos aos painéis de proteção balística.

## **1.9. Estrutura do Trabalho**

O presente TIA é constituído por seis Capítulos. No presente Capítulo, o de Introdução, constam: uma apresentação do trabalho; a definição dos objetivos do mesmo; as perguntas e respetivas hipóteses de investigação; e a metodologia para a realização do mesmo. O Capítulo dois, Revisão da Literatura, é o “estado da arte” no que diz respeito à investigação realizada, ou seja, é feito um enquadramento ao estudo. No Capítulo três, descreve-se a metodologia e procedimentos utilizados para a elaboração do presente TIA. O Capítulo quatro diz respeito aos Ensaio Balísticos, começando pelo procedimento experimental na produção dos painéis balísticos compósitos, de seguida é apresentado o plano de ensaios balísticos. Depois surge os requisitos dos painéis balísticos, e por fim, todas as medidas de segurança adotadas, preparação das infraestruturas e da instalação de ensaios. No Capítulo cinco é feita uma apresentação e análise dos resultados obtidos dos ensaios anteriormente referidos. Por último, surge o Capítulo seis, onde são elencadas as conclusões, e respostas à questão central e questões derivadas, apresentando também recomendações para investigações futuras.

Por fim, é apresentada a bibliografia utilizada para a elaboração deste trabalho, e apêndices e anexos que sustentam o mesmo.

## **Capítulo 2**

### **Revisão da literatura**

Ao longo deste capítulo apresentam-se os conceitos fundamentais que enquadram e orientam o presente trabalho. Estando este TIA submetido ao tema “ A Proteção Balística do Soldado de Infantaria” é necessário perceber o que é a Balística, e o presente capítulo inicia com a explicação dos conceitos. De seguida, aborda-se os Elementos Balísticos, isto é, as munições de armas ligeiras e os Elementos de Proteção Balística, dos quais foram abordados os coletes balísticos e os capacetes balísticos. Foi também necessário fazer o levantamento dos requisitos do Soldado de Infantaria, bem como dos elementos de proteção balística. Por fim, apresenta-se a forma como estes mesmos elementos são corretamente avaliados.

#### **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 momento do disparo (que parte do repouso), até ao momento que atinge o alvo. Consequentemente, consideramos três ramos distintos da balística: a Balística interna, a Balística externa e a Balística de efeitos.

##### **2.1.1. Balística interna**

A Balística interna estuda exclusivamente o movimento do projétil no interior do cano (das armas de fogo), sob a ação dos gases provenientes da deflagração da carga

propulsora, ou seja, estuda os fenômenos que ocorrem desde o momento em que a munição se encontra em repouso, até ao momento em que o projétil abandona a boca do cano, isto é, todo o percurso pela alma do cano<sup>1</sup>. Assim, a Balística interna está associada à arma e às características do seu cano.

### 2.1.2. Balística externa

A Balística externa “é a ciência que se ocupa do estudo do movimento dos projéteis desde que saem da boca das armas até que encontram o objetivo” (Álvares, 1964, p. 7).

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 alvo.

Como anteriormente referido, as duas principais forças que atuam sobre os projéteis durante o seu deslocamento na atmosfera são: 1) A força da gravidade ou atração terrestre; 2) A resistência do ar aos seus movimentos. Por sua vez, a força com maior relevância é a resistência do ar, tendo esta três componentes: a força de sucção provocada pelo vácuo na base do projétil; uma componente de compressão sobre a ponta do projétil, devido a uma compressão do ar naquela zona; e uma componente de fricção do ar sobre as superfícies e protuberâncias laterais do projétil. (Pinto, 2009).

---

<sup>1</sup> Alma do cano – parte interior do cano de uma arma de projeção de fogo, de forma cilíndrica e diâmetro constante, no qual estão abertas as estrias (Telo & Álvares, 2004).

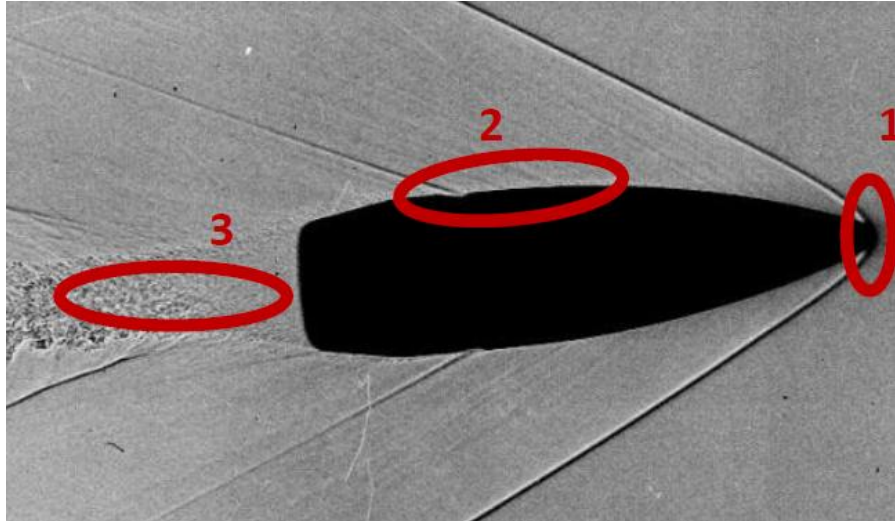


Figura 1- Fotografia de um projétil com a representação das perturbações envolventes: 1) força de compressão sobre a ponta do projétil; 2) componente de fricção do ar sobre as superfícies e laterais do projétil; 3) força de sucção na retaguarda do projétil. Fonte: (Pinto, 2009).

### 2.1.3. Balística de efeitos

A Balística de efeitos é o ramo da Balística que estuda os efeitos que os projéteis provocam quando embatem no alvo, ou seja, até o projétil retomar de novo o repouso. 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 deter-se no interior do alvo; ou, atravessar completamente o alvo e continuar o seu percurso. Quando o projétil não penetra o alvo, poderá esmagar-se ou fazer ricochete, ou seja, resvalar e seguir uma nova trajetória.

## 2.2. Elementos Balísticos

Os Elementos Balísticos são as munições de armas ligeiras e os Elementos de Proteção Balística, dos quais foram abordados os coletes balísticos e os capacetes balísticos. A interação destes elementos constitui o objeto de estudo do presente TIA.

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 (Pinto, 2009).

### 2.2.1. Munições de armas ligeiras

As munições de armas ligeiras compõem-se em quatro partes (Figura 2):

- O projétil (1);
- Invólucro, caixa ou estojo (2);
- Escorva, cápsula ou fulminante (3);
- Carga propulsora (4).

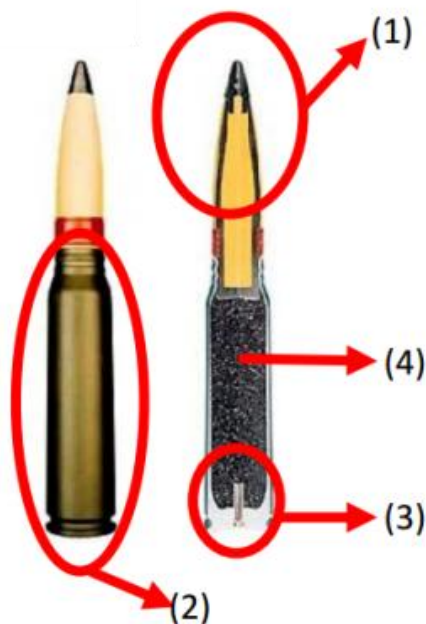


Figura 2 - Munições de armas ligeiras. Fonte: (Pinto, 2009).

O projétil (1), “também denominado «bala» em armas de projeção de fogo, é o elemento da munição destinado a produzir os efeitos desejados sobre o alvo” (Telo & Álvares, 2004, p. 245).

De modo geral, o metal do projétil deve ter as seguintes características: possuir uma densidade elevada para facilmente adquirir grande energia; ser infusível, para que com o

atrito na alma do cano não se funda neste; e ser pouco deformável para possuir poder vulnerante<sup>2</sup> ou derrubante<sup>3</sup>.

Os projéteis utilizados atualmente têm um formato bi-ogival, com “uma parte anterior em ogiva muito afiada, a posterior de forma tronco-cônica ou ogival e a parte média cilíndrica para dar uma boa fixação ao invólucro e impedir a fuga de gases” (Guedes e Macieira, 1999, p. 144), sendo compostos por um núcleo e por uma camisa.

O núcleo normalmente feito de chumbo endurecido com estanho ou antimônio, deve ser introduzido por compressão dentro da camisa para se obter uma maior homogeneidade.

A camisa normalmente é feita de cobre, aço ou *mailechort* (liga de cobre e níquel), e esta deve ser resistente para não se rasgar, e simultaneamente pouco dura para não danificar as estrias e a alma do cano, ou seja, deve entrar nas estrias apenas o suficiente para assegurar o movimento de rotação e evitar a fuga de gases entre a alma e o projétil. (Santos, 2010).

O invólucro (2) é feito a partir de um metal, que deve obedecer às seguintes características: ser maleável para que se adapte às paredes da câmara<sup>4</sup>; ser resistente para que não rebente aquando a ação dos gases provados pela explosão da pólvora; ser elástico para voltar a ter as suas dimensões iniciais de forma a facilitar a extração; e por fim, ser inoxidável para facilitar a sua conservação.

O invólucro é a parte posterior da munição, em que no seu interior está a carga propulsora, no seu extremo anterior está o projétil e no seu extremo posterior a escorva. Atualmente distinguem-se quatro partes do 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-cônica 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. (Telo & Álvares, 2004).

A Carga Propulsora (4) é “o nome que se dá à porção de substância explosiva que se introduz no invólucro para dar movimento ao projétil” (Guedes e Macieira, 1999, p.

---

<sup>2</sup> Poder vulnerante: Energia mínima que um projétil deve possuir para colocar o homem fora de combate.

<sup>3</sup> Poder derrubante: Energia mínima que um projétil deve possuir para eliminar imediatamente um homem. Com estas armas de defesa pretende-se não uma grande força de penetração, mas sim, a produção de lesões que eliminem imediatamente um homem.

<sup>4</sup> Câmara: parte cilíndrica do cano destinada a alojar o invólucro durante a combustão da carga. (Telo & Álvares, 2004, p. 243).

149), ou seja, é “uma substância explosiva constituída por pólvora química em grão.” (Telo & Álvares, 2004, p. 234). As substâncias explosivas podem ser gasosas, líquidas ou sólidas, no caso das munições das armas ligeiras são usadas as sólidas.

Anteriormente utilizava-se apenas a pólvora negra<sup>5</sup>, no entanto quando se sentiu a necessidade de aumentar a velocidade inicial e diminuir o calibre do projétil, foi necessário recorrer a outro tipo de substância explosiva, uma vez que esta, produzia pressões demasiado elevadas e um recuo igualmente elevado. Atualmente são usadas vários tipos de pólvora química de combustão progressiva que produzem uma geração contínua de gases até que o projétil saia à boca do cano.

As pólvoras utilizadas como Carga Propulsora devem satisfazer um conjunto de condições, das quais se destacam: produzir pressões regulares de modo a que permita ter velocidades regulares nos projéteis quando a carga propulsora deflagra; possuir um poder corrosivo fraco; serem seguras quer no seu transporte, quer no seu emprego; ser de fácil conservação; ter o menor custo possível e ser de fácil obtenção e fabrico quer em tempo de guerra, quer em tempo de paz. (Santos, 2010).

A Escorva (3) é o “artifício destinado a produzir a inflamação da carga e consta de um pequeno vaso metálico chamado cápsula que contendo uma substancia explosiva que detona pelo choque, dá origem à inflamação da carga.” (Guedes e Macieira, 1999, p.147). Por outras palavras, a Escorva “consta de um pequeno vaso metálico denominado cápsula. A Cápsula contém uma substância explosiva que detona pelo choque do percutor”. (Telo & Álvares, 2004, p. 244).

A Cápsula tem de ter a seguinte característica, ser suficientemente dúctil ao mesmo tempo que deve ter alguma resistência, ou seja, deve ser esmagada quando sofre a ação do percutor mas não deve ser perfurada pelo mesmo quando este percute a Cápsula. Sendo assim, aquando a ação do percutor a Escorva deforma-se e dá origem à detonação que através dos canais de inflamação existentes na base do invólucro atingem a Carga Propulsora e dá-se assim a inflamação da mesma.

---

<sup>5</sup> Composta por enxofre, carvão e salitre.

### 2.2.2. Elementos de Proteção Balística

Como anteriormente referido, 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 possibilitaram o progresso dos elementos de proteção balística.

Constata-se que o nível de proteção está fortemente relacionado com o tipo de ameaça balística a enfrentar, existindo sempre um balanço entre a capacidade de proteção e a usabilidade do equipamento (Justo, 1996).

Consequentemente surgiram novos materiais e fibras<sup>6</sup> que possibilitam aliar a proteção balística com as necessidades e bem-estar do seu utilizador.

Estas considerações levaram ao desenvolvimento de novos tipos de proteção realizados com materiais compósitos (poliméricos e cerâmicos) (Cheeseman and Bogetti, 2003; Bürger *et al.*, 2012; Tasdemirci *et al.*, 2012; Nayak *et al.*, 2013) devido ao facto destes possuírem elevada resistência e/ou rigidez em relação ao seu peso, e uma boa tolerância aos danos (Nayak *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014).

As fibras mais utilizadas para proteção balística são a aramida e o polietileno de muito alto peso molecular que podem ser combinadas com uma grande diversidade de resinas (Bürger *et al.*, 2012; Nilakantan and Nutt, 2014; Zhang *et al.*, 2014). Até à data as proteções realizadas apenas por materiais compósitos poliméricos demonstraram ser ineficientes contra projéteis perfurantes. Para este tipo de projéteis é necessário adicionar à proteção uma placa cerâmica, sendo que os materiais mais aplicados são à base de alumina, carboneto de silício e de boro. O elemento cerâmico absorve a força do projétil e quebra a sua ponta/núcleo enquanto o elemento compósito polimérico mantém a cerâmica em compressão e captura os fragmentos (Mel, 2010; Bürger *et al.*, 2012; Tasdemirci *et al.*, 2012; Nayak *et al.*, 2013).

Contudo, antes de abordar os elementos de proteção balística e as suas composições, é necessário ter a noção de que existem normas e guias orientadores que regulam os níveis de proteção balística dos mesmos, definindo a correspondente capacidade de resistência balística. (Kneubuehl, 2003; Pinto, 2009).

Desta forma, no que concerne à capacidade de resistência balística, seguir-se-á a *Standardization Agreement (STANAG) 4569 Protection Levels for Occupants of Logistic*

---

<sup>6</sup> Ver Apêndice A – Fibras, Resinas e Cerâmicos

*and Light Armoured Vehicles*. O STANAG 4569 indica os procedimentos e testes balísticos aplicados a vários sistemas-alvo e utiliza nos seus ensaios ameaças de maior calibre, sendo que a maior ameaça é correspondente ao nível VI. Para o presente trabalho, no entanto, considera-se a maior ameaça correspondente ao nível I. Na tabela 1 encontram-se sintetizados os principais parâmetros envolvidos nos ensaios estabelecidos pelo presente STANAG.

**Tabela 1 - Níveis de proteção balística STANAG 4569**  
**Fonte: STANAG 4569, 2011**

<b>Nível</b>	<b>Ameaça</b>	<b>Projétil</b>	<b>Distância (m)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b> <i>[Tolerância de <math>\pm 20</math>m/s]</i>
<b>I</b>	Espingarda	7.62 x 51 NATO Ball (Ball M80) 5.56 x 45 NATO SS109 5.56 x 45 M193	30	833 (M80) 900 (SS109) 937 (M193)
<b>II</b>	Espingarda	7.62 x 39 API BZ	30	695
<b>III</b>	Espingarda	7.62 x 51 AP (WC core) 7.62 x 54R B32 API (Dragunov)	30	930 (51 AP) 854 (54R)
<b>IV</b>	Metralhadora pesada	14.5 x 114AP / B32	200	911
<b>V</b>	Canhão automático	25mm APDS-TM- 791 ou TLB 073	500	1258
<b>VI</b>	Canhão automático	30 mm : APFSDS ou AP	500	1430

### 2.2.2.1. Colete Balístico

Os coletes balísticos (ver Figura 3) destinam-se a oferecer proteção do tronco do combatente de impactos provenientes do exterior com elevada energia cinética. Contudo os coletes balísticos poderão ainda apresentar o protetor de pescoço (ou gola), o protetor pélvico e os protetores de ombros. No que se refere aos impactos provenientes do exterior, estes são provenientes de diferentes tipos de ameaças, dos quais se destacam os projéteis e os estilhaços. Os segundos, podem ser provenientes de granadas de mão, Engenhos Explosivos Improvisados, de minas antipessoais ou de fragmentos de granadas de morteiros. (Pinto, 2009; CEDS, 2010).

Como referido anteriormente, os elementos de proteção balística seguem normas que regulam os níveis de proteção balística. No caso dos coletes balísticos, estes são desenvolvidos segundo normas e especificações que asseguram a performance e a resistência balística desejadas. Os coletes balísticos seguem a norma do *National Institute of Justice* (NIJ) denominada de *Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06*, uma vez que esta norma é a mais utilizada pelos produtores<sup>7</sup> de coletes balísticos. Neste *NIJ Standard* estão categorizados as ameaças balísticas conforme o tipo do projétil, peso, e velocidade. (ver Tabela 2).

Além da proteção e segurança, outra característica que se deve destacar é o conforto e a maior mobilidade possível ao seu utilizador. Como material base dos coletes são usadas fibras balísticas como a aramida (exemplo de aramida é o *Kevlar*®<sup>8</sup>) ou polietileno de muito alto peso molecular (exemplo: *Dynnema*®<sup>9</sup>), que proporcionam um alto grau de resistência (Nível I - STANAG 4569; Nível III - NIJ), além de flexibilidade e conforto. O nível de proteção normalmente pode ser acrescido (Nível III - STANAG 4569; Nível IV - NIJ) através da adição de placas cerâmicas e metálicas (aço) nas aberturas existentes nos coletes (ver Figura 4). (Pinto, 2009).

---

<sup>7</sup> Ver Apêndice B – Produtos existentes no mercado

<sup>8</sup> Marca registada da DuPont para uma fibra de aramida.

<sup>9</sup> Marca registada para uma fibra de alta capacidade produzida a partir de polietileno, sendo produzida pela *DSM High Performance Fibers*.



**Figura 3 - Exemplos de coletes balísticos utilizados pelo Exército Português**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 4 - Exemplos de placas rígidas de proteção balística**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Como referido anteriormente, no que concerne aos coletes de proteção balística, os níveis de proteção mais utilizados são segundo o NIJ, na Tabela 2 estão representados os níveis de proteção balística.

**Tabela 2 - Níveis de Proteção balística NIJ Standard-0101.06**  
**Fonte: Adaptado do NIJ Standard-0101.06**

<b>Nível</b>	<b>Projétil</b>	<b>Massa do Projétil (g)</b>	<b>Velocidade (m/s) [Tolerância de <math>\pm 9.1m/s</math>]</b>
<b>IIA</b>	9 mm FMJ RN	8.0	355
<b>IIA</b>	.40 S&W FMJ	11.7	325
<b>II</b>	9 mm FMJ RN	8.0	379
<b>II</b>	.357 Magnum JSP	10.2	408
<b>IIIA</b>	.357 SIG FMJ FN	8.1	430
<b>IIIA</b>	.44 Magnum SJHP	15.6	408
<b>III</b>	7.62 mm NATO FMJ	9.6	847
<b>IV</b>	.30 Caliber M2 AP	10.8	878

*AP - Armour Piercing; FMJ - Full Metal Jacket; FN – Flat Nose; JSP – Jacketed Soft Point; RN – Round Nose; SIG – Sig Sauer; SJHP – Semi Jacketed Hollow Point; S&W – Smith & Wesson;*

#### **2.2.2.2. Capacete Balístico**

Os capacetes balísticos estão destinados a proteger o combatente contra lesões causadas por projéteis balísticos provenientes de armas de fogo, bem como de estilhaços, até ao nível de proteção balística III (NIJ). O material presente neste tipo de proteção balística, pode ser aço, tecidos de *nylon*, metais e cerâmicos. No entanto, atualmente, o mais usual é este ser produzido em aramida pré-impregnada com resinas e enformado a quente (Pinto, 2009).

## 2.3. Requisitos

### 2.3.1. Soldado de Infantaria

O papel primário da Infantaria é o combate próximo, que poderá ocorrer em qualquer tipo de missão, terreno ou ambiente. Caracterizado pela violência extrema e por choque psicológico. O combate próximo força cada aspeto das características físicas e psicológicas do ser humano. Como tal os Soldados de Infantaria são especialmente selecionados e treinados (FM 3 – 21.8, 2007).

“A missão fundamental da Infantaria é o estreitamento do contacto com o inimigo e a destruição ou captura deste, combinando, para o efeito, os fogos, o movimento e a ação de choque. A Infantaria conquista, mantém ou controla o terreno pela ocupação física e/ou pelo emprego dos fogos. A sua capacidade para se mover em formações pequenas e pouco referenciáveis, em todos os tipos de terreno, permite-lhe tirar partido dos eixos de aproximação cobertos e dos mais pequenos acidentes do terreno para reduzir posições fortes, para se infiltrar na posição inimiga ou para executar patrulhamentos de longo raio de ação. As suas características tornam-na particularmente adequada para combater qualquer tipo de inimigo“ (Exército Português, 1987, Cap. 4 – Sec. VII).

Neste contexto, o soldado de Infantaria atuando em diferentes cenários, terrenos e condições, quando numa situação de combate abandona a plataforma que lhe garante mobilidade tática terrestre, marítima ou aérea, utiliza sempre o fogo e movimento para alcançar uma situação vantajosa sobre o seu adversário. O Soldado de Infantaria é, pois, cada vez mais, um sistema materializado por tudo o que utiliza, transporta e consome durante uma operação. Sendo parte de uma subunidade que contém outros Soldados (quatro a nove homens constituindo uma Esquadra ou Secção, respetivamente) e onde, num contexto coletivo, terá que operar para atingir a sobrevivência, aumentar a sua sustentabilidade, e o mais importante aumentar a sua eficiência para atingir os objetivos do escalão superior em que se integra a sua unidade (normalmente designada por Pelotão). (CEDS, 2010).

Deste modo, os sistemas que o Soldado de Infantaria transporta e que fazem dele e da sua subunidade um sistema de armas, terão de ter os seguintes requisitos (CEDS, 2010):

- **Modularidade**, onde os interfaces que transporta permitam e aceitem a integração de outros módulos como são o caso de *power sources* e *sighting devices*;
- **Adaptabilidade**, de acordo com a sua missão, independentemente da duração da operação, tipologia da ameaça e ambiente físico, os sistemas que transporta tenham a capacidade para adicionar módulos, afetando ao mínimo as configurações de base e ergonomia do todo, disponibilizando assim novas capacidades para outra tipologia de tarefas e missões;
- **Incrementabilidade**, para que a adição de novos sistemas decorrente dos desenvolvimentos tecnológicos se traduza na substituição de módulos e não exija a permuta do todo, por incapacidade de adaptação;
- **Incorruptibilidade**, para que a falência tecnológica de um módulo primário de um sistema não afete o funcionamento de outros módulos acoplados;
- **Interoperabilidade**, para que os sistemas e seus módulos sejam compatíveis no seio de uma força combinada (mais que uma país) e/ou conjunta (mais que uma componente (marinha, exército e força aérea));
- **Simplicidade**, para que o sistema seja acessível ao utilizador e as operações de manuseamento sejam reduzidas ao mínimo.

De acordo com a *European Defence Agency* (EDA) para o *Combat Equipment for Dismounted Soldier* (CEDS) as capacidades encontram-se divididas pelas seguintes áreas (CEDS, 2010):

- *C4I* (Comando, Controlo, Computadores, Comunicações e Informações);
- *Effective Engagement* (Combate efetivo);
- *Deployment and Mobility* (Projeção e Mobilidade);
- *Protection and Survivability* (Proteção e Sobrevivência);
- *Sustainability and Logistics* (Sustentabilidade e Apoio Logístico).

### 2.3.2. Requisitos dos Elementos Balísticos

Nesta secção são abordados os requisitos dos Elementos de proteção balística, ou seja, dos coletes balísticos e dos capacetes balísticos. Estes mesmos requisitos estão

explanados nos STANAG 2911<sup>10</sup> e STANAG 2902<sup>11</sup>, bem como no CEDS Programme da EDA.

### 2.3.2.1. Requisitos dos coletes balísticos

No que diz respeito aos requisitos dos coletes balísticos (ReqColBal), estes estão explanados no STANAG 2911. O STANAG referido, tem como objetivo definir os requisitos gerais dos coletes de proteção balística dos países pertencentes à *North Atlantic Treaty Organization* (NATO). Estes requisitos são divididos em três diferentes áreas, sendo elas: os requisitos de proteção balística que os coletes devem obedecer; os requisitos humanos a que os coletes devem obedecer; e por fim, pelos requisitos de confiabilidade e de manutenção. Desta forma, os requisitos de proteção balística que os coletes devem obedecer são os seguintes (STANAG 2911):

- **ReqColBal1** - 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 do colete, originando a fragmentação do mesmo;
- **ReqColBal2** - Prever a adição da proteção de pescoço e de virilha, ou bolsos para colocar placas para oferecer maior proteção;
- **ReqColBal3** - Promover, através do *design* e conforto, a aceitação e a confiança do Soldado em ambiente de combate;
- **ReqColBal4** - Maximizar a área de cobertura do tronco do soldado, sem constituir impedimentos para o mesmo poder realizar as suas tarefas em combate e utilizar as armas coletivas da subunidade onde está inserido;
- **ReqColBal5** - Os coletes deverão ter a sobreposição das aberturas laterais e frontais aquando fechadas para providenciar proteção.

Como fatores humanos o presente STANAG refere:

- **ReqColBal6** - Ter o mínimo de peso, respeitando os critérios de proteção já descritos;
- **ReqColBal7** - O peso deve estar distribuído pela maior área possível;

<sup>10</sup> STANAG 2911 – *Design Criteria for Fragmentation Protective Body Armour.*

<sup>11</sup> STANAG 2902 – *Criteria for a NATO Combat Helmet.*

- **ReqColBal8** - Ser fornecido em diferentes tamanhos para se adaptar a um maior número de combatentes;
- **ReqColBal9** - Ser concebido para ser compatível com capacete, conseguir disparar e operar armas coletivas, equipamento de transmissões e equipamentos de transporte de carga;
- **ReqColBal10** - Causar o mínimo de interferência na realização das tarefas de combate;
- **ReqColBal11** - Ser fácil de colocar e retirar;
- **ReqColBal12** - Ser compatível com equipamento de proteção Nuclear, Biológica e Química (NBQ);
- **ReqColBal13** - Provocar o mínimo de calor possível ao Soldado que coloque o colete.

Como referido anteriormente, o presente STANAG também prevê os requisitos que os coletes de proteção balística deverão ter no que concerne a sua confiabilidade e facilidade de manutenção, sendo estes:

- **ReqColBal14** - Ser resistente à podridão e fungos;
- **ReqColBal15** - Ser resistente à degradação provocada pelo uso permanente ou temporário em água;
- **ReqColBal16** - Ser facilmente descontaminado de precipitação radioativa, de agentes biológicos e químicos. Isto deve ser consistente com a retenção do maior nível de proteção balística possível;
- **ReqColBal17** - Ser de fácil manutenção e reparação;
- **ReqColBal18** - Ter a capacidade de ser transportado, usado e armazenado em qualquer tipo de clima, em todo o mundo e manter as suas propriedades de proteção balística;
- **ReqColBal19** - Ter uma vida útil estimada de pelo menos um ano de uso em combate e de pelo menos dez anos em armazenamento, se os equipamentos até agora conhecidos assim o permitirem;
- **ReqColBal20** - Ser resistente ao fogo;
- **ReqColBal21** - Não emitir barulho excessivo durante o seu uso normal;
- **ReqColBal22** - Proporcionar proteção contra radiação térmica de alta intensidade.

De acordo com a EDA no *CEDS Programme*, abordando a área da Proteção e Sobrevivência do soldado de Infantaria, anteriormente referida. O *CEDS Programme*

também aborda os requisitos de proteção balística que os coletes devem possuir, dos quais se destacam (CEDS, 2010):

- **ReqColBal23** - O peso do colete de proteção balística será distribuído de forma a não prejudicar o equilíbrio do soldado;
- **ReqColBal24** - O colete de proteção balística deverá oferecer uma proteção gradual baseada nos critérios de vulnerabilidade do corpo, ou seja, baseado na importância e vulnerabilidade das partes do corpo a serem protegidas, como coração, pulmões, veias e artérias principais;
- **ReqColBal25** - O colete de proteção balística deve ser modular (e oferecer diferentes níveis de proteção dependendo da configuração desejada) de forma a aumentar ou diminuir consoante a ameaça e mobilidade requerida na missão;
- **ReqColBal26** - Pescoço, tórax, costas, lados (do tronco), pélvis e cóccix devem ser protegidos;
- **ReqColBal27** - O colete balístico deve ser fácil de colocar e de retirar sem ajuda, pois o Soldado deve de ser capaz de o retirar utilizando apenas um braço. Deve também de permitir uma libertação rápida;
- **ReqColBal28** - O colete de proteção balística deve permitir um acesso rápido ao corpo do Soldado por razões médicas e tratamentos médicos urgentes;
- **ReqColBal29** - Os coletes de proteção balística devem providenciar proteção de nível IIIA (NIJ) no caso de o peso do colete seja inferior a  $4 \text{ Kg/m}^2$ , ou uma proteção de nível III (NIJ) no caso do seu peso ser inferior a  $5 \text{ Kg/m}^2$ ;
- **ReqColBal30** - Deve-se prever a adição de placas rígidas, quer frontais, quer traseiras as coletes, afim de proteger os órgãos vitais. Desta forma os coletes devem atingir a proteção nível IV (NIJ), com um peso máximo de  $25 \text{ Kg/m}^2$ ;
- **ReqColBal31** - As placas rígidas devem ser facilmente colocadas e removíveis, de modo a que o Soldado consiga colocar e retirar a placa frontal sem ajuda.

### 2.3.2.2. Requisitos dos capacetes balísticos

No caso dos capacetes balísticos, os seus requisitos (ReqCapBal) estão explanados no STANAG 2902. Esta publicação NATO, tem como objetivo definir os requisitos gerais dos capacetes balísticos utilizados pelos países pertencentes à Aliança. Estes requisitos são

divididos em três diferentes áreas, sendo elas: os requisitos de proteção balística que os capacetes balísticos devem obedecer; os requisitos humanos a que os capacetes devem obedecer; e por fim, pelos requisitos de confiabilidade e de manutenção. Desta forma, os requisitos de proteção balística que os capacetes balísticos devem obedecer são os seguintes:

- **ReqCapBal1** - 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 do capacete balístico, originando a fragmentação do mesmo;
- **ReqCapBal2** - O capacete balístico deve cobrir a maior área da cabeça possível não interferindo com equipamento individual, incluindo meios de comunicações, utilização de armas coletivas, e com o colete balístico. Também não deve interferir com as tarefas inerentes ao combatente;

Como fatores humanos o presente STANAG refere:

- **ReqCapBal3** - Ter o mínimo de peso, respeitando os critérios de proteção já descritos;
- **ReqCapBal4** - O centro de gravidade do capacete deverá estar o mais próximo possível do centro de gravidade da cabeça do Soldado para obter o máximo de estabilidade;
- **ReqCapBal5** - Ser fornecido em diferentes tamanhos para se adaptar a um maior número de combatentes;
- **ReqCapBal6** - Não interferir com a visão do combatente;
- **ReqCapBal7** - Não interferir com a audição do combatente nem com a proteção de ouvidos do combatente;
- **ReqCapBal8** - Causar o mínimo de interferência na realização das tarefas de combate;
- **ReqCapBal9** - Permitir todos os movimentos naturais da cabeça;
- **ReqCapBal10** - O interior do capacete deve ser confortável e facilmente ajustável, e também deve ser substituível. Deve permitir a ventilação correta da cabeça e o capacete balístico deve variar consoante diferentes situações climáticas;
- **ReqCapBal11** - Promover, através do seu *design*, o conforto, a confiança e aceitação do soldado em ambiente de combate;
- **ReqCapBal12** - O capacete balístico deve amortecer a sua ressonância.

Como referido anteriormente, o presente STANAG também prevê os requisitos que os capacetes balísticos deverão ter no que concerne a sua confiabilidade e facilidade de manutenção, sendo estes:

- **ReqCapBal13** - Ser resistente à podridão e fungos;
- **ReqCapBal14** - Ser compatível com o equipamento NBQ. Não deve prejudicar os procedimentos de defesa NBQ, e deve também ser facilmente descontaminável dos agentes químicos e biológicos;
- **ReqCapBal15** - Ser de fácil manutenção e reparação;
- **ReqCapBal16** - Ter uma vida útil estimada de pelo menos um ano de uso em combate e de pelo menos dez anos em armazenamento, sem se degradarem ou perderem as suas capacidades mecânicas;
- **ReqCapBal17** - Os materiais utilizados nos capacetes balísticos deverão ser resistentes ao fogo;
- **ReqCapBal18** - Os materiais utilizados nos capacetes balísticos não deverão produzir ruídos quando são utilizados;
- **ReqCapBal19** - O revestimento exterior do capacete deve proteger de radiação térmica de alta intensidade.

O CEDS *Programme* também aborda os requisitos que os capacetes balísticos devem possuir, dos quais se destacam (CEDS, 2010):

- **ReqCapBal20** - Os capacetes balísticos devem ser desenhados e manufaturados em diferentes tamanhos para melhor se adaptarem ao máximo de combatentes possíveis;
- **ReqCapBal21** - Devem ser projetados de forma a manterem a temperatura da cabeça abaixo dos 40°C;
- **ReqCapBal22** - Os capacetes não devem de causar restrições ao uso de óculos, material de transmissões e outro equipamento individual;

#### 2.4. Avaliação dos Elementos de Proteção Balística

A avaliação dos Elementos de Proteção Balística são executadas de acordo com as seguintes normas: *Allied Engineering Publication* (AEP) - 2920; STANAG 2920; NIJ *Standard-0101.06*.

A AEP – 2920 descreve os procedimentos para a classificação das proteções balísticas ligeiras de ameaças como as munições e fragmentos. Nesta AEP estão explanados todos os procedimentos sobre testes balísticos e todos os procedimentos de avaliação dos mesmos, com vista a avaliar o nível de proteção dos elementos de proteção balística. Para tal, a presente AEP define as classes dos projéteis<sup>12</sup> e dos fragmentos.

Para a realização de testes balísticos deverá seguir-se os seguintes limites balísticos:

- $V_{50}$ , a classificação do limite balístico  $V_{50}$  de um material é a velocidade para a qual a probabilidade de penetração dos projéteis escolhidos é menor que 50%;
- $V_{proof}$ , a classificação do limite balístico  $V_{proof}$  de um material é a velocidade para a qual a probabilidade de uma penetração parcial de um determinado projétil é superior a 90%.

Os procedimentos de ensaios balísticos, critérios e métodos de designação descritos na AEP referida aplicam-se a amostras de materiais e a elementos de proteção balística, como *hard armour* (proteção rígida), *soft armour* (proteção flexível), capacetes de proteção balística e a combinações entre *hard armour* e *soft armour*. Os procedimentos de ensaios balísticos podem também ser utilizados para o desenvolvimento, qualificação e aquisição de novos equipamentos e materiais (AEP 2920, 2014; Justo 1996).

A primeira fase de um teste balístico é a definição do objetivo do mesmo, ou seja, assegurar que os procedimentos estão a ser corretamente aplicados no elemento balístico que se pretende testar. Dessa forma, é definido a categoria, a classe (definir o projétil utilizado), e se o objetivo é validar a  $V_{50}$  ou a  $V_{proof}$ . No caso da avaliação de *hard armour* deve-se também definir a largura da zona de impacto, bem como o número de impactos por painel (se é um impacto ou vários impactos). Pois para o impacto ser considerado válido, deverá ainda ocorrer a uma distância superior a 30mm de qualquer apoio ou ponto de fixação, bordo, impacto prévio, deformação ou perturbação do material (ver Figura 5).

---

<sup>12</sup> Ver Anexo A – Classe dos Projéteis

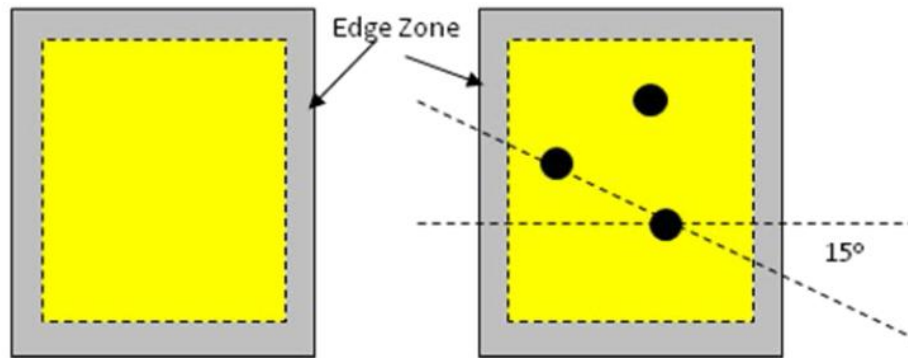


Figura 5 - Zona de impactos e padrão de impactos.  
Fonte: AEP 2920, 2014.

Para efeitos de classificação os alvos são divididos nas seguintes categorias:

- *Soft armour*;
- *Hard armour* (apenas o painel);
- *Hard armour* (em conjunto com *soft armour*);
- Capacetes balísticos;
- Óculos de proteção;
- Proteção da face.

#### 2.4.1. Instalação de ensaio para os elementos de proteção balística

A disposição da instalação de ensaios para os elementos de proteção balística deverá ser semelhante à Figura 6. Deverá ser constituído por: uma arma (ou canhão balístico); sistema de deteção e medição de velocidade de projéteis; sistema de fixação dos painéis a ensaiar; placa testemunha; e pelo projétil.

A placa testemunha ou o material *Back Face Signature* (BFS)<sup>13</sup> quando o ensaio executado é a *hard armour* (sozinho, ou seja, apenas o painel), deverá estar de forma a que a distância entre o painel e o material BFS representem a sua utilização real.

<sup>13</sup> Atualmente o material BFS de referência é a Roma Plastilina nº1.

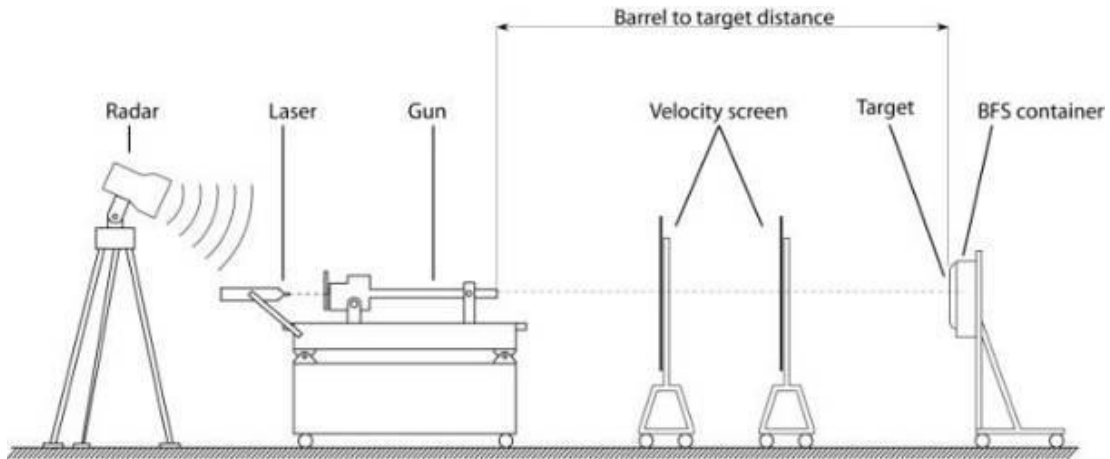


Figura 6 – Exemplo de instalação de ensaios para elementos de proteção balística.  
Fonte: AEP 2920, 2014.

#### 2.4.2. Descrição e inspeção do alvo

Antes de qualquer ensaio balístico, toda a instalação de ensaios deve ser inspecionada, bem como todos os painéis devem ser inspecionados visualmente para verificar se não houve danos durante o transporte. Caso se observem danos, o ensaio a esse mesmo painel não deverá ser executado, devendo ser registado como danificado.

Todos os alvos deverão apresentar a seguinte informação:

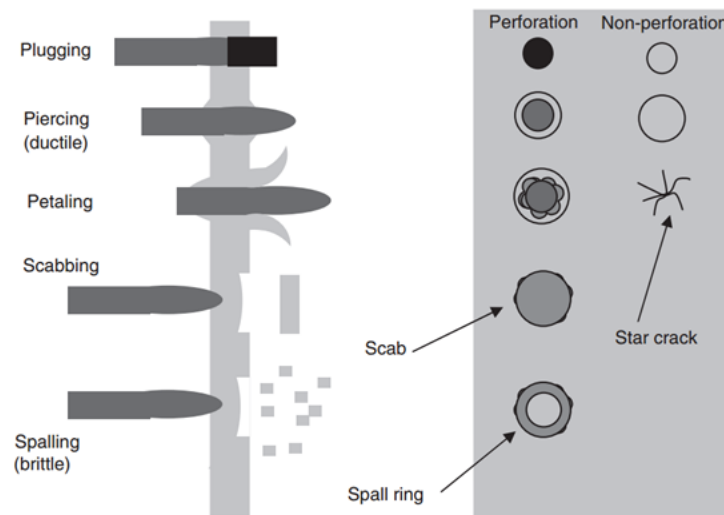
- O número de série;
- A categoria do alvo;
- Tipo de munição a utilizar;
- Identificação da superfície de entrada e saída do alvo.

Durante os ensaios balísticos, todos os impactos devem de ser individualmente marcados em cada alvo (AEP 2920, 2014).

#### 2.4.3. Modos de falha

Os diversos modos de falha dos elementos de proteção balística estão representados na Figura 7. A fragmentação (*spalling*) é muito comum e é o resultado da reflexão da onda da face traseira 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 tensões 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 projétil é muito próximo do limite balístico. A fratura frágil (*brittle fracture*) ocorre geralmente em painéis com baixa densidade. As fendas radiais (*radial cracking*) são comuns nos materiais cerâmicos onde a resistência à tração é menor do que a resistência à compressão (Carlucci and Jacobson, 2010).



**Figura 7 - Modos de falha das estruturas de painéis de proteção balística.  
Fonte: Carlucci and Jacobson, 2010.**

## Capítulo 3

### Trabalho de campo e metodologia de investigação

#### 3.1. Tipo de Estudo

De acordo com Fortin (2009, p.15) uma investigação pode ser descrita como “um processo que permite resolver problemas ligados ao conhecimento dos fenómenos do mundo real no qual nós vivemos”. O autor afirma ainda que uma investigação se divide em três fases, sendo que na primeira é desenvolvida uma questão central para definir uma linha geral para investigação, na segunda são determinados os métodos a utilizar e por fim é feita uma análise e apresentação dos dados obtidos. Para a escolha do método a utilizar temos de ter em conta determinados fatores, tais como: a natureza do objeto que se vai pesquisar; os recursos materiais disponíveis; e por fim, o nível de abrangência do estudo. (Gil, 1999), e por isso mesmo “o investigador deve saber selecionar a metodologia mais adequada para a investigação em causa” (Sousa e Baptista, 2011, p.10).

O método é “composto por um conjunto de regras básicas que visam obter novo conhecimento científico. Este conhecimento pode ser novo ou resultar do desenvolvimento, expansão, correção de um conhecimento já existente (...) o método consiste em interpretar factos empíricos com base na observação sistemática, de cariz direto (do próprio) ou indireto (através de terceiros), geralmente provenientes da pesquisa de campo”. (Sarmiento, 2013, p. 4). Para a escolha do método tem de se ter em conta a estratégia que se pretende utilizar na realização do trabalho, pois o método vai condicionar as técnicas de recolha de dados, que devem ser as adequadas aos objetivos pretendidos (Sousa e Baptista, 2011).

Sendo o método um conjunto de normas e procedimentos, “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”. (Sarmiento, 2013, p. 7). Deste modo, para elaboração do presente TIA, foram utilizados seguintes métodos: o método de observação direta, que “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 relação causa-efeito, que explica uma determinada situação”. (Sarmiento, 2013, p.7).

Existem três tipos de métodos de investigação quanto à abordagem, e são eles o indutivo, dedutivo, hipotético-dedutivo. (Sarmiento, 2013). Para a realização do presente trabalho foi utilizado o método hipotético-dedutivo, que “baseia-se na formulação de hipóteses ou conjeturas, que melhor relacionam e explicam os fenómenos” (Sarmiento, 2013, p. 9), ou seja consiste na elaboração de hipóteses para dar resposta às QD existentes, em que este método é “logicamente válido pois fundamenta-se na reunião de observações, factos e ideias, que validam as hipóteses.” (Sarmiento, 2013, p.9). Estas hipóteses são submetidas a discussão para verificar quais são válidas.

### **3.2. Técnicas, Procedimentos e Meios Utilizados**

De acordo com Sousa e Batista (2011, p.53) “as técnicas são definidas como procedimentos operatórios rigorosos, bem definidos, transmissíveis, suscetíveis de serem novamente aplicados nas mesmas condições, adaptados ao tipo de problemas e aos fenómenos em causa.” Sendo a recolha de dados uma parte fundamental para a investigação, o investigador tem de ter em conta a escolhas das técnicas, pois estas dependem do objetivo que foi proposto cumprir. Nesta investigação, os principais meios de recolha de informação utilizados foram a análise documental e os ensaios balísticos.

### **3.3. Local e Data da Pesquisa e Recolha de Dados**

A recolha de dados foi efetuada essencialmente no Repositório Comum e na plataforma EBSCO através da *internet* e na biblioteca da Academia Militar. A informação foi fundamentalmente recolhida de publicações da NATO. Foram igualmente utilizadas revistas, teses e dissertações, para atribuir um maior rigor científico ao trabalho. A pesquisa e recolha de dados tiveram início no mês de fevereiro de 2015 e terminou no mês de julho de 2015. Os ensaios balísticos que foram uma parte fundamental para o presente trabalho foram realizados no dia 21 de maio de 2015, na Escola das Armas, em Mafra.

## Capítulo 4

### Ensaio Balísticos

Atualmente 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 (materiais compósitos). 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 (Silva et al., 2014).

No âmbito desta investigação, procedeu-se à produção de painéis balísticos compósitos que combinam os seguintes materiais: fibra de Kevlar®; fibra de vidro; fibra de carbono; resina de poliuretano e endurecedor.

#### 4.1. Procedimento Experimental na Produção dos Painéis Balísticos Compósito

A produção<sup>14</sup> dos painéis balísticos compósitos contemplou quatro fases: a preparação; a moldação manual; a cura; e por fim, o acabamento.

Em primeiro lugar, foi feito um levantamento do material necessário para a produção dos painéis balísticos. Assim, os materiais utilizados para a produção dos painéis foram: uma bomba de vácuo, um saco de vácuo, mangueiras de vácuo, fita adesiva, fita de papel, tesoura para cortar Kevlar®, e por fim, uma prensa de pratos quente.

O primeiro passo da produção dos painéis balísticos foi cortar as três fibras que os compõem, ou seja, foram cortadas, a fibra de Kevlar®, a fibra de carbono e a fibra de vidro.

Após o corte dos materiais, preparou-se a chapa onde foi preparado o painel. Aplicou-se cera desmoldante em toda a chapa, que foi deixada a secar durante 30 minutos, e limpa com um pano seco após a secagem. Depois voltou a aplicar-se mais uma camada de cera desmoldante.

---

<sup>14</sup> Ver Apêndice C – Procedimento Experimental na Produção dos Painéis Balísticos Compósitos

Com a chapa base já preparada, preparou-se o saco de vácuo com fita adesiva e procedeu-se à montagem do circuito de vácuo com as mangueiras de vácuo.

De seguida misturou-se 500g de Resina de Poliuretano com 250g de Endurecedor, este tem como objetivo de iniciar a cura da resina. A preparação da resina é a última fase da preparação, pois esta tem um *pot life* de 30 a 50 minutos.

Após efetuado o corte dos materiais e de ter sido feita a mistura da resina com o endurecedor procedeu-se à disposição das camadas dos materiais, pincelando entre cada uma das camadas com a mistura anteriormente referida.

Primeiramente efetuou-se a disposição de quatro camadas de fibra de Carbono, após estas, de seguida, dispôs-se 24 camadas de fibra de Kevlar®, colocando entre cada uma das camadas de Kevlar®, uma camada de fibra de vidro, com o objetivo de providenciar uma melhor impregnação da resina e aumentar a sua ductilidade. No final de todas as camadas de fibra de Kevlar® e fibra de vidro, colocou-se um *pealply* com a função de absorver a resina, de modo a esta não aderir ao plástico do saco de vácuo.

De seguida, vedou-se o painel balístico com o saco de vácuo, introduzindo as mangueiras de vácuo no saco e procedeu-se ao vácuo do painel com o auxílio de um peso, que estava em cima do painel com o objetivo de aumentar a compressão do mesmo. Também se pode usar uma prensa para fazer uma melhor compactação do painel. O processo de vácuo demorou cerca de três horas até a resina curar. Depois de uma pós cura a 80°C foi retirado o saco de vácuo e fez-se a separação da placa metálica do painel balístico.

## 4.2. Plano de Ensaio Balísticos

Antes da realização dos Ensaio Balísticos foi elaborado um plano para estes mesmos ensaios, prevendo o uso de dez painéis balísticos compósitos e de quatro painéis de alumínio. Para a realização deste plano partiu-se sempre do pressuposto que haveria sempre penetração total, ou seja, a situação extrema de insucesso de proteção balística. No entanto, neste plano não se previu falhas ao nível do atirador, ou seja, considerou-se que o atirador conseguiria sempre efetuar um disparo que desse origem a um impacto válido.

Contudo, sendo um plano, à partida esperava-se que não fosse seguido do início ao fim dos ensaios balísticos, pois o objetivo seria sempre maximizar o número de ensaios balísticos para poder analisar mais resultados obtidos. Na Tabela 3, está presente o Plano de ensaios Balísticos.

**Tabela 3 - Plano de Ensaio Balísticos**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Nº do Ensaio Balístico	Tipo de painel	Nº de painéis	Projéteis	Número de Impactos	Distância do cano ao painel
1	Compósito	1	9 mm	1	10 m
2	Compósito	1	9 mm	3	10 m
3	Compósito	2	9 mm	1	10 m
4	Compósito	2	9 mm	3	10 m
5	Alumínio	1	9 mm	1	10 m
6	Compósito e Alumínio	2	9 mm	1	10 m
7	Compósito e Alumínio	2	7,62 mm	1	50 m
8	Alumínio, Compósito, Alumínio e Compósito	4	7,62 mm	1	100 m

### 4.3. Requisitos dos Ensaio Balísticos

Com base na bibliografia estudada e com o levantamento dos Requisitos do Soldado de Infantaria e dos Requisitos dos Coletes Balísticos houve a necessidade de encontrar os Requisitos dos Ensaio Balísticos (ReqEnsBal).

Deste modo, começando pelo Soldado de Infantaria, tendo em conta que o seu papel primário é o combate próximo, em qualquer tipo de missão ou terreno, utilizando o fogo e movimento. Um fator muito importante a ter em conta é sempre o peso que o soldado tem de transportar. Assim surge alguns dos requisitos dos Coletes Balísticos.

Assim sendo, dos requisitos dos Coletes Balísticos levantados, destacam-se os seguintes: **ReqColBal1** - 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 do colete, originando a fragmentação do mesmo; **ReqColBal4** - Maximizar a área de cobertura do tronco do soldado, sem constituir impedimentos para o mesmo poder realizar as suas tarefas em combate e utilizar as armas coletivas da subunidade onde está inserido; **ReqColBal6** - Ter o mínimo de peso, respeitando os critérios de proteção já descritos; **ReqColBal10** - Causar o mínimo de interferência na realização das tarefas de combate; **ReqColBal29** - Os coletes de proteção balística devem providenciar um proteção de nível IIIA (NIJ) no caso de o peso do colete seja inferior a  $4 \text{ Kg/m}^2$ , ou uma proteção de nível III (NIJ) no caso do seu peso ser inferior a  $5 \text{ Kg/m}^2$ ; **ReqColBal30** - Deve-se prever a adição de placas rígidas, quer frontais, quer traseiras as coletes, a fim de proteger os órgãos vitais. Desta forma os coletes devem atingir a proteção nível IV (NIJ), com um peso máximo de  $25 \text{ Kg/m}^2$ ; e **ReqColBal31** - As placas rígidas devem ser facilmente colocadas e removíveis, de modo a que o soldado consiga colocar e retirar a placa frontal sem ajuda.

Conjugando estes mesmos requisitos obtém-se os Requisitos dos Ensaio Balísticos. O ReqEnsBal1 dá origem ao **ReqEnsBal1**, Providenciar proteção balística contra o tipo de ameaça utilizado.

O RecColBal10 e RecColBal31 dão origem ao **RecEnsBal2**, Os painéis serem de fácil colocação e remoção, causando o mínimo de constrangimento ao combatente nas suas tarefas de combate.

O RecColBal4, RecColBal6 e RecColBal29, dão origem ao **RecEnsBal3**, Providenciar proteção de nível II (NIJ), maximizando a área de cobertura do tronco do Soldado, com o peso inferior a  $4 \text{ Kg/m}^2$ . O facto de se ter escolhido o nível de proteção II (NIJ) em vez do nível de proteção IIIA (NIJ), deve-se à ameaça ser um projétil de 9mm, com um peso de +/- 8g e a sua velocidade inicial ser de +/- 384 m/s, ou seja, estas características dizem respeito ao nível de proteção II (NIJ).

O RecColBal4, RecColBal6 e RecColBal30 dão origem ao **RecEnsBal4**, Providenciar proteção de nível III (NIJ), maximizando a área de cobertura do tronco do soldado, prevendo a adição de placas rígidas, a fim de proteger os órgãos vitais, com um peso inferior a  $25 \text{ Kg/m}^2$ . O facto de se ter escolhido o nível de proteção III (NIJ) em vez do nível de proteção IV (NIJ), deve-se à ameaça escolhida ser um projétil de 7,62mm, com um peso de 9,45g e a sua velocidade inicial ser de 837m/s, o que quer dizer, que estas características dizem respeito ao nível de proteção III (NIJ).

Devido aos Ensaio Balísticos aos Painéis Compósitos serem de carácter exploratório, com o intuito de saber quais os materiais passíveis de serem utilizados na proteção balística utilizou-se o peso máximo do nível de proteção acima.

Na Figura 8, está apresentado o Diagrama da evolução dos ReqColBal para os RecEnsBal.

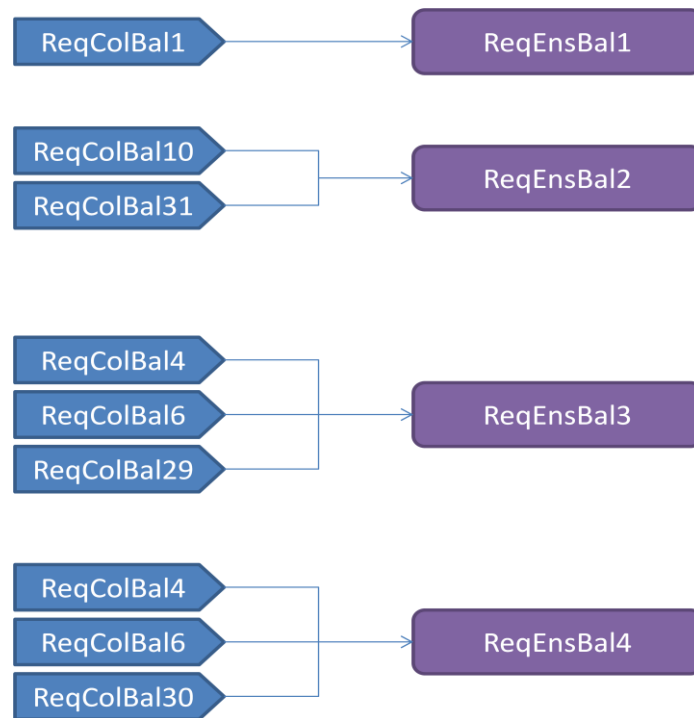


Figura 8 - Requisitos dos Ensaio Balísticos  
Fonte: Elaboração Própria

#### 4.4. Medidas de segurança na execução dos ensaios balísticos

Antes de iniciar qualquer sessão de tiro é necessário ter presente as normas de segurança. A segurança é um “conjunto de medidas e/ou procedimentos destinados a evitar quaisquer acidentes decorrentes do manuseamento das armas de fogo utilizadas na instrução de tiro real.” (Exército Português, 2014, p 4-6).

Deste modo, a segurança em infraestruturas de tiro classifica-se em dois tipos: a Segurança interior e a Segurança exterior. A primeira, é o conjunto de medidas destinadas à execução de fogos reais sem perigo para o pessoal e animais, instalações e bens de

qualquer outra natureza no interior da infraestrutura de tiro. A Segurança exterior é o conjunto de medidas destinadas à execução de fogos reais sem perigo para o pessoal e animais, instalações e bens de qualquer outra natureza no exterior da infraestrutura de tiro. (Exército Português, 2014, p 4-1).

Primeiramente determinou-se a zona perigosa, isto é, o “espaço tridimensional a partir da posição de tiro que pode ser atingido pelos projéteis ou fragmentos provenientes dessa arma” (Exército Português, 2014, p 4-3). Além da determinação da zona perigosa, determinou-se também uma zona de interdição, isto é, a Carreira de Tiro (CT) estava interdita, exceto aos envolvidos nos ensaios.

Antes de iniciar os ensaios balísticos, teve-se em conta que antes da execução de tiro em Carreira de Tiro são necessárias as seguintes medidas de segurança: a presença do Oficial ou Sargento de Tiro; a CT deve estar totalmente desimpedida; a bandeira da CT deve estar içada; acionar um sinal sonoro antes de iniciar o tiro; e haver uma equipa de saúde no local.

A sessão de tiro dos ensaios balísticos iniciou-se a 10 metros do alvo, de seguida a 50 metros, e por fim a 100 metros do alvo. Durante a execução de todos os ensaios balísticos apenas o atirador e o responsável pelos ensaios balísticos se encontrava junto do abrigo de proteção<sup>15</sup>. A zona de interdição manteve-se ao longo de toda a sessão de tiro, no entanto a zona perigosa variou, inicialmente foi estabelecida até a linha dos 50 metros, ou seja, 40 metros atrás da linha da arma. Quando o tiro foi executado a 50 metros e a 100 metros, os restantes participantes dos ensaios estavam atrás da linha dos 100 metros.

Outras medidas de segurança tomadas foram: a disponibilização de supressores de ruídos para todos os participantes nos ensaios de proteção balística; o atirador e o responsável pela condução dos ensaios balísticos estavam com colete de proteção balística vestido e capacete de proteção balística, bem como colocaram óculos de proteção, uma vez que estiveram sempre perto da arma.

#### **4.5. Preparação das infraestruturas e da instalação de ensaios**

Os ensaios balísticos dos compósitos foram realizados na Carreira de Tiro nº1 da Escola das Armas (EA), localizada em Mafra. Em primeiro lugar, verificou-se a necessidade de inspeção e preparação de todos os materiais que foram utilizados nos

---

<sup>15</sup> Ver Apêndice D – Preparação das Infraestruturas e da Instalação de Ensaio.

ensaio balísticos. Ou seja, as armas foram verificadas e preparadas; as munições; o reparo para fazer tiro com a Espingarda Automática G3; o abrigo de proteção; o porta-alvos; e os painéis balísticos.

De seguida procedeu-se à montagem da instalação de ensaios balísticos<sup>16</sup> para os primeiros ensaios, ou seja, a distância entre a arma e o porta-alvos de 10 metros. Colocou-se o porta-alvos junto ao espaldão da CT e o abrigo de proteção a 10 metros. Este porta-alvos é uma estrutura que permite fixar uma moldura rígida onde o painel balístico é fixo ou fixar diretamente um painel balístico com a dimensão de 0,5x0,5 metros. Assim sendo, devido às dimensões dos painéis balísticos a serem testados foi necessário construir um adaptador metálico e uma moldura para que fosse possível fixar os painéis a serem testados. Estes foram produzidos nas Oficinas Gerais de Material de Engenharia (OGME), a partir de uma porta de aço de uma viatura inoperacional. O adaptador metálico foi produzido com a dimensão de 0,5x0,5 metros, sendo que no centro do adaptador foi feito um corte quadrangular e quatro furos para permitir a fixação dos painéis balísticos a serem testados ao adaptador e à moldura. A fixação adaptador – painel balístico – moldura foi feita através de quatro parafusos.

Todas as munições e painéis balísticos, quer compósitos, quer os de alumínio estavam junto do abrigo de proteção, onde se encontrava o responsável pelos testes balísticos.

Na linha dos 50 metros preparou-se também o reparo para colocar a Espingarda Automática G3.

Após estes procedimentos, foi preparada a CT, mais especificamente foram aplicadas as medidas de segurança anteriormente referidas.

Com todos os procedimentos de preparação das infraestruturas e da instalação de ensaios executados para os ensaios realizados a 10 metros, iniciaram-se os ensaios balísticos. Quando se passou para a linha de 50 metros, houve a necessidade de transportar o abrigo de proteção para junto do reparo da arma, sendo executado o mesmo procedimento para a realização do tiro a 100 metros.

---

<sup>16</sup> Ver Apêndice D – Preparação das Infraestruturas e da Instalação de Ensaio.

## Capítulo 5

### Apresentação, análise e discussão dos resultados

Após a recolha de informação e a aquisição de conhecimentos, através da bibliografia estudada e da condução e observação dos ensaios balísticos, que serviram de base para a elaboração do presente TIA, irão ser apresentados neste capítulo os resultados obtidos nos Ensaios Balísticos aos Painéis Compósitos e aos Painéis de Alumínio.

Os resultados provêm de factos observados ao longo da investigação que foram analisados e interpretados de forma a fornecer uma ligação lógica com o problema de investigação. (Fortin, 2009).

#### 5.1. Generalidades

O nível de proteção balística refere-se ao nível de ameaça balística a que um equipamento de proteção consegue resistir e estão definidos e normalização (Kneubuehl, 2003; Carlucci and Jacobson, 2010).

Deste modo, os ensaios balísticos têm como objetivo determinar as características de resistência a ameaças balísticas de um certo painel ou equipamento. Os testes balísticos podem ser realizados de acordo com duas orientações (Kneubuehl, 2003):

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

Para os ensaios balísticos executados determinou-se a ameaça, que primeiramente foi a Pistola Walther P38 9 mm m/961 utilizando um projétil de 9 mm, com um peso de +/- 8 g e a sua velocidade inicial ser de +/- 384 m/s<sup>17</sup>. De seguida, a ameaça foi a Espingarda

---

<sup>17</sup> Ver Anexo B – Munições Utilizadas: Figura 71.

Automática G3 utilizando um projétil de 7,62 mm, com um peso de 9,45 g e a sua velocidade inicial ser de 837 m/s<sup>18</sup>.

Como referido anteriormente, antes de executar um ensaio balístico, é necessário definir a sua categoria, a classe<sup>19</sup> e o objetivo. Os ensaios balísticos executados foram a painéis compósitos e a painéis de alumínio, desse modo são considerados *hard armour*, assim é também necessário definir a zona de impacto e o número de impactos por painel.

É de salientar que os ensaios balísticos realizados no presente trabalho têm um caráter inicial e exploratório com o objetivo de fornecer uma base teórica e experimental para trabalhos futuros.

## 5.2. Ensaio Balístico Nº1

O Ensaio Balístico nº1<sup>20</sup> foi realizado a um painel balístico compósito (painel 0101), o lado de entrada do projétil era Fibra de Kevlar® e o lado de saída do projétil era Fibra de Carbono, este painel apresentava um peso de 16,13 Kg/m<sup>2</sup>. A classe do projétil para este ensaio era A1 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Pistola Walther P38, esta estava a 10m do painel. Para este ensaio foi realizado um impacto, este não foi válido devido ao facto de não estar a 30 mm do ponto de fixação. No entanto a penetração foi completa, pois o projétil atravessou completamente o alvo. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados. Na Tabela 4 estão apresentados os resultados deste mesmo ensaio.

Tabela 4 - Resultados do Ensaio Balístico nº1. Fonte: Elaboração Própria

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
1	1 Painel Compósito	X	S	X	X	Perfuração completa

<sup>18</sup> Ver Anexo B – Munições Utilizadas: Figura 72.

<sup>19</sup> Ver Anexo A – Classe dos Projéteis.

<sup>20</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico nº1.

### 5.3. Ensaio Balístico N°2

O Ensaio Balístico n°2<sup>21</sup> foi realizado a um painel balístico compósito (painel 0201), o lado de entrada do projétil era Fibra de Kevlar® e o lado de saída do projétil era Fibra de Carbono, este painel apresentava um peso de 16,63 Kg/m<sup>2</sup>. A classe do projétil para este ensaio era A1 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Pistola Walther P38, esta estava a 10 m do painel. Para este ensaio foi realizado um impacto em que a penetração foi completa, pois o projétil atravessou completamente o alvo. O objetivo deste ensaio era verificar os ReqEnsBal levantados, bem como confirmar se apenas um painel compósito não era suficiente para deter o projétil, já que o ensaio anterior foi não válido devido à proximidade do impacto à moldura de fixação. Na Tabela 5 estão apresentados os resultados deste mesmo ensaio.

**Tabela 5 - Resultados do Ensaio Balístico n°2**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
2	1 Painel Compósito	X	S	X	X	Perfuração completa

### 5.4. Ensaio Balístico N°3

À semelhança dos Ensaio Balísticos n°1 e n°2, o Ensaio balístico n°3<sup>22</sup> foi também utilizado apenas um painel balístico compósito (painel 0301), o lado de entrada do projétil era Fibra de Kevlar® e o lado de saída do projétil era Fibra de Carbono, este painel apresentava um peso de 16,00 Kg/m<sup>2</sup>. A classe do projétil para este ensaio era A1 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Pistola Walther P38, esta estava a 10 m do painel. Para este ensaio foram realizados três impactos em que a penetração foi completa nos três, pois

<sup>21</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico n°2

<sup>22</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico n°3

os projéteis atravessaram completamente o alvo. No entanto, o terceiro impacto não é válido pois encontra-se a 16 mm do impacto nº1 e era necessário estar pelo menos a 30 mm. O objetivo deste ensaio era verificar as deformações causados pelos três impactos no lado de saída dos projéteis, bem como responder aos ReqEnsBal. No que diz respeito à deformação, é possível verificar nas figuras que houve uma perda de material muito superior do que nos ensaios anteriores, no entanto seria ideal se os impactos tivessem sido num padrão de triângulo, como referido anteriormente quando se dá o caso de haver mais do que um impacto por painel, e terem respeitado a distância de 30mm uns dos outros. Na Tabela 6 estão apresentados os resultados deste mesmo ensaio.

**Tabela 6 - Resultados do Ensaio Balístico nº3**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
3	1 Painel Compósito	X	S	X	X	Perfuração completa

### 5.5. Ensaio Balístico Nº4

O Ensaio balístico nº4<sup>23</sup> foi realizado a dois painéis compósitos (painel 0401 e painel 0501), o lado de entrada do projétil era Fibra de Kevlar® e o lado de saída do projétil era Fibra de Carbono, estes painéis apresentavam um peso total de 31,25 Kg/m<sup>2</sup>. A classe do projétil para este ensaio era A1 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Pistola Walther P38, esta estava a 10 m do painel. Para este ensaio foi realizado um impacto em que o primeiro painel (painel 0401) sofreu uma perfuração parcial, apresentando apenas pequenas rachaduras no lado de saída do projétil. O segundo painel (painel 0501) não foi perfurado, nem apresentou danos em nenhum dos lados. O objetivo deste ensaio era responder aos ReqEnsBal. Na Tabela 7 estão representados os resultados deste mesmo ensaio.

<sup>23</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico nº4

**Tabela 7 - Resultados do Ensaio Balístico nº4**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
4	2 Painéis Compósitos	S	S	X	X	Perfuração parcial do painel 0401

### 5.6. Ensaio Balístico N°5

O Ensaio balístico nº5<sup>24</sup> foi realizado a dois painéis compósitos (painel 0601 e painel 0501), o lado de entrada do projétil era Fibra de Kevlar® e o lado de saída do projétil era Fibra de Carbono, estes painéis apresentavam um peso total de 33,25 Kg/m<sup>2</sup>. A classe do projétil para este ensaio era A1 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Pistola Walther P38, esta estava a 10 m do painel. Para este ensaio foram realizados primeiramente três impactos, após estes, verificou-se que um dos impactos colidiu com a moldura de fixação. Assim sendo fez-se mais um disparo para haver outro impacto, no entanto também este não foi válido porque encontrava-se a 14 mm do 1º impacto, ou seja, a menos de 30mm. O primeiro painel (painel 0601) sofreu penetração parcial em todos os impactos. O primeiro painel (painel 0601) sofreu uma perfuração parcial, apresentando apenas pequenas rachaduras no lado de saída do projétil. O segundo painel (painel 0501) não foi perfurado, nem apresentou danos em nenhum dos lados. Como o painel 0501 não apresentou qualquer tipo de dano no ensaio balístico nº4, utilizou-se pela segunda vez com o objetivo de maximizar o número de ensaios balísticos. O objetivo deste ensaio era responder aos ReqEnsBal, bem como saber o comportamento de dois painéis compósitos juntos no caso de serem efetuados mais impactos. Na Tabela 8 estão representados os resultados deste mesmo ensaio.

<sup>24</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico nº5.

**Tabela 8 - Resultados do Ensaio Balístico nº5**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
5	2 Painéis Compósitos	S	S	X	X	Perfuração parcial do painel 0601

### 5.8. Ensaio Balístico Nº6

O Ensaio balístico nº6<sup>25</sup> foi realizado a um painel de alumínio (painel 0102), tanto o lado de entrada como o lado de saída do projétil eram em alumínio, este painel apresentava um peso de 11,83 Kg/m<sup>2</sup>. A classe do projétil para este ensaio era A1 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Pistola Walther P38, esta estava a 10 m do painel. Para este ensaio foi realizado um impacto, o qual resultou de uma perfuração total. O Objetivo deste ensaio era responder aos ReqEnsBal. Na Tabela 9 estão representados os resultados deste mesmo ensaio.

**Tabela 9 - Resultados do Ensaio Balístico nº6**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
6	1 Painel de Alumínio	X	S	X	X	Perfuração completa

<sup>25</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico nº6.

### 5.9. Ensaio Balístico N°7

O Ensaio Balístico n°7<sup>26</sup> foi realizado a dois painéis, o primeiro era um painel compósito (painel 0701) e o segundo era um painel de alumínio (0202). O lado de entrada do projétil era Fibra de Kevlar® e o lado de saída do projétil era alumínio, estes painéis apresentavam um peso total de 27,83 Kg/m<sup>2</sup>. A classe do projétil para este ensaio era A1 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Pistola Walther P38, esta estava a 10 m do painel. Para este ensaio foi realizado um impacto, o primeiro painel (painel 0701) sofreu uma perfuração parcial, apresentando apenas pequenas rachaduras no lado de saída do projétil. O segundo painel (painel 0202) não foi perfurado, no entanto apresentou uma depressão. O objetivo deste ensaio era responder aos ReqEnsBal, bem como avaliar o comportamento de materiais com características mecânicas diferentes. Na Tabela 10 estão representados os resultados deste mesmo ensaio.

**Tabela 10 - Resultados do Ensaio Balístico n°7**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
7	1 Painel Compósito e 1 Painel de Alumínio	S	S	X	X	Perfuração parcial do painel 0701

### 5.10. Ensaio Balístico N°8

O Ensaio Balístico n°8<sup>27</sup> foi realizado a dois painéis, o primeiro era um painel compósito (painel 0701) e o segundo era um painel de alumínio (0202). O lado de entrada

<sup>26</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico n°7.

<sup>27</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico n°8.

do projétil era Fibra de Kevlar® e o lado de saída do projétil era alumínio, estes painéis apresentavam um peso total de 27,83 Kg/m<sup>2</sup>. Foram utilizados os mesmos painéis do ensaio balístico anterior para se maximizar o número de ensaios balístico. A classe do projétil para este ensaio era A5 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Espingarda Automática G3, esta estava a 50 m do painel. Em ambos os painéis houve perfuração completa. O objetivo deste ensaio era responder aos ReqEnsBal, bem como verificar o comportamento dos painéis com uma ameaça diferente. Na Tabela 11 estão representados os resultados deste mesmo ensaio.

**Tabela 11 - Resultados do Ensaio Balístico nº8**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
8	1 Painel Compósito e 1 Painel de Alumínio	X	S	X	X	Perfuração completa

### 5.11. Ensaio Balístico Nº9

O Ensaio balístico nº9<sup>28</sup> foi realizado a dois painéis compósitos (painel 0501 e painel 0801), o lado de entrada do projétil era Fibra de Kevlar e o lado de saída do projétil era Fibra de Carbono, estes painéis apresentavam um peso total de 29,63 Kg/m<sup>2</sup>. A classe do projétil para este ensaio era A5 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Espingarda Automática G3, esta estava a 50 m do painel. Em ambos os painéis houve perfuração completa. O objetivo deste ensaio era responder aos ReqEnsBal. Na tabela 12 estão representados os resultados deste mesmo ensaio.

<sup>28</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico nº9.

**Tabela 12 - Resultados do Ensaio Balístico nº9**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
9	2 Painéis Compósitos	X	S	X	X	Perfuração completa

### 5.12. Ensaio Balístico Nº10

O Ensaio balístico nº10<sup>29</sup> foi realizado a três painéis, o primeiro era um painel de alumínio (painel 0302), o segundo era um painel compósito (painel 0901) e o terceiro era também um painel compósito (painel 1001). Deste modo, o lado de entrada do projétil era alumínio e o lado de saída do projétil era Fibra de Carbono, estes painéis apresentavam um peso total de 44,09 Kg/m<sup>2</sup>. A classe do projétil para este ensaio era A5 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Espingarda Automática G3, esta estava a 50 m do painel. Nos três painéis houve perfuração completa. O objetivo deste ensaio era responder aos ReqEnsBal, bem como observar os resultados obtidos com um painel de alumínio em primeiro lugar, pois ainda não tinha sido testado. Na Tabela 13 estão representados os resultados deste mesmo ensaio.

**Tabela 13 - Resultados do Ensaio Balístico nº10**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
10	2 Painéis Compósitos e 1 Painel de Alumínio	X	X	X	X	Perfuração completa

<sup>29</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico nº10.

### 5.13. Ensaio Balístico N°11

O Ensaio balístico n°11<sup>30</sup> foi realizado a quatro painéis, o primeiro era um painel de alumínio (painel 0302), o segundo era um painel compósito (painel 0901), o terceiro era um painel de alumínio (painel 0402) e o quarto era de novo um painel compósito (painel 1001). Deste modo, o lado de entrada do projétil era alumínio e o lado de saída do projétil era Fibra de Carbono, estes painéis apresentavam um peso total de 55,92 Kg/m<sup>2</sup>. A classe do projétil para este ensaio era A5 pois para este ensaio a arma utilizada foi a Espingarda Automática G3, esta estava a 100 m do painel. Nos quatro painéis houve perfuração completa. O objetivo deste ensaio era responder aos ReqEnsBal.. Na Tabela 14 estão representados os resultados deste mesmo ensaio.

**Tabela 14 - Resultados do Ensaio Balístico n°11**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
		1	2	3	4	
11	2 Painéis Compósitos e 2 Painéis de Alumínio	X	X	X	X	Perfuração completa

### 5.14. Ensaio Balísticos Realizados

Como referido anteriormente, foi elaborado um plano de ensaios, no entanto esse mesmo plano previa que haveria sempre penetração total e não haveria falhas a nível do atirador, ou seja, que os impactos seriam sempre válidos no que diz respeito à distância do

<sup>30</sup> Ver Apêndice E – Relatório do Ensaio Balístico n°11.

impacto ser sempre de 30 mm de de qualquer apoio ou ponto de fixação, bordo ou impacto prévio. Não se verificou nenhuma das duas hipóteses, logo esse mesmo plano foi alterado, com vista a maximização do número de ensaios balísticos. Assim, os resultados ensaios balísticos efetuados estão todos representados na Tabela 15.

**Tabela 15 - Resultados dos ensaios balísticos efetuados**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Ensaio	Nº de impactos	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
			1	2	3	4	
Ameaça: Projétil 9mm							
1	1	1 Painel Compósito	X	S	X	X	Perfuração completa
2	1	1 Painel Compósito	X	S	X	X	Perfuração completa
3	3	1 Painel Compósito	X	S	X	X	Perfuração completa
4	1	2 Painéis Compósitos	S	S	X	X	Perfuração parcial do painel 0401
5	4	2 Painéis Compósitos	S	S	X	X	Perfuração parcial do painel 0601
6	1	1 Painel de Alumínio	X	S	X	X	Perfuração completa
7	1	1 Painel Compósito e 1 Painel de Alumínio	S	S	X	X	Perfuração parcial do painel 0701

Ensaio	Nº de impactos	Tipo e Número de painel	ReqEnsBal				Tipo de Falha
			1	2	3	4	
Ameaça: Projétil 7,62mm							
8	1	1 Painel Compósito e 1 Painel de Alumínio	X	S	X	X	Perfuração completa
9	1	2 Painéis Compósitos	X	S	X	X	Perfuração completa
10	1	2 Painéis Compósitos e 1 Painel de Alumínio	X	X	X	X	Perfuração completa
11	1	2 Painéis Compósitos e 2 Painéis de Alumínio	X	X	X	X	Perfuração completa

De salientar que os ensaios balísticos são de carácter exploratório, pois servem para compreender como os diferentes materiais interagem perante as ameaças definidas. Com os resultados obtidos pretende-se compreender quais as opções a realizar para obter a combinação ótima para produzir um painel com propriedades balísticas, para aliar a capacidade de proteção ao peso reduzido, com a finalidade de providenciar a proteção e eficiência de combate do Soldado de Infantaria.

## Capítulo 6

### Conclusões e recomendações

É neste capítulo que culmina toda a investigação, surgindo assim a necessidade de interpretar os resultados obtidos. É a partir da análise documental e dos ensaios balísticos que se consegue chegar às respostas das Questões Derivadas e da Questão Central, que foram colocadas no Capítulo um. Deste modo, no presente capítulo serão analisadas, as Hipóteses levantadas no início do trabalho, de maneira a verificar a sua validade tendo como base o estudo realizado, de forma a dar resposta às Questões Derivadas e à Questão Central. De seguida serão analisados os objetivos propostos quanto ao seu grau de cumprimento, são apresentadas as limitações da investigação e por fim, são efetuadas algumas propostas para investigações futuras.

#### 6.1. Resposta às Questões Derivadas e Verificação das Hipóteses

Com a finalidade de Responder à QC levantada no início do trabalho, foram levantadas quatro QD consideradas pertinentes para obter uma melhor resposta à QC.

A **QD1** – “Quais os equipamentos utilizados pelo soldado de Infantaria no âmbito da proteção balística?”

Os principais elementos de proteção balística utilizados pelo soldado de Infantaria são os coletes de proteção balística, capacetes balísticos, óculos de proteção e proteção de cotovelos e joelhos.

No presente trabalho os que tiveram maior ênfase foram em primeiro lugar os coletes de proteção balística e depois os capacetes de proteção balística. Quanto aos primeiros, estes devem de ser modulares, ou seja, prever a adição de proteção pélvica, proteção de pescoço e de ombros. Bem como, prever a adição de placas rígidas para conferir maior proteção dos órgãos vitais. Deste modo, devem providenciar níveis de proteção de nível III (NIJ) e nível IV (NIJ), com e sem placas rígidas, respetivamente.

Os capacetes balísticos são atualmente produzidos em aramida pré-impregnada com resinas, e devem de providenciar proteção de nível III (NIJ). Os óculos de proteção deverão

oferecer proteção face a fragmentos. A proteção de cotovelos e joelhos devem atingir o nível III (NIJ).

A hipótese formulada para esta QD foi validada, pois o soldado de Infantaria tem à sua disposição os coletes de proteção balística e os capacetes balísticos. No entanto, com a resposta à QD podemos observar que existe mais elementos de proteção balística do que os que foram enunciados na hipótese nº1.

Em relação à **QD2** – “Quais os materiais passíveis de serem utilizados em elementos de proteção balística ligeira?”

Com a evolução do armamento, houve necessidade de uma evolução dos elementos de proteção balística. Esta evolução deve-se ao desenvolvimento das ciências dos materiais, pois começaram a surgir novos materiais e fibras.

Atualmente, os materiais mais utilizados no que concerne à proteção balística ligeira são os materiais compósitos e os materiais cerâmicos.

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 protege-las do ambiente externo. (Júnior, 2007). O interesse nos materiais compósitos deve-se ao facto de possuírem as características mecânicas já referidas com um peso e custo reduzido.

A fibra de aramida é uma fibra que apresenta as seguintes vantagens: tem uma boa resistência mecânica e alto módulo de elasticidade; boa resistência ao impacto e ao desgaste; tendo associado a estas vantagens o facto de apresentar um peso reduzido. As marcas mais conhecidas deste tipo de fibra são a Kevlar® e Twaron®. (Justo, 1996; Mel, 2010).

A fibra de polietileno de muito alto peso molecular apresenta as seguintes vantagens: alta resistência ao impacto, ao desgaste e a ataques químicos; alto módulo de elasticidade, podendo ser usada sem qualquer proteção. (Justo, 1996; Mel, 2010).

No que concerne às resinas, estas podem ser: termoendurecíveis, termoplásticas e híbridas. As primeiras que possuem de forma geral elevadas propriedades mecânicas. As

resinas mais utilizadas na proteção balística são as resinas poliéster, epóxídica e fenólica. As segundas, possuem custos muito inferiores relativamente às termoendurecíveis, no entanto possuem menores capacidades mecânicas. As resinas mais aplicadas em termos de proteção balística são as de polipropileno, poliuretano e acrílica. As híbridas, combinam as propriedades de diferentes resinas para obter uma nova matriz que apresente uma performance otimizada. (Bhatnagar, 2006; Júnior, 2007; Carrillo *et al.*, 2012).

Os materiais 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).

Atualmente para os elementos de proteção balística utiliza-se a conjugação de materiais compósitos com materiais cerâmicos para fazer face a projéteis perfurantes, pois os materiais compósitos demonstram-se ineficientes contra estes mesmos projéteis. Deste modo, o produto cerâmico absorve a força do projétil e quebra a sua ponta/núcleo enquanto o elemento compósito polimérico mantém a cerâmica em compressão e captura os fragmentos (Mel, 2010; Bürger *et al.*, 2012; Tasdemirci *et al.*, 2012; Nayak *et al.*, 2013).

A segunda hipótese é validada. No entanto conforme observado na resposta à QD2, não é apenas utilizado o Kevlar® como fibra para proteção. As fibras podem ser de vidro, de aramida, de carbono, de boro, fibra de polietileno de muito alto peso molecular, entre outras. Estas impregnadas em resinas dão origem aos materiais compósitos. Para atingir níveis de proteção superiores utiliza-se os materiais compósitos conjugados com materiais cerâmicos, ou metálicos.

A **QD3** – “Quais as principais características que os elementos de proteção balística devem apresentar?”

Um elemento de proteção balística ou um painel de proteção balística (*hard armour*) tem que apresentar as seguintes características que são imprescindíveis para um bom comportamento balístico (Kneubuehl, 2003; Mel, 2010; Flores-Johnson *et al.*, 2011; Nayak *et al.*, 2013; Garcia-Avila *et al.*, 2014; O'Masta *et al.*, 2014; Sastry *et al.*, 2014): Dureza na primeira camada para fragmentar o projétil. As ligas leves reforçadas com carbonetos apresentam boas características de dureza, ou seja, a primeira camada deverá ser constituída por materiais cerâmicos; capacidade de absorção de energia para absorver a energia dos fragmentos do projétil e da primeira camada. Normalmente são utilizados os

materiais compósitos; Apresentar resistência estrutural, ou seja, serem suficientemente resistentes para manter a integridade estrutural do painel; Não se deverá degradar quando exposto ao meio ambiente. Desta forma, os materiais compósitos são impregnados em resinas, com o objetivo de proteger as fibras do ambiente externo; Os painéis de proteção balística deveram de ser facilmente colocados e retirados dos elementos de proteção balística. O peso e a espessura são as características mais importantes para facilitar a utilização dos painéis em equipamentos de proteção balística.

De destacar o peso, pois de acordo com Justo (1996) um sistema de proteção deverá ser o mais leve possível de modo a evitar a perda de mobilidade do combatente. É este o problema fundamental: peso do elemento de proteção balística versus proteção adquirida.

A terceira hipótese é validada. Os elementos de proteção balística devem ser: o mais leves possíveis, serem fáceis de colocar e retirar, e por fim, não devem constituir impedições às tarefas de combate do soldado de Infantaria. Todas estas características são verificadas na resposta à QD3.

Relativamente à **QD4** - “Como se caracteriza o comportamento mecânico dos painéis balísticos em estudo face às ameaças?”

Para analisar o comportamento mecânico dos painéis de proteção balística, inicialmente definiu-se a ameaça. Nos primeiros ensaios a ameaça foi a Pistola Walther P38 m/961 utilizando um projétil de 9 mm, com um peso de +/- 8 g, com uma velocidade inicial de +/- 384 m/s. A arma encontrava-se a 10 m do porta-alvos.

Verificou-se após os três primeiros ensaios balísticos que apenas um painel compósito não consegue providenciar proteção balística face à ameaça escolhida. Deste modo, e seguindo o plano inicial para os ensaios balísticos, foram colocados dois painéis balísticos compósitos submetidos à mesma ameaça.

Constatou-se que quando se junta dois painéis compósitos estes apresentam resultados positivos, quer quando são submetidos a um impacto, quer quando são submetidos a mais impactos. Quer no ensaio balístico nº4, quer no nº5, apenas o primeiro painel sofreu penetração parcial, apresentado apenas pequenas rachaduras no lado de saída do projétil. Os segundos painéis em ambos os ensaios não apresentaram qualquer tipo de dano. Contudo, como referido anteriormente, o peso é uma característica fundamental, nestes casos o peso era de 31,25 Kg/m<sup>2</sup> e de 33,25 Kg/m<sup>2</sup>, o que é extremamente elevado.

O ensaio balístico nº7 foi realizado a dois painéis, o primeiro era um painel compósito e o segundo era um painel de alumínio, no entanto o resultado foi semelhante

aos ensaios referidos anteriormente, com o primeiro painel a sofrer uma penetração parcial e a apresentar pequenas rachaduras no lado de saída do projétil, e o segundo painel apenas apresentou uma pequena depressão do lado de entrada do projétil. Assim sendo, o conjunto dos dois painéis conseguiu providenciar proteção balística face à ameaça. No entanto, apresenta um peso inferior aos resultados anteriores, com  $27,83 \text{ Kg/m}^2$ , embora continue um peso muito elevado.

Nos restantes ensaios a ameaça passou a ser a Espingarda Automática G3 utilizando um projétil de 7,62 mm, com um peso de 9,45 g e com um velocidade inicial de 837 m/s.

Face a esta ameaça, a 50 m do porta-alvos, começou-se por colocar um painel compósito conjugado com um painel de alumínio, passando para dois painéis compósitos e por fim com dois painéis compósitos e um de alumínio, contudo foram sempre ineficazes no que respeita a providenciar proteção balística.

Após os ensaios a 50 m fez-se um ensaio a 100 m aumentando o número de painéis para dois compósitos e dois painéis de alumínio, continuando a serem ineficazes face à ameaça escolhida.

A quarta hipótese foi parcialmente validada, havendo diferentes resultados consoante o tipo de ameaça e o número e qualidade dos painéis balísticos. Verificou-se assim, que quando a ameaça é o projétil de 9 mm, a proteção balística dos painéis utilizados confirma-se quando estes são compostos por dois painéis compósitos ou um painel compósito e um painel de alumínio. No caso da ameaça ser o projétil 7,62 mm a hipótese é validada uma vez que estes não conferiram proteção balística.

## **6.2. Resposta à Questão Central**

Depois de toda a análise dos resultados obtidos e das respostas encontradas, surge a resposta a QC - “Quais as especificações e requisitos técnicos para os elementos de proteção balística a serem utilizados pelo Soldado de Infantaria?”

No presente trabalho no que concerne aos requisitos dos elementos de proteção balística foram analisados os requisitos dos coletes de proteção balística e dos capacetes balísticos.

Dos requisitos dos coletes de proteção balística destacam-se os seguintes: devem providenciar o máximo de proteção balística; devem prever a adição da proteção pélvica, proteção de pescoço e de ombros. Bem como prever a adição de placas rígidas para conferir maior proteção nas zonas vitais, estas devem ser fáceis de colocar e de retirar, pois

o soldado deve conseguir fazer estas tarefas sem ajuda; A área de cobertura do tronco deve ser maximizada, sem provocar ao soldado impedições na realização das tarefas de combate; O colete deve ser fácil de colocar e de retirar; Ser de fácil manutenção e reparação; Ter o mínimo de peso e este estar distribuído de forma a não prejudicar o equilíbrio do soldado.

Os capacetes balísticos devem obedecer aos seguintes requisitos: Providenciar o máximo de proteção balística; Permitir todos os movimentos naturais da cabeça, causando o mínimo de interferências na realização das tarefas de combate, bem como não interferir com equipamento de transmissões e de proteção de ouvidos; Os capacetes devem ter o mínimo de peso.

Com o levantamento dos requisitos do Soldado de Infantaria e dos requisitos dos coletes balísticos chegamos aos requisitos a que os painéis de proteção balística devem responder, ou seja, os requisitos dos ensaios balísticos. Como observado anteriormente, os requisitos são: Providenciar proteção balística face ao tipo de ameaça utilizada; Os painéis serem de fácil colocação e remoção, causando o mínimo de constrangimentos ao combatente nas suas tarefas de combate; Providenciar proteção de nível II (NIJ), maximizando a área de cobertura do tronco do soldado, com um peso inferior a  $4 \text{ Kg/m}^2$ ; Providenciar proteção de nível III (NIJ), maximizando a área de cobertura do tronco do soldado, prevendo a adição de placas rígidas, a fim de proteger os órgãos vitais, com um peso inferior a  $25 \text{ Kg/m}^2$ . Com estes requisitos é possível observar que o peso reduzido continua a ser o requisito fundamental nas proteções balísticas.

No que diz respeito às especificações, os materiais que formam a primeira camada dos elementos de proteção balística, são aqueles que recebem o impacto inicial do projétil. Assim a sua função é desgastar a ponta do projétil dissipando grande parte da energia cinética, ou seja, a primeira camada deve apresentar dureza. As camadas seguintes devem ser formadas por materiais dúcteis para terem capacidade de absorção de energia para absorver a energia da primeira camada e dos fragmentos do projétil. Os materiais desta camada não se devem deformar excessivamente para não colocar em risco a vida do soldado que usa a proteção e para manter a integridade estrutural do painel. (Silva *et al.*, 2014).

### 6.3. Limitações da investigação

Desde o início do presente trabalho foram surgindo algumas limitações. De acordo com Pinto (2009), a grande lacuna que normalmente ocorre relativamente à avaliação dos elementos de proteção balística está relacionada com a metodologia de análise de resultados, uma vez que as conclusões deste tipo de ensaios são meramente qualitativas, ou seja, limitam-se a verificar unicamente os danos, em especial se determinado tipo de projétil perfura ou não a proteção. Além dos disparos realizados contra os elementos de proteção balística, um dos métodos qualitativos mais comum nos centros de investigação balística, consta da utilização de gelatina balística. Esta é um tipo de solução gelatinosa que tem por objetivo simular a densidade e a viscosidade do tecido muscular humano para analisar o impacto do projétil sobre este. Efetuado o disparo, é realizada uma inspeção visual à gelatina balística para verificar os possíveis danos causados pelo impacto. Espelha assim os resultados de expansão mais próximos da realidade, tratando-se apenas de um método de inspeção visual utilizado para quantificar o poder de impacto. Atualmente o material BFS de referência é a *Roma Plastilina nº1*, com esta poderíamos analisar o trauma mesmo nos casos que os painéis conseguiram providenciar proteção balística. Caso fosse possível avaliar o trauma poderia ter havido mais ReqEnsBal, pois o trauma neste BFS deve ser sempre inferior a 30 mm (CEDS, 2010).

O tamanho dos painéis, quer compósitos quer de alumínio constituíram também uma limitação, pois estes tinham uma dimensão muito pequena o que deu origem a algumas falhas a nível do atirador pela dificuldade de fazer um impacto válido.

Outra limitação a nível do material foi não haver cronógrafos para poder medir a velocidade dos projéteis e desta forma aproximar a instalação de ensaios utilizada à estação de ensaios prevista na AEP 2920. Também a nível de material, para avaliar melhor as condições meteorológicas a que os painéis foram submetidos no dia dos ensaios balísticos, deveria ter existido uma estação meteorológica, para medir a temperatura e a humidade relativa do ar.

### 6.4. Propostas de Investigações Futuras

Após a revisão bibliográfica, verifica-se que para alcançar níveis superiores do que III (NIJ) normalmente são utilizados materiais compósitos com placas cerâmicas e

metálicas (aço). Deste modo, seria interessante numa próxima investigação poder combinar materiais compósitos com materiais cerâmicos e metálicos.

De acordo com Justo (1996), analisando vários conflitos, mostra que entre 75% a 80% dos ferimentos letais são causados por fragmentos e que apenas 20% de todos os ferimentos são causados por projéteis. Assim sendo, seria interessante executar ensaios balísticos com fragmentos, estes também estão previstos na AEP-2920.

---

## Bibliografia

- AEP-2920 (2014). *Procedures for the Evaluation and Classification of Personal Armour. Bullet and Fragmentation Threats*. NATO Standardization Agency.
- Álvares, J. M. da Costa. (1964). *Balística Externa*. Lisboa: Serviços Gráficos da Academia Militar
- Bhatnagar, A. (2006). *Lightweight ballistic composites: military and law-enforcement applications*. Woodhead Publishing.
- Bürger, D., Rocha de Faria, A., de Almeida, S.F.M., de Melo, F.C.L., Donadon, M.V. (2012). *Ballistic impact simulation of an armour-piercing projectile on hybrid ceramic/fiber reinforced composite armours*. International Journal of Impact Engineering 43, 63-77.
- Carlucci, D.E., Jacobson, S.S. (2010). *Ballistics: theory and design of guns and ammunition*. CRC Press.
- Carrillo, J.G., Gamboa, R.A., Flores-Johnson, E.A., Gonzalez-Chi, P.I. (2012). *Ballistic performance of thermoplastic composite laminates made from aramid woven fabric and polypropylene matrix*. Polymer Testing 31, 512-519.
- CEDS Programme. (2010). *Common Staff Requirements on Combat Equipment for Dismounted Soldiers*. Bruxelas.
- Cheeseman, B.A., Bogetti, T.A. (2003). *Ballistic impact into fabric and compliant composite laminates*. Composite Structures 61, 161-173.
- Exército Português. (1987). *RC 130-1 Operações (Vol. I)*. Lisboa: EME.
- Exército Português. (2001). *Fichas de Material (FIMAT) – Vol. V – Munições, Explosivos e Artificios*. Lisboa: EME.
- Exército Português. (2014). *PDE 07-70-00 Instrução e Treino de tiro de Armas Ligeiras*. Lisboa: EME.
- Flores-Johnson, E.A., Saleh, M., Edwards, L. (2011). *Ballistic performance of multi-layered metallic plates impacted by a 7.62-mm APM2 projectile*. International Journal of Impact Engineering 38, 1022-1032.

- FM 3 – 21.8. (2007). *The Infantry Rifle Platoon and Squad*. Washington DC: Department of The Army
- Fortin, M. F. (2009). *O Processo de Investigação da Concepção à Realização*. 5ª Edição. Loures: Lusociência.
- Freixo, Manuel (2012). *Metodologia Científica Fundamentos Métodos e Técnicas*. 4ª Edição. Lisboa: Piaget Editora
- Garcia-Avila, M., Portanova, M., Rabiei, A. (2014). *Ballistic Performance of a Composite Metal Foam-ceramic Armor System*. *Procedia Materials Science* 4, 151-156.
- Gil, A. C. (1999). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. São Paulo: Atlas.
- Guedes, A. & Macieira, C. (1999). *Armamento*. Lisboa: Edição interna da AM.
- IESM. (2007). *Metodologia da Investigação Científica*. Lisboa: IESM.
- Júnior, W. (2007). *Processamento de Placa Espessa de Compósito Através de Moldagem por Transferência de Resina*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Justo, J.M.C.d.F. (1996). *Estudo do comportamento ao impacto de alta velocidade de estruturas em materiais compósitos*. Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto.
- Kneubuehl, B.P. (2003). *Ballistic protection*. Switzerland
- Mel, S. (2010). *Ballistic Protection for Ground Vehicles, Human Personnel, and Habitats. Innovations in Materials Manufacturing, Fabrication, and Environmental Safety*. CRC Press, pp. 445-482.
- Nayak, N., Banerjee, A., Sivaraman, P. (2013). *Ballistic Impact Response of Ceramic-Faced Aramid Laminated Composites Against 7.62 mm Armour Piercing Projectiles*. *Defence Science Journal* 63.
- Neto, F. (1997). *Glossário de Termos do Armamento*. Lisboa: Edições Culturais da Marinha
- Nilakantan, G., Nutt, S. (2014). *Effects of clamping design on the ballistic impact response of soft body armor*. *Composite Structures* 108, 137-150.
- O'Masta, M.R., Deshpande, V.S., Wadley, H.N.G. (2014). *Mechanisms of projectile penetration in Dyneema® encapsulated aluminum structures*. *International Journal of Impact Engineering* 74, 16-35.

- Pinto, J. (Orientadores: Rosa, P. e Martins, P.). (2009). *Avaliação do Comportamento Mecânico de Blindagens Balísticas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Quivy, R. & Campenhoudt, L. (2008). *Manual de Investigação em Ciências Sociais*. 5ª Edição. Lisboa: Gradiva.
- Santos, R. (2010). *Elementos de Armamento – Manual do Aluno*. Lisboa: Serviços Gráficos da Academia Militar.
- Sarmiento, M. (2013). *Metodologia científica para a elaboração, escrita e apresentação de teses*. Lisboa: Universidade Lusíada.
- Sastry, Y.B.S., Budarapu, P.R., Krishna, Y., Devaraj, S. (2014). *Studies on ballistic impact of the composite panels*. Theor. Appl. Fract. Mech. 72, 2-12.
- Silva, M.d., Stainer, D., Al-Qureshi, H., Hotza, D. (2014). *Ceramic armors for ballistic applications: a review*. Cerâmica 60, 323-331.
- Sousa, M. J., & Baptista, C. S. (2011). *Como fazer Investigação, Dissertações, Teses e Relatórios*. 2ª Edição. Lisboa: Pactor.
- STANAG 2902 (2004). *Criteria for a NATO Combate Helmet*. The NATO Standardization Agency.
- STANAG 2911 (1989). *Design Criteria for Fragmentation Protective Body Armour*. The NATO Standardization Agency.
- STANAG 2920 (2014). *Classification of Personal Armour 3rd Edition*. The NATO Standardization Agency.
- STANAG 4569 (2011). *Protection Levels for Occupants of Armoured Vehicles*. The NATO Standardization Agency.
- Tasdemirci, A., Tunusoglu, G., Guden, M. (2012). *The effect of the interlayer on the ballistic performance of ceramic/composite armors: Experimental and numerical study*. International Journal of Impact Engineering 44, 1-9.
- Telo, A. J., & Álvares, M. (2004). *Armamento do Exército Português – Vol. I – Armamento Ligeiro*. Lisboa: Prefácio
- Zhang, D., Sun, Y., Chen, L., Zhang, S., Pan, N. (2014). *Influence of fabric structure and thickness on the ballistic impact behavior of Ultrahigh molecular weight polyethylene composite laminate*. Materials & Design 54, 315-322.

# Apêndices

## Apêndice A – Fibras, Resinas e Cerâmicos

### Fibra de Aramida

A fibra de aramida é uma fibra que apresenta as seguintes vantagens: tem uma boa resistência mecânica e alto módulo de elasticidade; boa estabilidade térmica; boa resistência ao impacto e ao desgaste; tendo associado a estas vantagens o facto de apresentar um peso reduzido. Como desvantagens incluem-se: a absorção de humidade e sensibilidade aos raios ultravioletas, o que as torna mais sensíveis a condições ambientais; a sua resistência à compressão é também relativamente reduzida.

No que diz respeito à preparação destas fibras para as utilizar em painéis balísticos, estas são bastante difíceis de cortar, o que é necessário recorrer a tesouras adequadas. O corte de laminados com este tipo de fibras sem introduzir dano é também difícil.

A capacidade desta fibra em proporcionar proteção balística contra fragmentos e projéteis foi rapidamente estabelecida. Atualmente, as aplicações desta fibra incluem coletes de proteção balística, capacetes balísticos e aplicações na indústria aeronáutica e aeroespacial. As marcas mais conhecidas deste tipo de fibra são a Kevlar® e Twaron® (Justo, 1996; Mel, 2010).

### Fibra de polietileno de muito alto peso molecular

A fibra de polietileno de muito alto peso molecular ou *Ultra-high-molecular-weight polyethylene* (UHMWP) apresenta as seguintes vantagens: alta resistência ao impacto, ao desgaste e a ataques químicos; alto módulo de elasticidade; não sofre degradação por absorção de humidade; a sua resistência é pouco afetada pela exposição à luz, podendo ser usada sem qualquer proteção ou cobertura suplementar.

Esta fibra é comercializada sob o nome Dyneema®, Spectra® e Tekmilon® e os produtos fabricados podem utilizar tanto tecidos, como não-tecidos. Podem ser utilizados para obter proteção flexível (*soft armour*) ou proteção rígida (*hard armour*), fornecendo

proteção contra fragmentos, projéteis perfurantes (*armour piercing*) e não perfurantes (Justo, 2005; Mel, 2010).

### **Resinas termoendurecíveis**

As resinas termoendurecíveis são materiais que possuem de forma geral elevadas propriedades mecânicas. As resinas mais utilizadas na proteção balística são as resinas poliéster, epóxica e fenólica. As resinas epóxi são as mais dispendiosas comparativamente com as outras matrizes termoendurecíveis, no entanto possuem balísticas relativamente baixas devido à sua elevada rigidez. (Bhatnagar, 2006).

### **Resinas termoplásticas**

As resinas termoplásticas possuem custos muito inferiores relativamente às termoendurecíveis e estas podem ser facilmente recuperadas através da aplicação de calor e pressão. No entanto, como apresentam as seguintes desvantagens: possuem menores propriedades mecânicas; perante a exposição repetida e em climas extremos, podem ter um desempenho deficitário. As resinas mais aplicadas em termos de proteção balística são as de polipropileno, poliuretano e acrílica. (Bhatnagar, 2006; Carrillo *et al.*, 2012).

### **Resinas híbridas**

Uma nova tendência a nível de resinas, são as resinas híbridas, que combinam as propriedades de diferentes resinas para obter uma nova matriz que apresente uma performance otimizada (Bhatnagar, 2006).

## **Materiais cerâmicos**

Os materiais cerâmicos têm sido considerados para aplicações ao nível da proteção balística devido a apresentarem as seguintes características: baixa densidade; elevada resistência à compressão e dureza.

Os principais materiais cerâmicos para elementos de proteção balística são a alumina, o carbetto de silício e o carbetto de boro. O carbetto de boro é o que apresenta as melhores propriedades mecânicas: maior dureza, módulo de elasticidade e tenacidade à fratura e a menor densidade. No entanto, como desvantagem é o que apresenta maior custo. O carbetto de silício possui propriedades mecânicas um pouco inferiores ao carbetto de boro, porém apresenta a vantagem de ter um custo inferior. Ambos são utilizados para proteções de projéteis com calibres elevados. A alumina é normalmente utilizada para calibres mais pequenos, não obstante as suas propriedades são inferiores aos carbettos de boro e de silício, devido a possuir uma maior viabilidade económica. (Silva et al., 2014).

## Apêndice B – Produtos existentes no mercado




Tabela 16 - Exemplos de produtos existentes no mercado (parte 1)

Marcas/Produto	Descrição dos produtos	
<p><b>EnGarde</b> <b>Portugal body</b> <b>armor</b></p>	<p><b>Geral</b></p> <p><b>Nível de proteção</b></p> <p><b>Material balístico</b></p> <p><b>Peso (Kg)</b></p>	<p>Todos os coletes são feitos de acordo com as normas NIJ.</p> <p>IIIA a IV</p> <p>DYNEEMA® e placas cerâmicas</p> <p>1,9 - 10,3</p> 
<p><b>PROHERAL,</b> <b>Bens e</b> <b>Tecnologias</b> <b>Militares, Lda.</b></p>	<p><b>Geral</b></p> <p><b>Nível de proteção</b></p> <p><b>Material balístico</b></p> <p><b>Peso (Kg)</b></p>	<p>Comercialização, criação e desenvolvimento dos mais diversos tipos de produtos (capacetes, coletes e placas) de acordo com as normas NIJ.</p> <p>IIIA - IV</p> <p>Tecido aramida hermeticamente soldado e placas cerâmicas</p> <p>6,9 – 9,8</p> 
<p><b>Norplex-</b> <b>Micarta -</b> <b>ShotBlocker™</b></p>	<p><b>Geral</b></p> <p><b>Nível de proteção</b></p> <p><b>Material balístico</b></p> <p><b>Dimensões (cm)</b></p> <p><b>Peso (kg)</b></p>	<p>Laminado com proteção balística</p> <p>1 - 8 (UL-752)</p> <p>IIA – III (NIJ)</p> <p>Resina fenólica e tecidos de vidro</p> <p>121.92 x 243.84 x 0.61 - 3.35</p> <p>41,7 - 223,17</p> 

Tabela 17 - Exemplos de produtos existentes no mercado (parte 2)

Marcas/Produto	Descrição dos produtos
<p><b>Protecta</b></p>	<p>Linha completa de produtos para blindagem de veículos e arquitetura, coletes à prova de balas, painéis anti perfurantes e acessórios de acordo com as normas NIJ.</p> <p><b>Geral</b></p> <p><b>Nível de proteção</b> I - IIIA</p> <p><b>Material balístico</b> Sobreposição de oito camadas de tecido de aramida e chapa de aço carbono unidas com a cola Protecta Extra Bond</p> 
<p><b>Taurus Blindados</b></p>	<p>Coletes de acordo com as normas NIJ</p> <p><b>Geral</b></p> <p><b>Nível de proteção</b> I - IV</p> <p><b>Material balístico</b> Nível I: Goldflex – 228g/m<sup>2</sup>, Kevlar® – 280g/m<sup>2</sup>, Spectra Shield LCR – 150g/m<sup>2</sup>, Twaron® – 280g/m<sup>2</sup> e Polietileno Nível IV: Kevlar® – 280g/m<sup>2</sup>, Twaron® – 280g/m<sup>2</sup> e placas cerâmicas</p> 

Tabela 18 - Exemplos de produtos existentes no mercado (parte 3)

Marcas/Produto	Descrição dos produtos	
<p><b>Verseidag Ballistic Protection Oy</b></p>	<p><b>Geral</b> <b>Nível de proteção</b> <b>Material balístico</b> <b>Peso (Kg)</b></p>	<p>Linha de produtos tendo em consideração as ameaças <i>standard</i> balísticas e os requisitos ergonômicos.</p> <p>III A - IV (NIJ)</p> <p>Tecidos balísticos e cerâmicas</p> <p>1,1 - 10,08</p> 
<p><b>MARS Armor ®</b></p>	<p><b>Geral</b> <b>Nível de proteção</b> <b>Material balístico</b></p>	<p>Fabricante de diversos elementos de proteção balística segundo a NIJ.</p> <p>III A – IV</p> <p>Tecidos balísticos, placas metálicas e cerâmicas</p> 
<p><b>Bullet Proof ME</b></p>	<p><b>Geral</b> <b>Nível de proteção</b> <b>Material balístico</b></p>	<p>Comercialização de uma linha completa de produtos de proteção balística</p> <p>II – IV (NIJ)</p> <p>Nível II: Painel de aramida (5.8 mm de espessura e um peso total de 1.5 kg)</p> <p>Nível IV: cerâmica (18mm) e aço balístico (12mm)</p> 

## Apêndice C – Procedimento Experimental na Produção dos Painéis Balísticos Compósitos



**Figura 9 - Corte da fibra de Kevlar**  
Fonte: Fotografia do Autor



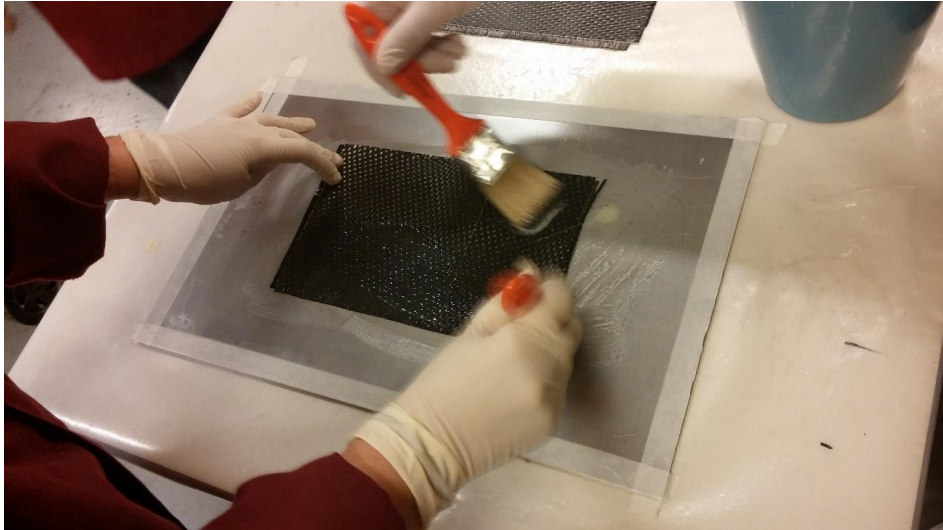
**Figura 10 - Corte da Fibra de Carbono**  
Fonte: Fotografia do Autor



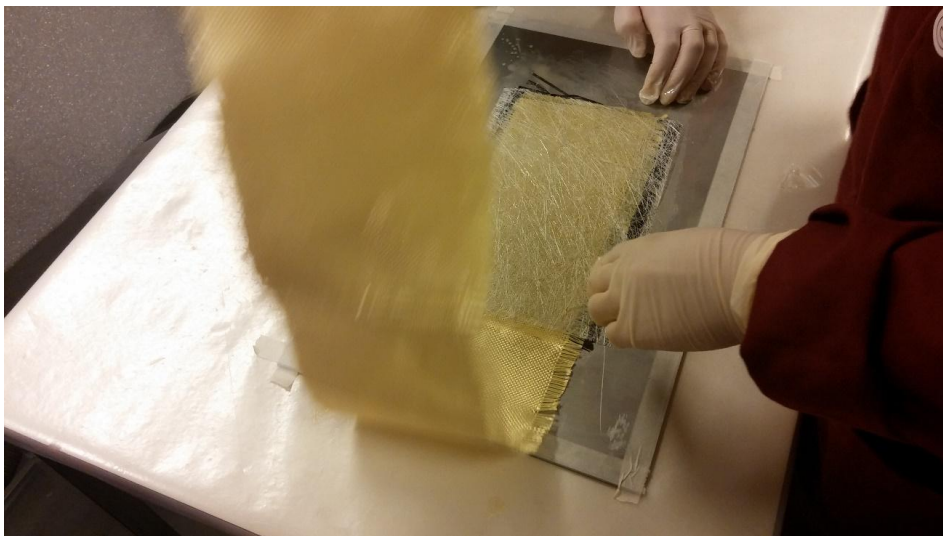
**Figura 11 - Corte da fibra de vidro**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



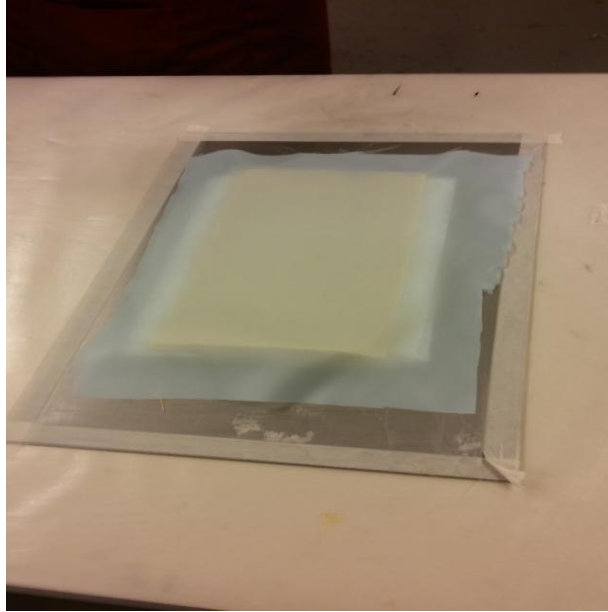
**Figura 12 - Mistura da Resina de Poliuretano com Endurecedor**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 13 - Aplicação da mistura entre camadas do painel balístico composto**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



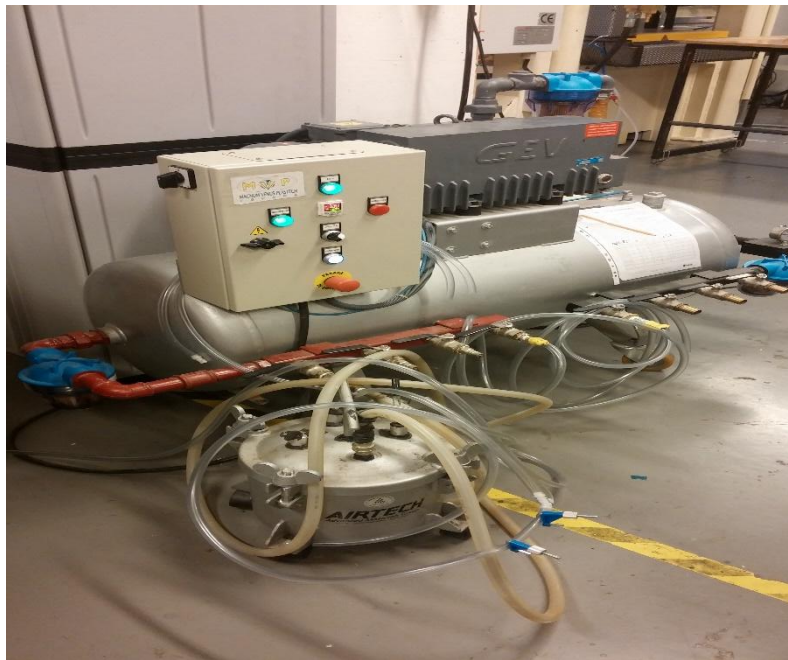
**Figura 14 - Aplicação de camadas de fibra de Kevlar e de fibra de vidro**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 15 - Colocação do *pealply***  
Fonte: Fotografia do Autor



**Figura 16 - Preparação do saco de vácuo**  
Fonte: Fotografia do Autor



**Figura 17 - Bomba de vácuo**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

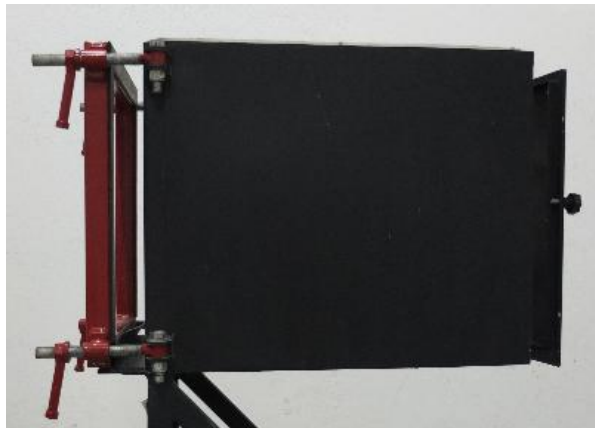


**Figura 18 - Peso para auxílio da compressão do painel**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

## Apêndice D – Preparação das Infraestruturas e da Instalação de Ensaios



**Figura 19 - Porta-alvos (vista de frente)**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 20 - - Porta-alvos (vista de lateral)**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 21 - Adaptador Metálico e Moldura**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 22 - Abrigo de Proteção**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 23 - Preparação da Espingarda Automática G3**  
Fonte: Fotografia do Autor



**Figura 24 - Preparação da Pistola Walther P38**  
Fonte: Fotografia do Autor



**Figura 25 - Preparação dos Painéis Balísticos Compósitos e Painéis de Alumínio**  
Fonte: Fotografia do Autor



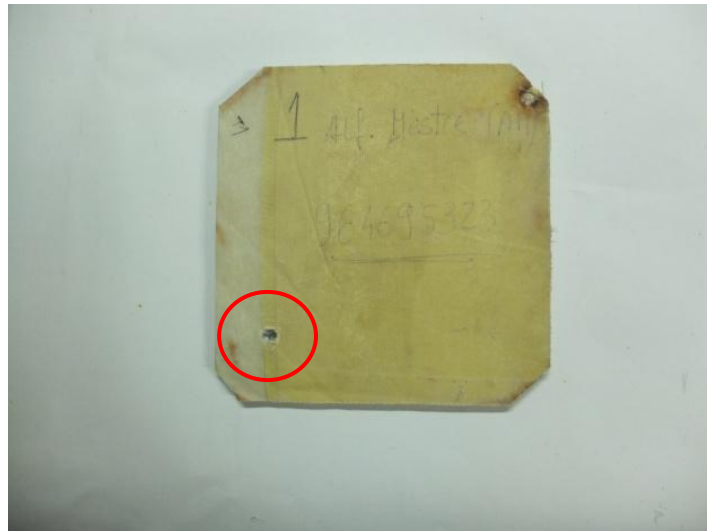
**Figura 26 - Preparação dos Elementos de Proteção Balística para o Atirador e Responsável pelos Ensaios**  
Fonte: Fotografia do Autor



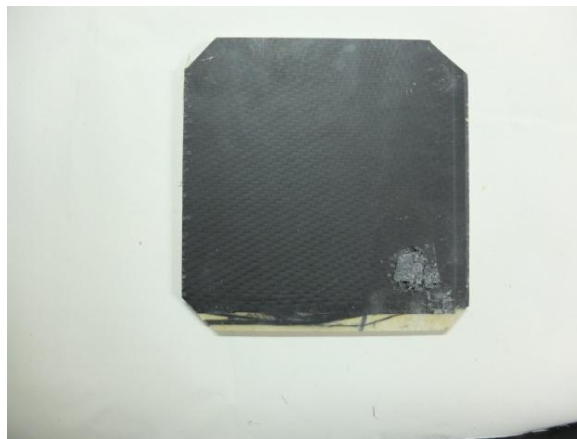
**Figura 27 - Reparo para fazer tiro com a Espingarda Automática G3**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

**Apêndice E – Relatórios de Ensaio Balísticos****Relatório do Ensaio Balístico nº1****Tabela 19 - Ensaio balístico nº1 – geral**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Compósito
Número de série do painel	0101
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Penetração total	
Outros comentários	
Não válido	



**Figura 28 - Lado de entrada do projétil. Painel 0101. Ensaio Balístico nº1**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 29 - Lado de saída do projétil. Painel 0101. Ensaio Balístico nº1**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 30 - Lado de saída do projétil em pormenor. Painei 0101. Ensaio Balístico nº1**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

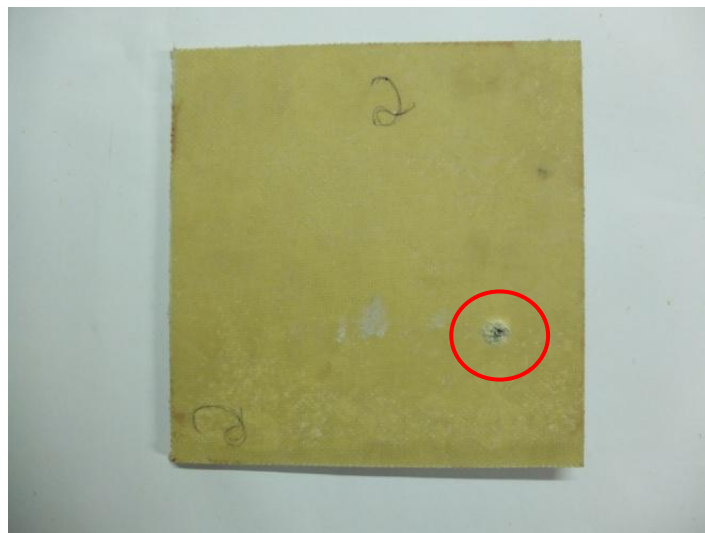
**Detalhes do Ensaio Balístico nº1**

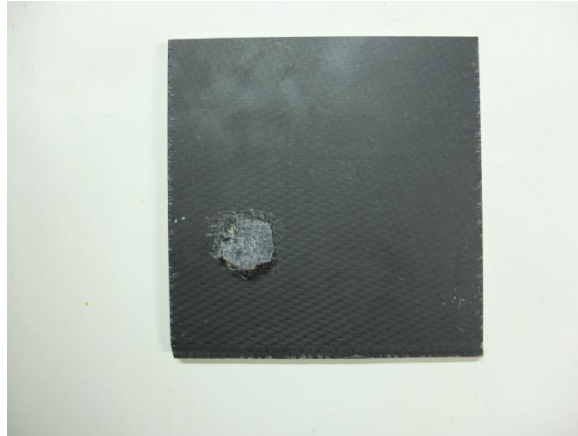
**Tabela 20 - Ensaio balístico nº1 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Número de série do painel	0101
Dimensão (largura x altura)	200x200mm
Espessura	11mm
Massa	0,645Kg
Peso por m <sup>2</sup>	16,13Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Fibra de Kevlar®
Composição do lado de saída do projétil	Fibra de Carbono
Especificações do ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro nº1 da EA
Temperatura	24°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	30min
Temperatura	24°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Número da arma	010354
Comprimento do cano	125mm
Número de estrias do cano	6 no sentido destrorsum
Projétil	Cartucho 9mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9mm
Origem	Portugal
Distancia ao alvo	10m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

**Relatório do Ensaio Balístico nº2****Tabela 21 - Ensaio balístico nº2 – geral**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Compósito
Número de série do painel	0201
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Penetração total	
Outros comentários	
Nada a referir	

**Figura 31- Lado de entrada do projétil. Painel 0201. Ensaio Balístico nº2**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 32- Lado de saída do projétil. Painel 0201. Ensaio Balístico nº2**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 33- Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0201. Ensaio Balístico nº2**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

**Detalhes do Ensaio Balístico nº2**

**Tabela 22 - Ensaio balístico nº2 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Número de série do painel	0201
Dimensão (largura x altura)	200x200mm
Espessura	12mm
Massa	0,665Kg
Peso por m <sup>2</sup>	16,63Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Fibra de Kevlar®
Composição do lado de saída do projétil	Fibra de Carbono
Especificações do ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro nº1 da EA
Temperatura	24°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	45min
Temperatura	24°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Número da arma	010354
Comprimento do cano	125mm
Número de estrias do cano	6 no sentido destrorsum
Projétil	Cartucho 9mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9mm
Origem	Portugal
Distancia ao alvo	10m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

**Relatório do Ensaio Balístico nº3**

Tabela 23 - Ensaio balístico nº3 – geral  
Fonte: Elaboração Própria

Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Compósito
Número de série do painel	0301
Descrição do padrão de tiro	3 Impactos
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Penetração total	
Outros comentários	
Terceiro impacto não válido	

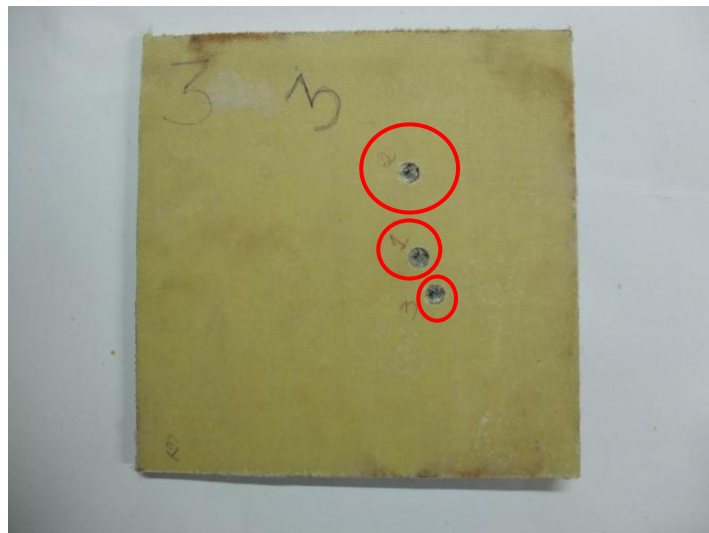
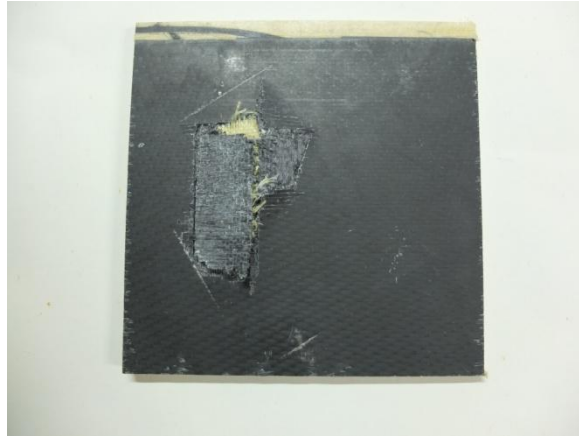
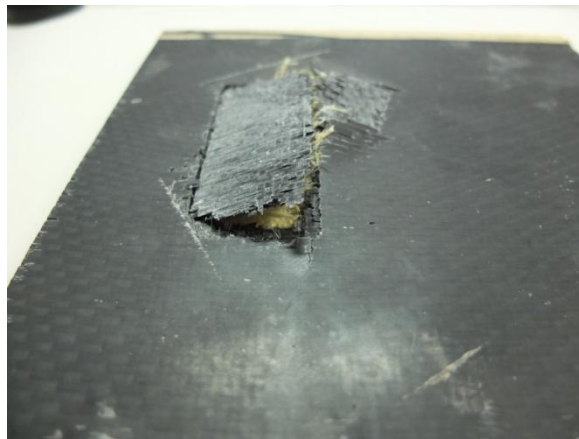


Figura 34 - Lado de entrada do projétil. Painel 0301. Ensaio Balístico nº3  
Fonte: Fotografia do Autor



**Figura 35 - Lado de saída do projétil. Painel 0301. Ensaio Balístico nº3**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 36 - Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0301. Ensaio Balístico nº3**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

**Detalhes do Ensaio Balístico nº3**

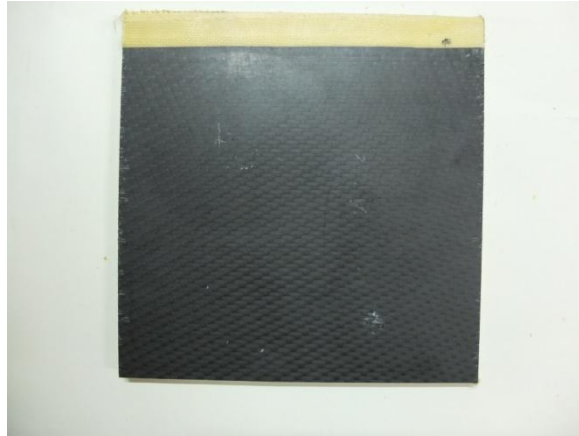
**Tabela 24 - Ensaio balístico nº3 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Número de série do painel	0301
Dimensão (largura x altura)	200x200mm
Espessura	12mm
Massa	0,640Kg
Peso por m <sup>2</sup>	16,00Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Fibra de Kevlar®
Composição do lado de saída do projétil	Fibra de Carbono
Especificações do ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro nº1 da EA
Temperatura	24°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	60min
Temperatura	24°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Número da arma	010354
Comprimento do cano	125mm
Número de estrias do cano	6 no sentido destrorsum
Projétil	Cartucho 9mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9mm
Origem	Portugal
Distancia ao alvo	10m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

**Relatório do Ensaio Balístico nº4****Tabela 25 - Ensaio balístico nº4 – geral**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	2
Tipo de painel	Compósito
Número de série dos painéis	0401 e 0501
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Painel 0401 perfuração parcial. Painel 0501 não perfurado	
Outros comentários	
Nada a referir	

**Figura 37 - Lado de entrada do projétil. Painel 0401. Ensaio Balístico nº4**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 38 - Lado de saída do projétil. Painel 0401. Ensaio Balístico nº4**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

**Detalhes do Ensaio Balístico nº4**

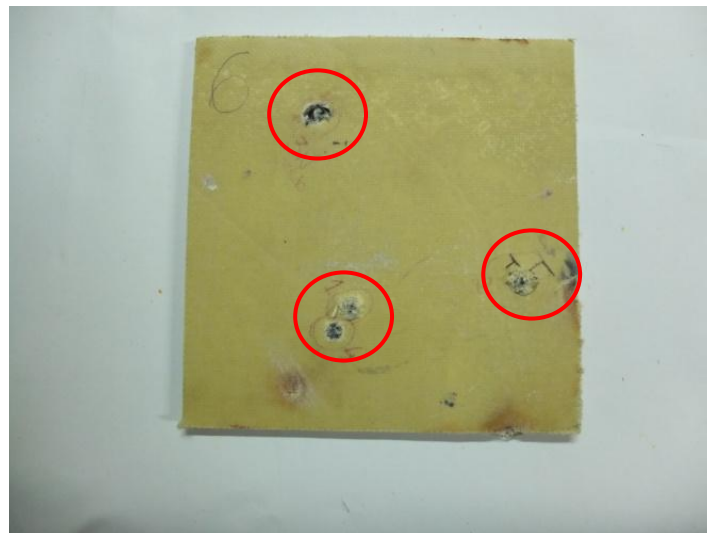
**Tabela 26 - Ensaio balístico nº4 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

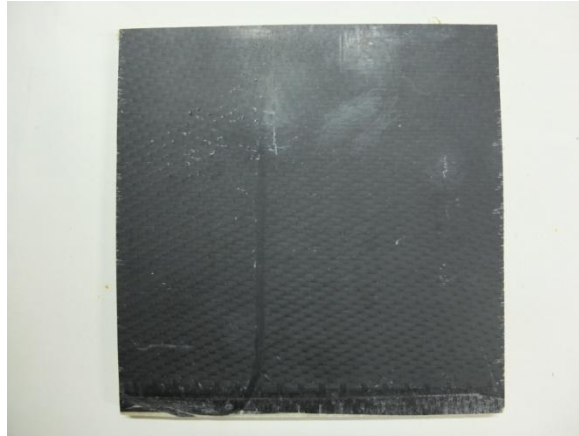
Identificação do painel	
Número de painéis	2
Número de série do painel	0401 e 0501
Dimensão (largura x altura) – Painel 0401	200x200mm
Dimensão (largura x altura) – Painel 0501	200x200mm
Espessura - Painel 0401	11mm
Espessura - Painel 0501	12mm
Espessura - Total	23mm
Massa – Painel 0401	0,620Kg
Massa – Painel 0501	0,650Kg
Massa – Total	1,27Kg
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0401	15,50Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0501	16,25Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Total	31,25Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Fibra de Kevlar®
Composição do lado de saída do projétil	Fibra de Carbono
Especificações do ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro nº1 da EA
Temperatura	24°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	75min
Temperatura	24°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Número da arma	010354
Comprimento do cano	125mm
Número de estrias do cano	6 no sentido destrorsum
Projétil	Cartucho 9mm M374

Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9mm
Origem	Portugal
Distancia ao alvo	10m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

**Relatório do Ensaio Balístico nº5****Tabela 27 - Ensaio balístico nº5 – geral**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	2
Tipo de painel	Compósito
Número de série do painel	0501 e 0601
Descrição do padrão de tiro	4 Impactos
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Painel 0501 perfuração parcial. Painel 0601 não perfurado.	
Outros comentários	
Quarto impacto não válido.	

**Figura 39 - Lado de entrada do projétil. Painel 0601. Ensaio Balístico nº5**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 40 - Lado de saída do projétil. Painel 0601. Ensaio Balístico n°5**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

**Detalhes do Ensaio Balístico nº5**

**Tabela 28 - Ensaio balístico nº5 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

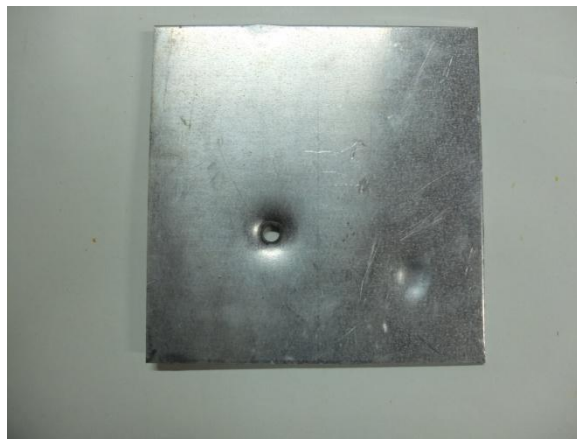
Identificação do painel	
Número de painéis	2
Número de série do painel	0501 e 0601
Dimensão (largura x altura) – Painel 0501	200x200mm
Dimensão (largura x altura) – Painel 0601	200x200mm
Espessura - Painel 0501	12mm
Espessura - Painel 0601	11mm
Espessura – Total	23mm
Massa – Painel 0501	0,650Kg
Massa – Painel 0601	0,680Kg
Massa – Total	1,33Kg
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0501	16,25Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0601	17,00Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Total	33,25Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Fibra de Kevlar®
Composição do lado de saída do projétil	Fibra de Carbono
Especificações do ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro nº1 da EA
Temperatura	25°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	100min
Temperatura	25°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Número da arma	010354
Comprimento do cano	125mm
Número de estrias do cano	6 no sentido destrorsum
Projétil	Cartucho 9mm M374

Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9mm
Origem	Portugal
Distancia ao alvo	10m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

**Relatório do Ensaio Balístico nº6**

**Tabela 29 - Ensaio balístico nº6 – geral**  
**Fonte: Elaboração Própria**

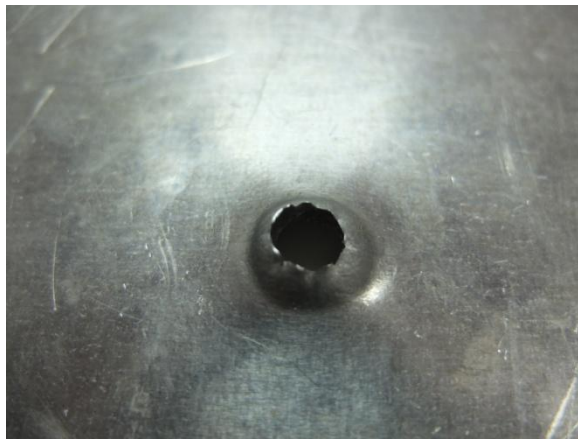
Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	1
Tipo de painel	Alumínio
Número de série do painel	0102
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Penetração total	
Outros comentários	
Nada a referir	



**Figura 41 - Lado de entrada do projétil. Painel 0102. Ensaio Balístico nº6**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 42 - Lado de saída do projétil. Painel 0102. Ensaio Balístico nº6**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 43 - Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0102. Ensaio Balístico nº6**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

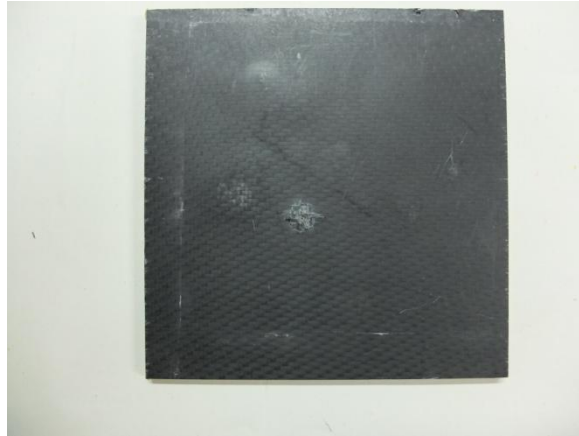
**Detalhes do Ensaio Balístico nº6****Tabela 30 - Ensaio balístico nº6 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Identificação do painel	
Número de painéis	1
Número de série do painel	0102
Dimensão (largura x altura)	172x172mm
Espessura	4mm
Massa	0,335Kg
Peso por m <sup>2</sup>	11,83Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Alumínio
Composição do lado de saída do projétil	Alumínio
Especificações do ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro nº1 da EA
Temperatura	25°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	115min
Temperatura	25°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Número da arma	010354
Comprimento do cano	125mm
Número de estrias do cano	6 no sentido destrorsum
Projétil	Cartucho 9mm M374
Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9mm
Origem	Portugal
Distancia ao alvo	10m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

**Relatório do Ensaio Balístico nº7****Tabela 31 - Ensaio balístico nº7 – geral**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	2
Tipo de painel	Compósito e Alumínio
Número de série do painel	0701 e 0202
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Painéis 0701 perfuração parcial. Painel 0202 não perfurado	
Outros comentários	
Nada a referir	

**Figura 44 - Lado de entrada do projétil. Painel 0701. Ensaio Balístico nº7**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 45 - Lado de saída do projétil. Painel 0701. Ensaio Balístico nº7**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

**Detalhes do Ensaio Balístico nº7**

**Tabela 32 - Ensaio balístico nº7 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Identificação do painel	
Número de painéis	2
Número de série do painel	0701 e 0202
Dimensão (largura x altura) – Painel 0701	200x200mm
Dimensão (largura x altura) – Painel 0202	172x172mm
Espessura - Painel 0701	12mm
Espessura - Painel 0202	4mm
Espessura – Total	16mm
Massa – Painel 0701	0,640Kg
Massa – Painel 0202	0,335Kg
Massa – Total	0,975Kg
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0701	16,00Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0202	11,83Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Total	27,83Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Fibra de Kevlar®
Composição do lado de saída do projétil	Alumínio
Especificações do ensaio	
Infraestrutura	Carreira de tiro nº1 da EA
Temperatura	25°C
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	130min
Temperatura	25°C
Especificações balísticas	
Arma	Pistola Walther P38 m/961
Número da arma	010354
Comprimento do cano	125mm
Número de estrias do cano	6 no sentido destrorsum
Projétil	Cartucho 9mm M374

Massa do projétil	+/- 8g
Calibre	9mm
Origem	Portugal
Distancia ao alvo	10m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

**Relatório do Ensaio Balístico nº8**

Tabela 33 - Ensaio balístico nº8 – geral  
Fonte: Elaboração Própria

Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	2
Tipo de painel	Compósito e Alumínio
Número de série do painel	0701e 0202
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Penetração total	
Outros comentários	
Nada a referir	

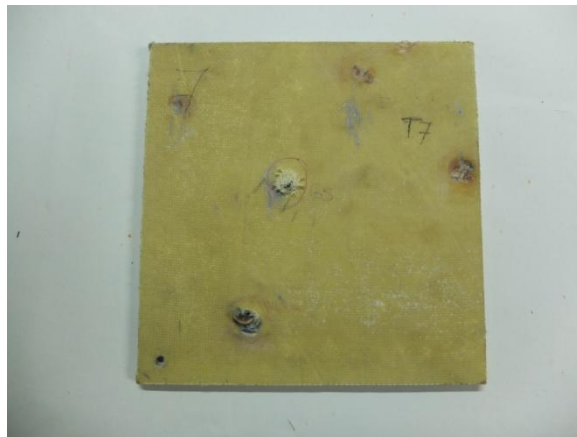
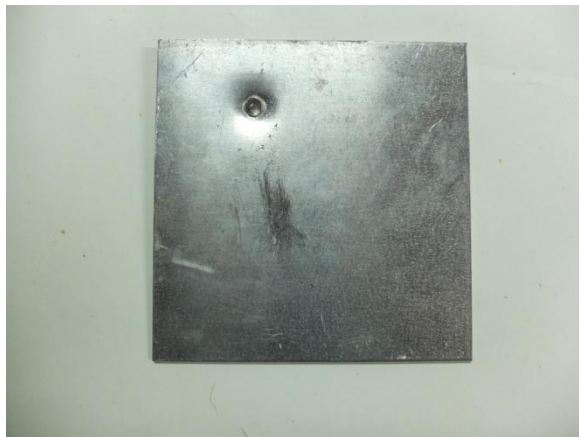


Figura 46 - Lado de entrada do projétil. Painel 0701. Ensaio Balístico nº8  
Fonte: Fotografia do Autor



**Figura 47 - Lado de saída do projétil. Painel 0701. Ensaio Balístico nº8**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 48 - Lado de entrada do projétil. Painel 0202. Ensaio Balístico nº8**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 49 - Lado de saída do projétil. Painel 0202. Ensaio Balístico nº8**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 50 - Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0202. Ensaio Balístico nº8**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

**Detalhes do Ensaio Balístico nº8**

**Tabela 34 - Ensaio balístico nº8 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Identificação do painel	
Número de painéis	2
Número de série do painel	0701 e 0202
Dimensão (largura x altura) – Painel 0701	200x2000mm
Dimensão (largura x altura) – Painel 0202	172x172mm
Espessura - Painel 0701	12mm
Espessura - Painel 0202	4mm
Espessura – Total	16mm
Massa – Painel 0701	0,640Kg
Massa – Painel 0202	0,335Kg
Massa – Total	0,975Kg
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0701	16,00Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0202	11,83Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Total	27, 83Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Fibra de Kevlar®
Composição do lado de saída do projétil	Alumínio
Condições a que o painel esteve exposto	
Duração	135min
Temperatura	25°C
Especificações balísticas	
Arma	Espingarda Automática G3
Número da arma	374165
Comprimento do cano	450mm
Número de estrias do cano	4 no sentido Dextrorsum
Projétil	Cartucho Normal 7,62 x 51mm M350
Massa do projétil	9,45g
Calibre	7,62mm
Origem	Portugal

---

---

Distancia ao alvo	50m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

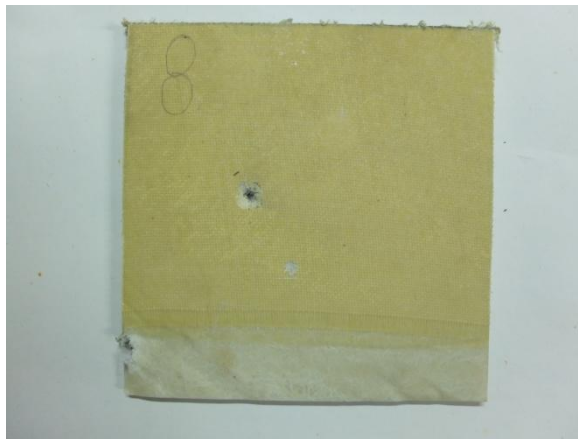
**Relatório do Ensaio Balístico nº9****Tabela 35 - Ensaio balístico nº9 – geral**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	2
Tipo de painel	Compósito
Número de série do painel	0501 e 0801
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Penetração total	
Outros comentários	
Nada a referir	

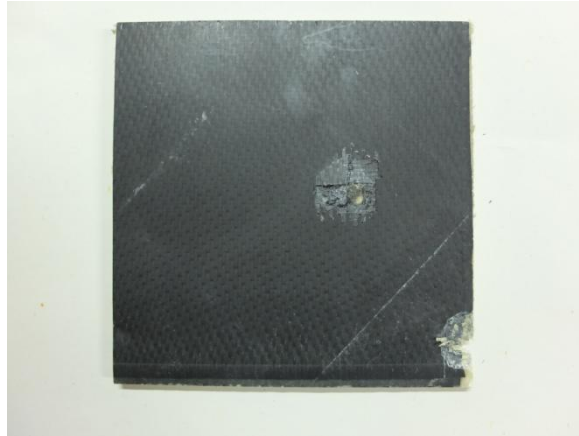
**Figura 51 - Lado de entrada do projétil. Painel 0501. Ensaio Balístico nº9**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 52 - Lado de saída do projétil. Painel 0501. Ensaio Balístico nº9**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 53 - Lado de entrada do projétil. Painel 0801. Ensaio Balístico nº9**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 54 - Lado de saída do projétil. Painel 0801. Ensaio Balístico nº9**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

**Detalhes do Ensaio Balístico nº9**

**Tabela 36 - Ensaio balístico nº9 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Identificação do painel	
Número de painéis	2
Número de série do painel	0501 e 0801
Dimensão (largura x altura) – Painel 0501	200x200mm
Dimensão (largura x altura) – Painel 0801	200x200mm
Espessura - Painel 0501	12mm
Espessura - Painel 0801	11mm
Espessura – Total	33mm
Massa – Painel 0501	0,650Kg
Massa – Painel 0801	0,535Kg
Massa – Total	1,185Kg
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0501	16,25Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0801	13,38Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Total	29,63Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Fibra de Kevlar®
Composição do lado de saída do projétil	Fibra de Carbono
Especificações balísticas	
Arma	Espingarda Automática G3
Número da arma	374165
Comprimento do cano	450mm
Número de estrias do cano	4 no sentido Dextrorsum
Projétil	Cartucho Normal 7,62 x 51mm M350
Massa do projétil	9,45g
Calibre	7,62mm
Origem	Portugal
Distancia ao alvo	50m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

**Relatório do Ensaio Balístico nº10**

**Tabela 37 - Ensaio balístico nº10 – geral**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	3
Tipo de painel	Compósito
Número de série do painel	0302, 0901 e 1001
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Penetração total	
Outros comentários	
Impacto não válido	



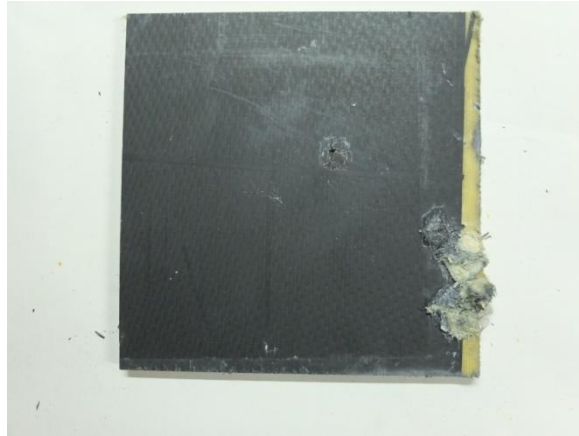
**Figura 55 - Lado de entrada do projétil. Painel 0302. Ensaio Balístico nº10**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 56 - Lado de saída do projétil. Painel 0302. Ensaio Balístico nº10**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



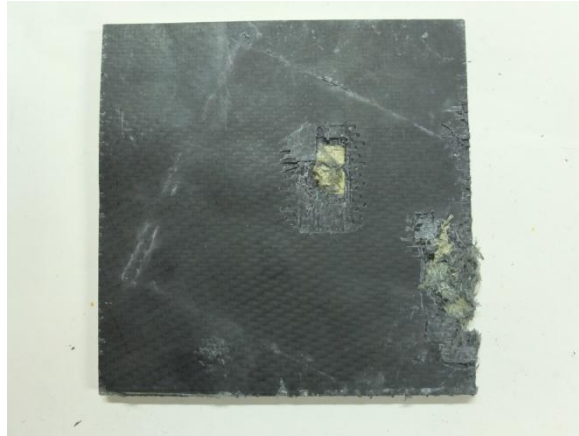
**Figura 57 - Lado de entrada do projétil. Painel 0901. Ensaio Balístico nº10**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 58 - Lado de saída do projétil. Painel 0901. Ensaio Balístico nº10**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 59 - Lado de entrada do projétil. Painel 1001. Ensaio Balístico nº10**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 60 - Lado de saída do projétil. Painel 1001. Ensaio Balístico nº10**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

**Detalhes do Ensaio Balístico nº10**

**Tabela 38 - Ensaio balístico nº10 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Identificação do painel	
Número de painéis	3
Número de série do painel	0901, 1001 e 0302
Dimensão (largura x altura) – Painel 0901	200x2000mm
Dimensão (largura x altura) – Painel 1001	200x200mm
Dimensão (largura x altura) – Painel 0302	172x172
Espessura - Painel 0901	12mm
Espessura - Painel 1001	12mm
Espessura - Painel 0302	4mm
Espessura – Total	28mm
Massa – Painel 0901	0,645Kg
Massa – Painel 1001	0,645Kg
Massa – Painel 0302	0,335Kg
Massa – Total	1,625Kg
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0901	16,13Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 1001	16,13Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0302	11,83Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Total	44,09Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Fibra de Kevlar®
Composição do lado de saída do projétil	Fibra de Carbono
Especificações balísticas	
Arma	Espingarda Automática G3
Número da arma	374165
Comprimento do cano	450mm
Número de estrias do cano	4 no sentido Dextrorsum
Projétil	Cartucho Normal 7,62 x 51mm M350
Massa do projétil	9,45g
Calibre	7,62mm

Origem	Portugal
Distancia ao alvo	50m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

**Relatório do Ensaio Balístico nº11****Tabela 39 - Ensaio balístico nº11 – geral**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Data do ensaio balístico	21/05/2015
Identificação do painel	
Número de painéis	4
Tipo de painel	Compósito e Alumínio
Número de série do painel	0302, 0901, 0402 e1001
Descrição do padrão de tiro	1 Impacto
Objetivo do teste	
Responder aos ReqEnsBal.	
Resultado do teste	
Penetração total	
Outros comentários	
Nada a referir	

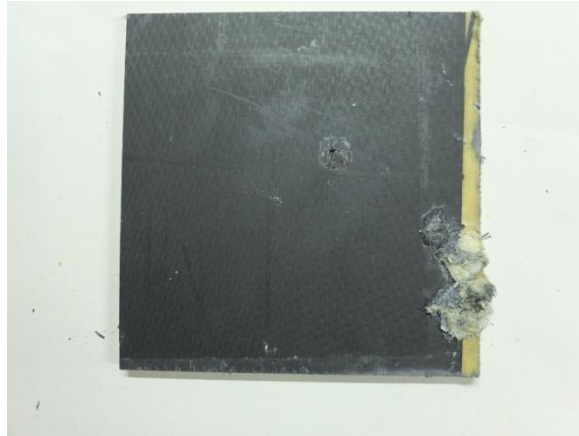
**Figura 61- Lado de entrada do projétil. Painel 0302. Ensaio Balístico nº11**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



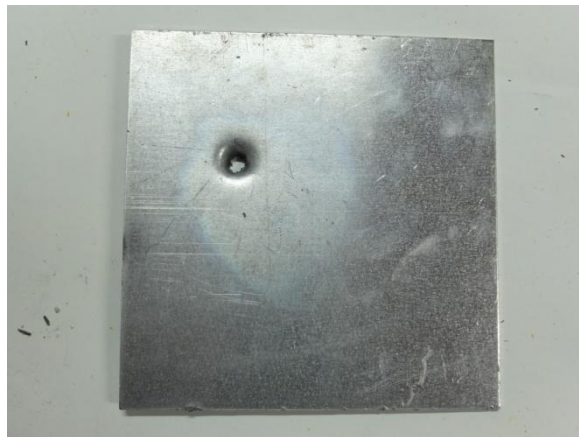
**Figura 62- Lado de saída do projétil. Painel 0302. Ensaio Balístico nº11**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 63 - Lado de entrada do projétil. Painel 0901. Ensaio Balístico nº11**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



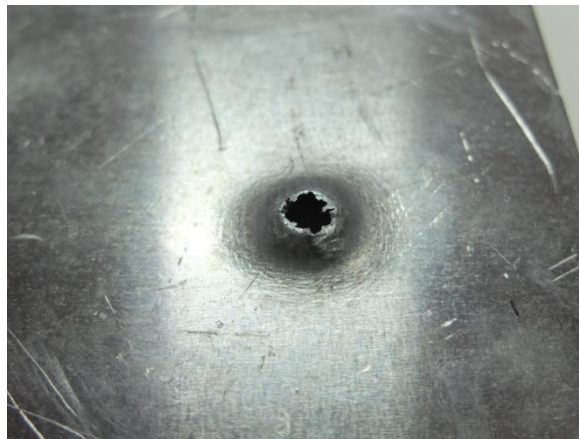
**Figura 64 - Lado de saída do projétil. Painel 0901. Ensaio Balístico nº11**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



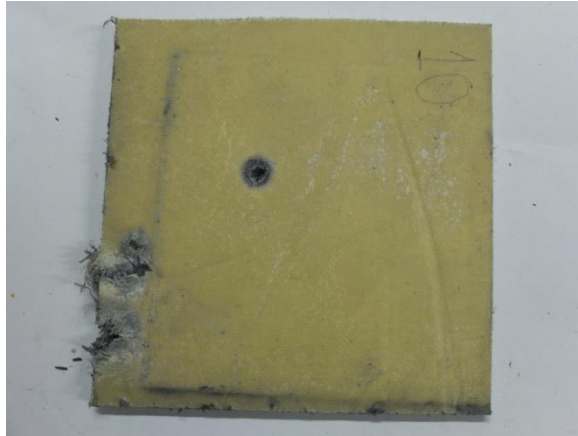
**Figura 65 - Lado de entrada do projétil. Painel 0402. Ensaio Balístico nº11**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



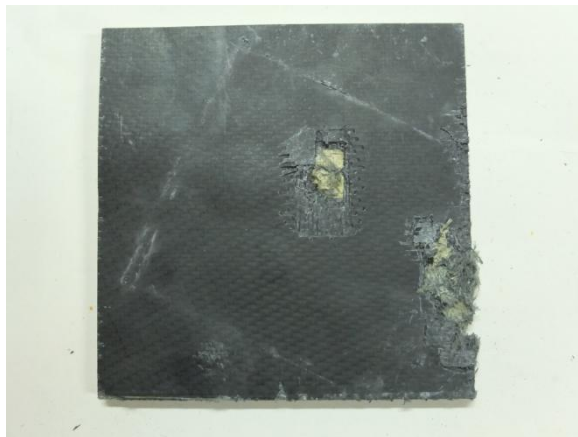
**Figura 66 - Lado de saída do projétil. Painel 0402. Ensaio Balístico nº11**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 67 - Lado de saída do projétil em pormenor. Painel 0402. Ensaio Balístico nº11**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 68 - Lado de entrada do projétil. Painel 1001. Ensaio Balístico nº11**  
**Fonte: Fotografia do Autor**



**Figura 69 - Lado de saída do projétil. Painel 1001. Ensaio Balístico nº11**  
**Fonte: Fotografia do Autor**

Responsável pelo teste: AspOf Inf Ferreira

**Detalhes do Ensaio Balístico nº11**

**Tabela 40 - Ensaio balístico nº11 – detalhe**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Identificação do painel	
Número de painéis	3
Número de série do painel	0901, 1001 e 0302
Dimensão (largura x altura) – Painel 0901	200x200mm
Dimensão (largura x altura) – Painel 1001	200x200mm
Dimensão (largura x altura) – Painel 0302	172x172mm
Dimensão (largura x altura) – Painel 0402	172x172mm
Espessura - Painel 0901	12mm
Espessura - Painel 1001	12mm
Espessura - Painel 0302	4mm
Espessura - Painel 0402	4mm
Espessura – Total	32mm
Massa – Painel 0901	0,645Kg
Massa – Painel 1001	0,645Kg
Massa – Painel 0302	0,335Kg
Massa – Painel 0402	0,335Kg
Massa – Total	1,960Kg
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0901	16,13Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 1001	16,13Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0302	11, 83Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Painel 0402	11, 83Kg/m <sup>2</sup>
Peso por m <sup>2</sup> – Total	55,92Kg/m <sup>2</sup>
Composição do lado de entrada do projétil	Fibra de Kevlar®
Composição do lado de saída do projétil	Fibra de Carbono
Especificações balísticas	
Arma	Espingarda Automática G3
Número da arma	374165
Comprimento do cano	450mm

Número de estrias do cano	4 no sentido Dextrorsum
Projétil	Cartucho Normal 7,62 x 51mm M350
Massa do projétil	9,45g
Calibre	7,62mm
Origem	Portugal
Distancia ao alvo	50m
Outras especificações	
Método de retenção do alvo	Fixo a estrutura do tipo moldura rígida

# **Anexos**

## Anexo A – Classe dos Projéteis

Table B.1, Acceptable projectiles for KE threat

Category	Calibre	Class	Projectile Mass [g]	Minimum Core Hardness	Core mass [g]	Acceptable projectile
A Lead core projectiles	9 x 19	A1	8.0 ± 0.1	-	-	According to STANAG 4090
	4.6 x 30	A2	2.6 ± 0.1	-	-	RUAG FMJ SX
	5.56 x 45	A3	3.6 ± 0.1	-	-	FN SS 92 / M 193
	7.62 x 51	A5	9.3 ± 0.1	-	-	According to STANAG 2310
	Emerging threats	A Special				NA specified
B Mild Steel Core Projectiles	4.6 x 30	B2	2.0 ± 0.1	40 HRC	2.0 ± 0.1	RUAG AP SX
	5.56 x 45	B3	4.0 ± 0.1	40 HRC	0.4 ± 0.1	According to STANAG 4172
	7.62 x 39	B4	7.9 ± 0.2	40 HRC	3.6 ± 0.1	7,62 x 39 M 43 PS
	7.62 x 51	B5	9.6 ± 0.1	40 HRC		
Emerging threats	B Special				NA specified	
C Hardened steel core projectiles	7.62 x 39	C4	7.7 ± 0.3	60 HRC	4.0 ± 0.1	7,62 x 39 API BZ
	7.62 x 51	C5	9.5 ± 0.1	60 HRC	4.6 ± 0.1	FN P80
	7.62 x 54	C6	10.4 ± 0.5	60 HRC	5.3 ± 0.2	7,62 x 54R B32 API
	7.62 x 63	C7	10.7 ± 0.1	60 HRC	5.2 ± 0.1	M2 AP US Arsenal
	Emerging threats	C Special				NA specified
D Tungsten Cobalt (WC) Core projectiles	9 x 19 AP	D1	5.7 ± 0.1	70 HRC		MEN 9x19 AP
	5.56 x 45	D3	3.4 ± 0.1 4.0 ± 0.1	70 HRC	2.2	M995 MEN AP DM 31
	7.62 x 51	D5	8.2 ± 0.1	70 HRC	5.9	M 993 Nammo AP8
	Emerging threats	D Special				NA specified

Figura 70 - Classe dos Projéteis.  
Fonte: AEP-2920, 2014

## Anexo B – Munições Utilizadas

	FICHA DE MATERIAL	DESIGNAÇÃO (NOMENCLATURA)	NNA
	3A500.1305.01		1305260503236
	TIPO DE MATERIAL	CARTUCHO 9MM M374	
	MUNIÇÕES		
CÓDIGO	COMPATIBILIDADE	ARMA	ORIGEM
A7.04	1.4S	PISTOLA WALTHER PIST MET FBP	PORTUGAL
			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
	TIPO	Normal, Parabellum	
	COMPRIMENTO	29,69 mm	
	PESO	12,4 g	
	Ø BASE	9,95 mm	
	VELOCIDADE INICIAL	+/- 384 m/s	
<b>BALA</b>			
	COMPRIMENTO	15,7 mm	
	PESO	+/- 8 g	
	MATERIAL	Camisa - Aço Revestido a Latão Núcleo - Liga Chumbo + 2,5% Antimônio	
<b>CAIXA CARTUCHO</b>			
	MATERIAL	Latão	
	COMPRIMENTO	19,1 mm	
	PESO	+/- 3,7 g	
	CARGA PROPULSORA	+/- 0,46 g Pólvora Base Simples	
	ESCORVA	Cápsula Fulminante Tipo "BERDAN"	
<b>EMBALAGEM</b>			
		CUNHETE P/ 2.400 CARTUCHOS	CUNHETE P/ 2.500 CARTUCHOS
	MATERIAL	Madeira	Madeira
	PESO	33,5 kg	37 kg
	DIMENSÕES	360 x 310 x 165 mm	360 x 165 x 310 mm
	VOLUME	0,018 m <sup>3</sup>	0,018 m <sup>3</sup>
ENTIDADE EMISSORA	STOCK DA PUBLICAÇÃO	ANO DE FABRICO	CLASSIFICAÇÃO
RET/DSM	RET/DSM		RESERVADO

Figura 71 - Cartucho 9 mm M374.  
Fonte: FIMAT, 2001



	FICHA DE MATERIAL 3A300.1305.01	DESIGNAÇÃO (NOMENCLATURA) CARTUCHO NORMAL 7,62 x 51MM M350	NNA 1305260503233
	TIPO DE MATERIAL MUNIÇÕES		
CÓDIGO A3.01.01	COMPATIBILIDADE 1.4S	ARMA ESP AUT G3 7,62MM, MET. HK21 etc.	ORIGEM PORTUGAL
			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
	TIPO	Normal	
	COMPRIMENTO	70,8 mm	
	PESO	24,6 g	
	Ø BASE	12 mm	
	VELOCIDADE (V <sub>10</sub> )	837 m/s	
	COR DE CÓDIGO	Não tem	
<b>BALA</b>			
	COMPRIMENTO	28,9 mm	
	PESO	9,45 g	
	MATERIAL	Camisa - Aço Tombac Núcleo - Chumbo Antimónio	
<b>CAIXA CARTUCHO</b>			
	MATERIAL	Latão	
	COMPRIMENTO	51 mm	
	PESO	11,2 g	
	CARGA PROPULSORA	+/- 2,88 g Pólvora Esférica de Dupla Base	
	ESCORVA	Cápsula Fulminante c/ 34 mg SYNOXID	
<b>EMBALAGEM</b>			
		PRIMÁRIA CAIXA P/ 20 CARTUCHOS	SECUNDÁRIA CUNHETE P/ 1000 CARTUCHOS
	MATERIAL	Cartão	Madeira
	PESO		31 kg
	DIMENSÕES	76 x 63 x 45 mm	420 x 350 x 128 mm
	VOLUME	0,00021 m <sup>3</sup>	0,021 m <sup>3</sup>
ENTIDADE EMISSORA RET/DSM	STOCK DA PUBLICAÇÃO RET/DSM	ANO DE FABRICO	CLASSIFICAÇÃO RESERVADO

Figura 72 - Cartucho Normal 7,62 x 51 mm M350.  
Fonte: FIMAT, 2001