

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020




Balística e Tiro

História

Victor Lobo
Baseado no material do
1TEN Baptista Claro (2018/19)
CFR EN-AEL Conceição Palma (2010/2014)

3º ano dos cursos EN-AEL e FZ

1



História - Balística externa

- A **primeira pedra arremessada pelo homem** pré-histórico foi provavelmente o primeiro exemplo de balística externa;
- A vantagem de serem capazes de atirar mais longe e com mais força conduz ao aparecimento da **funda e da lança**.

2

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

História - Balística externa

- Seguidamente aparece o **arco** e após este surgiu a “**Ballista**”, arma à qual deve o seu nome.

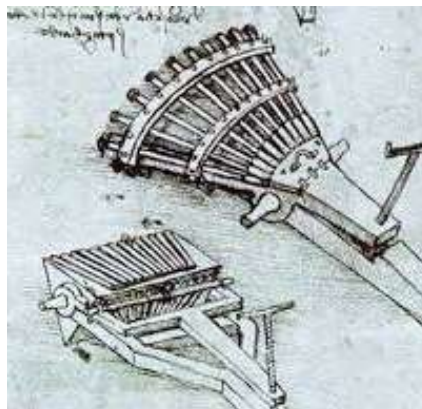


3

História - Balística externa



- Foi o trabalho de **Leonardo da Vinci (1452 - 1519)** que:
 - Originou o desenvolvimento da engenharia aplicada em novas armas;
 - **Desenhou uma série de tipos de armas**, como as versões primitivas dos tanques e submarinos, do canhão, do morteiro e da espingarda;
 - Produziu as **bases teóricas para os fenómenos aerodinâmicos**.



4

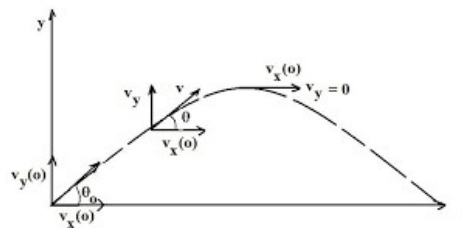
Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

História - Balística externa

■ Galileo Galilei (1562 - 1642)

- Passou a ciência exata;
- Dedução da curva parabólica da trajetória;
- Argumentava que a desaceleração do projétil era função de:
 - Peso;
 - Forma;
 - Velocidade.



- Abriu o caminho aos trabalhos posteriores de **Sir Isaac Newton (1642 - 1727)** que foi provavelmente o mais importante dos primeiros fundadores da balística.

5

História - Balística externa

- O primeiro e mais importante sucessor de Newton foi o Suíço **Leonhard Euler (1707 - 1783)** que analisou experimentalmente os alcances obtidos em cada tiro com o objetivo de determinar a trajetória das munições do canhão.
- Em **1742 Benjamin Robins** inventou o **pêndulo balístico** com o qual determinou a velocidade das munições nos mosquetes à saída da boca.

6

Balística e Tiro (parte 1)

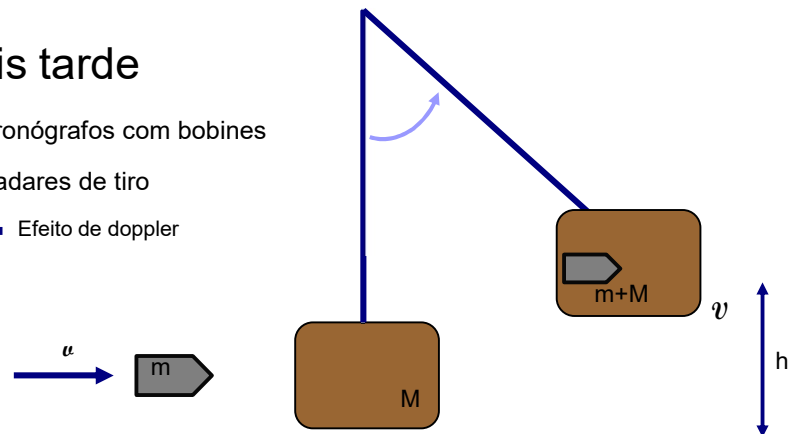
3º Ano EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

História - Balística externa

■ Pêndulo Balístico de Benjamin Robins

■ Mais tarde

- Cronógrafos com bobinas
- Radares de tiro
 - Efeito de doppler



7

História - Balística externa

■ Charles Wheatstone (1802-1875)

- Grandes progressos na determinação do tempo de voo dos projéteis;
- Medição através da quebra de um círculo elétrico pela passagem do projétil – primeiros cronógrafos balísticos

■ Francis Bashforth (1819-1912)

- Cronógrafo elétrico;
- Determinação da trajetória dos projéteis. Directores de tiro que viriam a ser cruciais na 1ª Grande Guerra

8

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

História - Balística externa

■ Séc. XIX

- Grandes evoluções no campo da aerodinâmica;
- Forma dos projéteis;
- Armas estriadas;
- Ressurgimento do *Rocket* (inutilizado desde Sec XIV).

■ William Congreve (1772-1828)

- Rockets incendiários com alcance de 3Km. (Congreve Rockets)

9

História - Balística externa

- No tempo de Napoleão todos os exércitos europeus tinham rockets;
- William Hale (1797-1870)
 - Inventou o rocket estabilizado por rotação.
- Rotação dos projeteis estabilizou-os ao longo das trajetórias
 - Aerodinâmica e gravidade.

10

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

História - Balística externa

■ Séc. XX

- Estabelecidas as bases matemáticas para todas as forças aerodinâmicas do projétil em voo;
- A elaboração experimental das tabelas de tiro foi ultrapassada pela utilização do computador;
- Continua a ser necessário o estudo das trajetórias para cada tipo de projéteis.
- Projectéis guiados

11

Balística interna

Estuda a combustão do propulsor de um projétil e o seu movimento dentro da alma da arma.



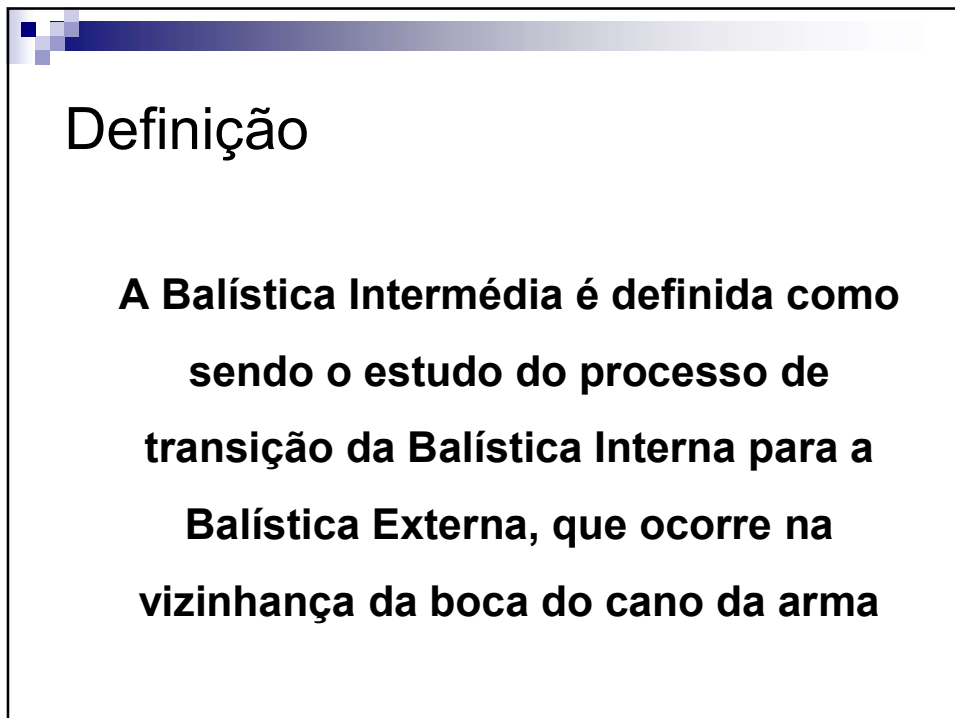
12

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020



13



Definição

A Balística Intermédia é definida como sendo o estudo do processo de transição da Balística Interna para a Balística Externa, que ocorre na vizinhança da boca do cano da arma

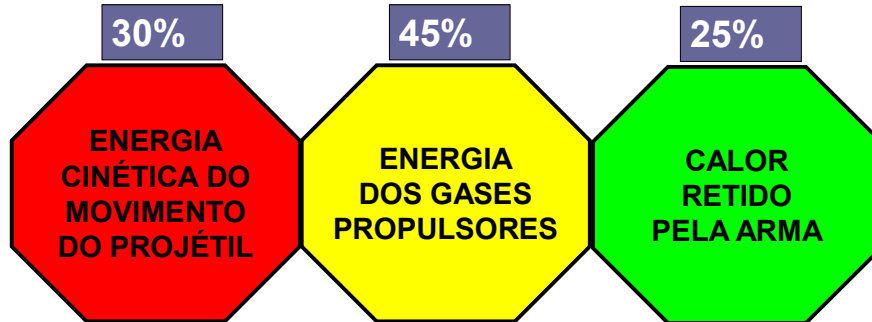
14

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Definição

Numa arma convencional a distribuição de energia à boca faz-se da seguinte maneira



15

Definição

- Como podemos ver cerca de 75% da energia gerada pela balística interna, está contida nos gases que escapam do cano, sob a forma de



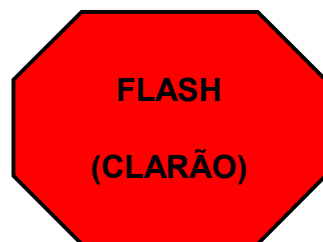
16

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Definição

- O comportamento dos gases que saem à boca vão influenciar o movimento do projétil e da arma
- A energia contida nesses gases vai produzir uma onda de choque que associada ao rápido movimento do ar circundante pode provocar danos no pessoal e material
- Os gases vão gerar à boca dois fenómenos:



17

Definição

- A mistura do gás da arma (grande pressão) com o ar ambiente vai provocar uma zona de turbulência
- As ondas de pressão resultantes dessa turbulência, irradiam-se à velocidade do som sob a forma de ruído
- Na vizinhança da boca da arma, durante a sequência de tiro, há três grandezas que variam consideravelmente

**TEMPERATURA
DO GÁS**

PRESSÃO

DENSIDADE

18

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Fluxo do gás à boca

- Onda de choque
 - Onda de som de grande intensidade
 - A intensidade é suficiente para auto-induzir um aumento significativo da velocidade, relativamente aquela prevista pela equação do som
 - Devido ao aumento de temperatura (gerado pela passagem da onda de choque), a velocidade do som é aumentada
 - A onda de choque avança mais rapidamente que os sons de menor intensidade

19

Fluxo do gás à boca

- O ruído gerado pela mistura turbulenta de gases gerada nas imediações da boca vai avançar em duas direções
 - Na direção do projétil
 - Na direção contrária (sentido da câmara)
- Quando a pressão do gás no cano cai abruptamente, o que ocorre quando o projétil abandona a boca
 - O ruído gerado avança a uma velocidade superior à do som provocando um estampido
 - A esta onda dá-se o nome de onda de choque de sopro

20

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Fluxo do gás à boca

- A saída de gás durante o disparo desenvolve-se em duas fases:
 - Primeiro produz-se uma onda de choque precursora, que precede a saída do projétil pela boca
 - Depois cria-se a onda de choque principal, que se origina quando o projétil abandona a alma e o gás sai pela boca do cano.
- Campos gerados à boca do cano

**CAMPO DO SOPRO
PERCURSOR**

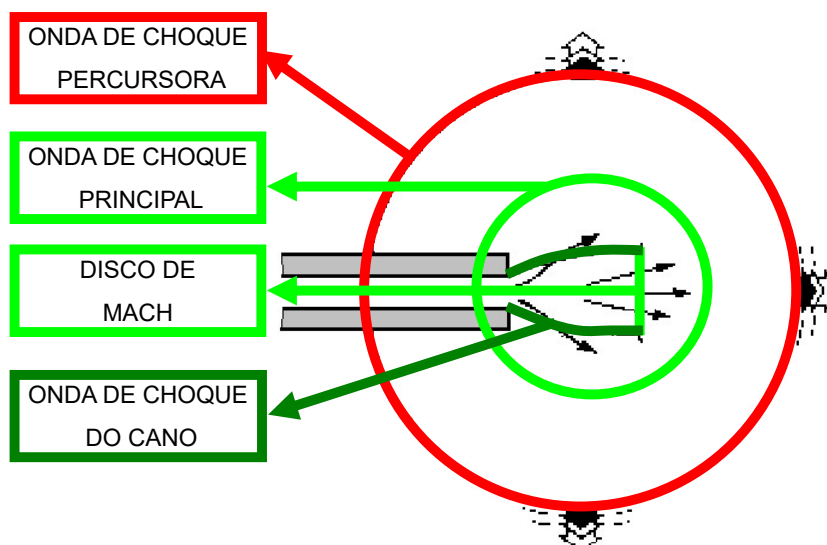
ESTE CAMPO
PRECEDE A SAÍDA
DO PROJÉTEL
DA BOCA DO CANO

**CAMPO DO SOPRO
PRINCIPAL**

ESTE CAMPO É ORIGINADO,
QUANDO A ALTA PRESSÃO
DOS GASES PROPULSORES É
INJETADA NO AR AMBIENTE

21

Fluxo do gás à boca



22

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

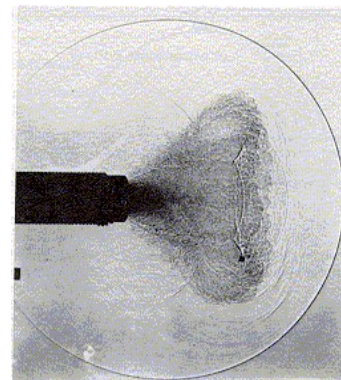
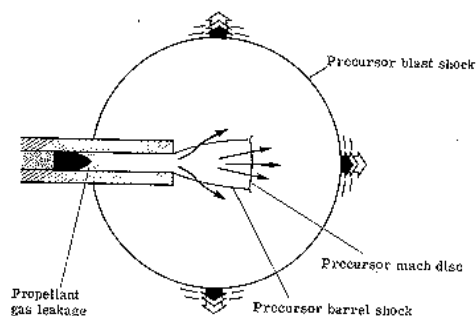
Fluxo do gás à boca

- Campo do sopro precursor
 - Aquando da aceleração do projétil no interior do cano, empurra a coluna de ar à sua frente
 - Que poderá ser aumentada pelo escape de alguma parte do gás propulsor
 - Esta coluna de ar gera uma onda de choque à frente do projétil que vai avançar ao longo do cano
 - À boca vai então expandir-se sob a forma de onda de choque precursora

23

Fluxo do gás à boca

- Campo do sopro precursor



24

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Fluxo do gás à boca

■ Campo do sopro principal

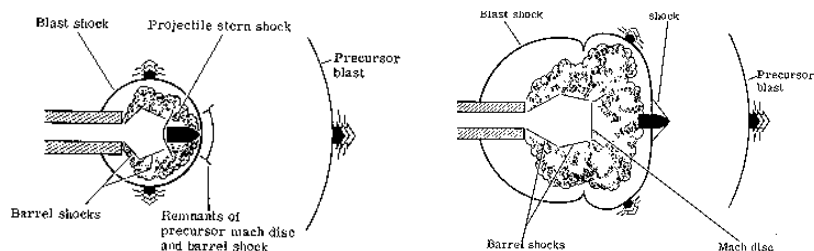
- Quando o projétil abandona o cano, a alta pressão de gases libertada produz uma onda de choque muito potente
- Esta onda vai propagar-se muito rapidamente dentro do campo do fluxo da onda precursora acabando por se sobrepor a esta
- Devido à presença do projétil esta onda de choque não tem forma esférica
- No início os gases possuem uma velocidade superior à do projétil, o que vai dar origem a uma pequena onda de choque na cauda provocando-lhe uma pequena aceleração

25

Fluxo do gás à boca

■ Campo do sopro principal

- Durante este fenómeno são formados um novo disco de Mach e onda do cano
- À medida que os gases perdem velocidade este fenómeno acaba por perder intensidade
- O que resta do disco de Mach, vai recuar e entrar no cano
- Formando uma nova onda denominada por onda de retorno



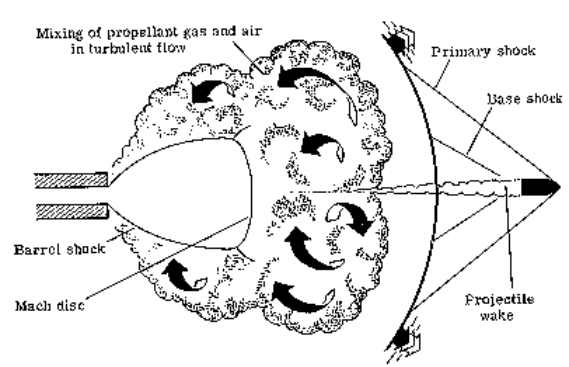
26

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Fluxo do gás à boca

- Campo do sopro principal
 - Finalmente fruto da sua velocidade supersónica o projétil fura a onda de sopro



27

Fluxo do gás à boca



28

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Fluxo do gás à boca



29

Fluxo do gás à boca



30

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Fluxo do gás à boca



31

Fluxo do gás à boca



32

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Escovilhagem

- Para as armas de grande calibre é necessária uma limpeza adequada. Esta limpeza, chamada de escovilhagem, ocorre após cada tiro.
- Com o auxílio da pressão acumulada pelo recuo dos gases, injeta-se uma mistura de ar e água.
- Para a peça de 100mm esta água tem um aditivo de fosfato trissódico e bicromato de potássio, usado como descobrente, anticorrosivo e ainda tem um anti-congelante.
- Consome 6-8 litros por cada 100 tiros. Depósito leva 250L

33

Flash

É a radiação visível emitida na vizinhança da boca dos gases propulsores quentes e pelas reações químicas que dão lugar quando da mistura desses gases com o ar

34

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Flash

- Manifesta-se de quatro formas:

PRÉ-FLASH

FLASH
PRIMÁRIO

FLASH
INTERMÉDIO

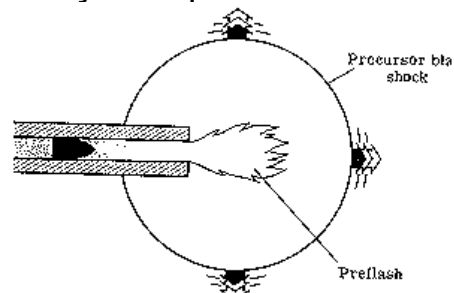
FLASH
SECUNDÁRIO

35

Flash

- Pré-flash

- Antes do projétil abandonar o cano pode ser ultrapassado por partículas da carga com uma temperatura suficientemente alta para provocar uma reação a que se dá o nome de pré-flash



36

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Flash

■ Flash Primário

- É gerado pelos gases que precedem o projétil, e o seu contacto com o ar provoca a chama
- A sua expansão e conseqüente arrefecimento conduz ao seu desaparecimento

37

Flash

■ Flash Intermédio

- Quando os gases ultrapassam o disco de Mach, são novamente comprimidos
- A sua temperatura é novamente elevada
- Gerando assim uma nova radiação que se denomina flash intermédio

38

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Flash

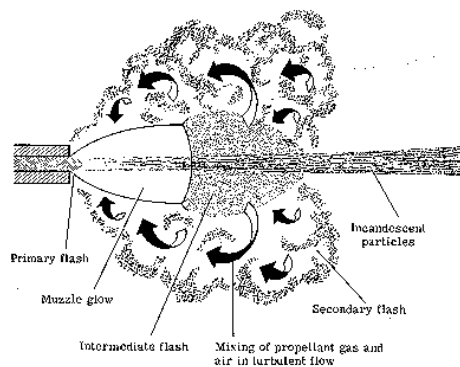
■ Flash Secundário

- Devido à ignição dos gases combustíveis quentes
 - Hidrogénio e monóxido de carbono misturados com o oxigénio da atmosfera
- Vai provocar uma radiação mais brilhante que as anteriores
- Nas armas de pequeno calibre, a temperatura e a densidade dos gases combustíveis é insuficiente para que este fenómeno se realize

39

Flash

- Finalmente, as partículas quentes e remanescentes da queima do propulsor podem formar um rasto de luz na cauda do projétil



40

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Flash

- Flash primário e intermédio de uma arma de 7.62mm



41

Flash

- Flash secundário na fonte da telha - RAC



42

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Flash

■ Métodos para suprimir o flash

- O flash é indesejável para fins militares, especialmente o flash secundário, uma vez que de noite indica a posição das armas ao inimigo e cega temporariamente a guarnição das armas
- Devido ao facto da sua presença ser indesejável, tenta-se suprimi-lo



43

Flash

■ Dispositivos na boca

- Atuam normalmente no flash intermédio para evitar a ignição da mistura gasosa
- A forma mais simples de dispositivo é o chamado oculta-chamas
- Não é mais que um estratagema colocado de modo a rodear o flash primário
 - Escondendo-o em todas as direções com exceção da linha de fogo
 - Como o flash primário tende a ser insignificante, este tipo de supressor é normalmente ineficaz
- Os dispositivos supressores de flash modernos, embora chamados oculta-chamas, têm como objetivo real dispersar ou bloquear a onda do cano e o disco de Mach

44

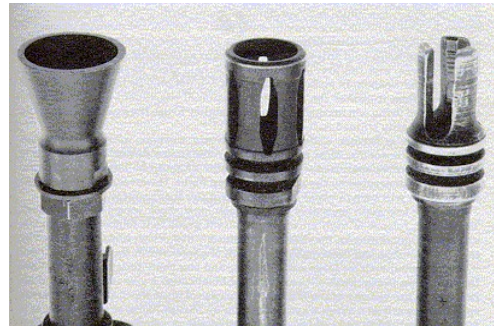
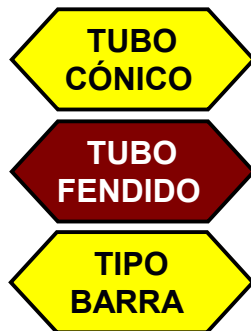
Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Flash

■ Dispositivos na boca

- Os três tipos de dispositivos para a supressão de flash geralmente utilizados são:



45

Flash

■ Dispositivos na boca

- O tubo fendido e o tipo barra empregam um certo número de ranhuras
- Estas características são usadas tendo em conta evitar oscilações do gás à boca que possam interferir com o movimento do projétil

■ Escolhendo os propulsores

- Nas armas de grande calibre, a solução passa pela utilização de pólvoras com grande concentração de azoto
- Esta técnica dilui a fração de combustível dos gases propulsores e reduz a temperatura total
- Este requisito é encontrado em cargas de base tripla. Devido à larga percentagem de azoto encontrado na nitroguanidina

46

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Flash

■ Aditivos na carga

□ Nas armas de grande calibre

- O flash também pode ser reduzido pela adição de sais de potássio e sódio (aditivos) à carga propulsora especialmente na forma de
 - Sulfato de potássio
 - Nitrato de potássio
 - Criolite de potássio
 - Criolite de sódio
- A sua presença inibe a formação e queima do hidrogénio
- No entanto, estes aditivos têm o inconveniente de aumentar a quantidade de fumo produzido, condicionando a sua utilização.

47

Sopro (“blast”)

- Comporta os efeitos produzidos pelas ondas de pressão dos gases tanto na Balística Intermédia como na Balística Terminal
- A característica mais familiar do sopro de uma arma, é o ruído produzido pela libertação da alta pressão dos gases propulsores na atmosfera
- Perto da arma, o sopro pode ser suficientemente intenso para provocar danos nos ouvidos e, em casos extremos, danos nos pulmões e tecidos mais fracos
- As guarnições das armas estão sujeitas a um intenso ruído do sopro
 - Normalmente acima dos 140 decibéis
 - Que poderão causar perturbações nos ouvidos

48

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

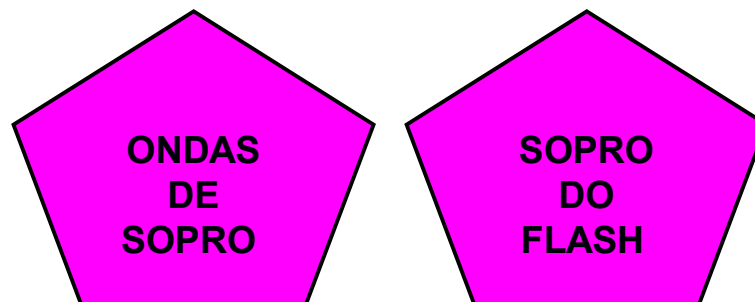
Sopro

- É particularmente perigoso nas armas portáteis anti-tanque (*recoilless rifles*)
 - A cabeça do atirador tem de ser colocada junto à arma
 - O sopro não é só ouvido, é também sentido sob a forma de uma explosão que abana o corpo
- Como a maioria das armas dispara projéteis supersónicos os tiros são facilmente ouvidos devido às ondas de choque geradas pelo projétil durante o voo
- Então qualquer redução do sopro à boca ajudará a evitar a identificação pelo inimigo.

49

Sopro à boca

- Originado por dois fenómenos:



50

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

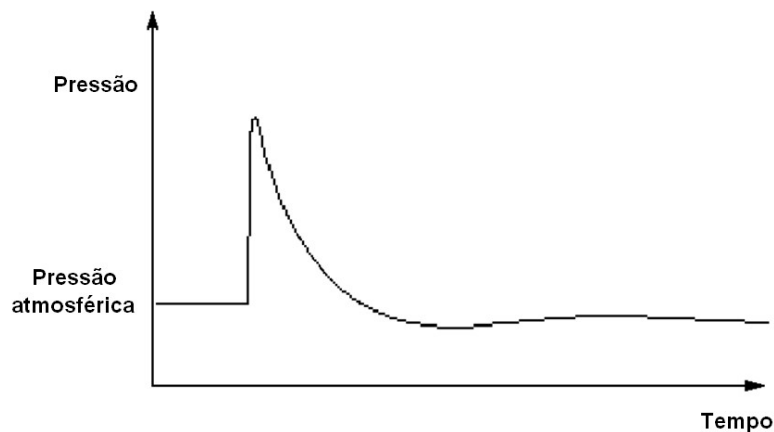
Sopro

- 1) Onda de sopro, devido à libertação súbita de gases a alta pressão após a saída do projétil
- 2) Sopro do flash
 - É produzido pelo rápido aquecimento
 - Consequente expansão dos gases durante o flash secundário
 - É mais importante nas armas de grande calibre
 - Contribui com mais de metade do ruído total
- Ambos os tipos de sopro causam um aumento de pressão do gás e do ar que rodeia a peça
- A onda de sopro espalha-se para o exterior sob a forma de onda de choque (principal)
- O sopro do flash parece-se com um som intenso
 - A sobrepressão é extremamente alta
 - Mas cai rapidamente para níveis mais baixos

51

Sopro

- Seção reta de uma onda de choque idealizada



52

Balística e Tiro (parte 1)

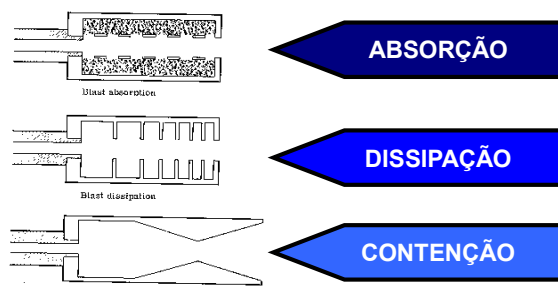
3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Sopro

■ Métodos de supressão do sopro

□ Armas de pequeno calibre

- A onda de sopro pode ser suprimida pelos denominados silenciadores
- Um silenciador não elimina completamente o ruído da arma (apenas consegue “moderar”)



53

Slow motion video

54

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Sopro

■ Métodos de supressão do sopro

□ Armas de grande calibre

- Torna-se impraticável o uso de silenciadores
- o seu tamanho teria de ser incomportavelmente grande



55

Sopro

SOLUÇÕES

REDISTRIBUIR

A ENERGIA DO CAMPO DE SOPRO, TAL QUE OS NÍVEIS DE RUÍDO SEJAM REDUZIDOS EM ALGUMAS REGIÕES DO CAMPO DE SOPRO, NÃO OBSTANTE AUMENTE O MESMO NOUTRAS

RETIRAR

ENERGIA DA ONDA DE SOPRO, RESULTANDO UMA REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE SOM NO CAMPO DE SOPRO

56

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Sopro

- Fatores que afetam a guarnição durante o tiro
 - A maioria do sopro é dirigido para a frente, pelo movimento dos gases propulsores
 - Temos que ter em conta os seguintes fatores
 - Pico de sobrepressão dos ouvidos
 - Duração efetiva do sopro intenso
 - Comprimento de onda do ruído do sopro
 - Proteção dos ouvidos
 - Repetição da exposição ao sopro
 - Suscetibilidade pessoal ao sopro
 - Região de frequência sensível para o ouvido, varia entre os 1000 e os 6000 Hz
 - Proteção auditiva deve ser adequada e sempre usada.

57

Sopro



58

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Recuo

É o movimento para a retaguarda da arma como reação ao movimento para a frente imprimido ao projétil e gases propulsores

59

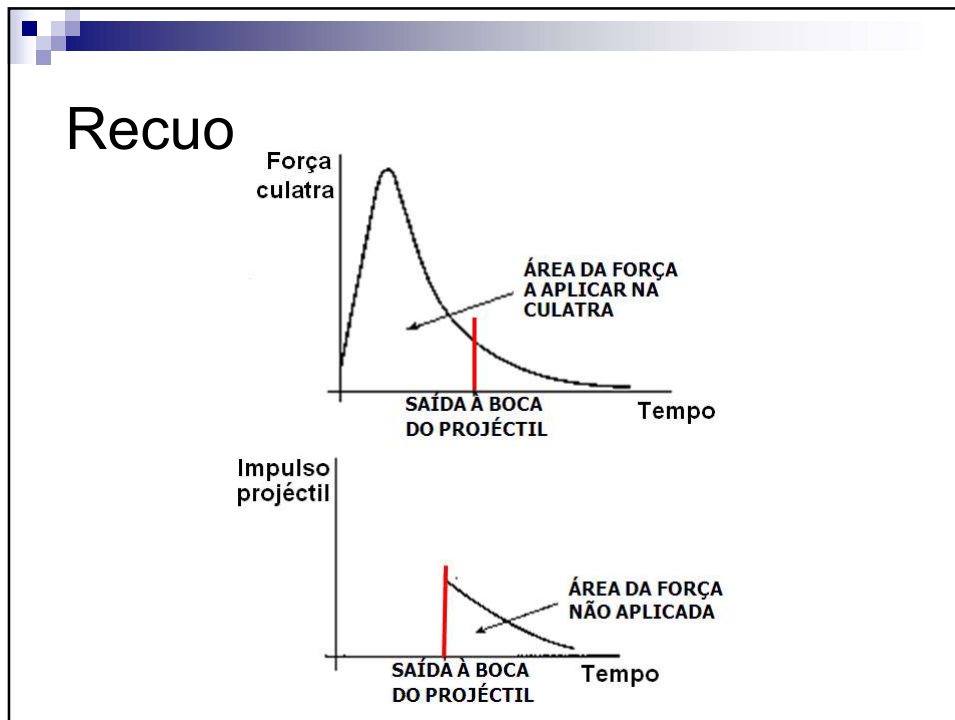
Recuo

- A velocidade de recuo da arma é pequeno comparado com a do projétil
- A arma é relativamente pesada
 - Requer um considerável efeito de travão para parar o seu movimento
- O recuo das armas de pequeno calibre é aceitável, mas para armas de grande calibre o recuo pode ser um problema sério
- Tipicamente, uma arma atinge 70-90% do seu impulso de recuo antes do projétil ter sequer abandonado o cano
- É normalmente absorvida ou transmitida pelo sistema de recuo
- Solução pode passar por dispersar o recuo por um intervalo de tempo maior
 - Reduzir a máxima força (pico) aplicada à arma

60

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020



61

Recuo

- Travão de boca serve para inverter a força de saída dos gases, e um travão comum pode reduzir recuo até 25%

The diagram shows a muzzle brake on the left with two yellow rectangular ports. Dashed lines represent the path of gas escaping from these ports, curving upwards and downwards. A solid black arrow points to the right, representing the bullet's path. Below the diagram are three red arrows: the leftmost points left and is labeled 'Momento para a retaguarda' (Momentum to the rear); the middle points right and is labeled 'Avanço da arma devido à deflexão do gás' (Forward movement of the weapon due to gas deflection); the rightmost points right and is labeled 'Momento para vante' (Momentum to the front).

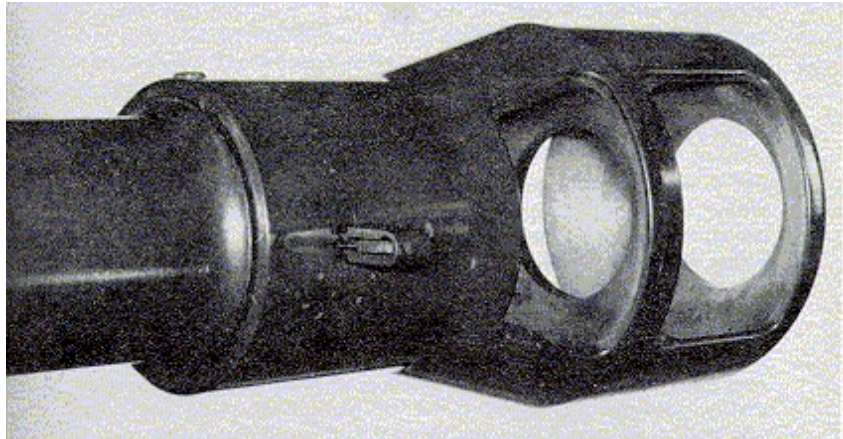
62

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Recuo

- Travão de boca



63

Recuo

- Travão de boca



64

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Recuo

- Desvantagens do uso de travões de boca
 - Aumenta o ruído do sopro sofrido pelo atirador
 - Sujeita a parte final do cano a um esforço excessivo



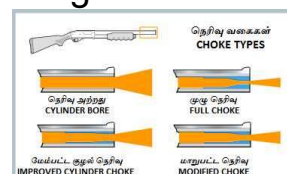
65

Recuo

- Outros dispositivos à boca do cano
 - Compensadores do recuo vertical (“Coice”)



- Dispositivos para contenção de gases ou modelação (“choke”)



66

Balística e Tiro (parte 1)

3ºAno EN-AEL e FZ
V 0.1 V.Lobo, EN 2020

Questões