

**MINISTÉRIO DA DEFESA
COMANDO DA AERONÁUTICA**



MATERIAL BÉLICO

ICA 135-26

**METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE RISCO
PARA ESTANDES DE TIRO NO COMAER**

2023

**MINISTÉRIO DA DEFESA
COMANDO DA AERONÁUTICA
DIRETORIA DE MATERIALAERONÁUTICO E BÉLICO**



MATERIAL BÉLICO

ICA 135-26

**METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE RISCO
PARA ESTANDES DE TIRO NO COMAER**

2023



MINISTÉRIO DA DEFESA
COMANDO DA AERONÁUTICA
DIRETORIA DE MATERIAL AERONÁUTICO E BÉLICO

PORTARIA DIRMAB N° 108/PLON, DE 22 DE JUNHO DE 2023.

Aprova a edição da ICA 135-26, instrução que dispõe sobre "metodologia de gerenciamento de risco para estandes de tiro no COMAER".

O DIRETOR DE MATERIAL AERONÁUTICO E BÉLICO, no uso de suas atribuições lhe confere o inciso III do Art. 11, do Regulamento da Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico (ROCA 21-24), aprovado pela Portaria GABAER n° 96/GC3, de 24 de maio de 2021, resolve

Art. 1º Aprovar a edição da ICA 135-26 "Metodologia de Gerenciamento de Risco para Estandes de Tiro no COMAER".

Art. 2º Esta Portaria entra em vigor no primeiro dia útil da semana subsequente à sua publicação.

Maj Brig Ar RAMIRO KIRSCHPINHEIRO
Diretor da DIRMAB

(Publicado no BCA n° 115, de 26 de junho de 2023)

SUMÁRIO

1 DISPOSIÇÕES PRELIMINARES	4
1.1 <u>FINALIDADE</u>	4
1.2 <u>COMPETÊNCIA</u>	4
1.3 <u>DEFINIÇÕES</u>	4
1.4 <u>ÂMBITO</u>	8
2 CONTEXTUALIZAÇÃO	9
2.1 <u>MOTIVAÇÃO</u>	9
2.2 <u>APLICABILIDADE</u>	9
3 METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE RISCO DE ESTANDES DE TIRO	10
3.1 <u>IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS (HAZARDS)</u>	10
3.2 <u>AVALIAÇÃO DE RISCOS</u>	10
3.3 <u>MITIGAÇÃO DE RISCOS</u>	13
3.4 <u>ACEITAÇÃO DO RISCO</u>	13
3.5 <u>ACOMPANHAMENTO DE RISCO</u>	14
4 DISPOSIÇÕES FINAIS	15
REFERÊNCIAS	16
Anexo - Metodologia de Estimação de Probabilidades de Fugas de Projéteis	17

1 DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

1.1 FINALIDADE

Esta Instrução tem por finalidade fornecer orientações básicas em relação ao gerenciamento de risco de estandes de tiro no âmbito do COMAER que não estejam em conformidade com as previsões do MCA 135-3, especificamente dos riscos relacionados a instalações.

1.2 COMPETÊNCIA

É de competência da Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico (DIRMAB) a emissão de estudos e relatórios relativos a análises de risco e suas decorrências, de forma a apoiar a tomada de decisão no contexto do MCA 135-3.

1.3 DEFINIÇÕES

1.3.1 ANÁLISE DE RISCO

No âmbito deste documento, consiste em uma inspeção de avaliação, utilizando uma metodologia de gerenciamento de risco, para atestar e aceitar o nível de risco de cada configuração de projeto de estande de tiro proposto ou estande de tiro já construído, que não se adeque integralmente às especificações definidas no MCA 135-3.

1.3.2 APARADOR DE PROJÉTEIS OU TALUDE FRONTAL

Barreira natural ou artificial destinada a amortecer os impactos dos projéteis. Ocasionalmente pode necessitar da interação de uma barricada de terra com o incremento de uma chapa metálica para executar a função de defletor de projéteis.

1.3.3 ARMAMENTO

Arma ou conjunto de armas e seus acessórios.

1.3.4 BERMAS

As bermas são elevações no solo, de areia ou terra, construídas embaixo dos para-balas e em pontos da raia de tiro onde possa ocorrer ricochete de projéteis.

1.3.5 CONTENÇÃO

Estruturas de amortecimento ou retenção dos projéteis disparados no estande, com a finalidade de impedir a fuga de projéteis. As contenções mais utilizadas são: aparador de projéteis ou talude frontal, contenção superior, para-balas canopi e para-balas superior, contenção lateral, muros e taludes laterais.

1.3.6 DEFLETOR DE PROJÉTEIS

Dispositivo metálico que fornece segurança adicional na contenção frontal de terra. Tem a finalidade de defletir projéteis, evitando que escapem da raia de tiro após impactarem na contenção frontal (talude).

1.3.7 DISPENSA

É a autorização de longo prazo (maior que cinco anos), permanente ou temporária, concedida exclusivamente pela DIRMAB, para que um ou mais padrões de segurança sejam desconsiderados, devido à adoção de procedimentos operacionais eficazes ou pela limitação no emprego do estande. Caso a dispensa seja temporária, a DIRMAB deverá estabelecer prazo para a correção das deficiências apresentadas, podendo ser renovada.

1.3.8 DESVIO

É a autorização de curto prazo (máximo de três anos), não renovável, concedida pela DIRMAB, para que um ou mais padrões de segurança sejam desconsiderados, devido à adoção de procedimentos operacionais eficazes ou pela limitação no emprego do estande. A DIRMAB deverá estabelecer prazo para correção das deficiências apresentadas.

1.3.9 EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

Todo meio ou dispositivo de uso pessoal destinado a proteger a integridade física do trabalhador durante a atividade do trabalho. A função do EPI é neutralizar ou atenuar um possível agente agressivo contra o corpo do trabalhador que o usa.

1.3.10 ESTANDE DE TIPO CONTIDO (ETC)

É um estande em recinto fechado ou a céu aberto, projetado e construído com para-balas superiores, contenções laterais e uma contenção frontal ou talude. Deve inibir 100% dos projéteis em trajetória direta e 100% dos ricochetes que abandonem a raia de tiro.

1.3.11 ESTANDE DE TIPO IMPACTO (ETI)

É um estande a céu aberto, podendo a linha de tiro ter cobertura ou não, com suficiente área patrimonial onde possam impactar tiros de trajetória direta ou de ricochetes.

1.3.12 ESTANDE DE TIPO PARCIALMENTE CONTIDO (ETPC)

É um estande que possui uma plataforma de tiro coberta, projetado e construído com para-balas superiores, muros laterais ou barricadas laterais e uma contenção frontal ou talude. Os projéteis em trajetória direta são totalmente retidos pelos anteparos.

1.3.13 ESTANDE DE TIRO PARA ARMAS TERRESTRES

Instalação bélica padronizada e cercada da máxima segurança, destinada à realização de tiro com armas de porte, portáteis ou não portáteis, de acordo com o seu limite de utilização. Se subdivide em Estande de Tipo Contido, Estande de Tipo Impacto e Estande de Tipo Parcialmente Contido.

1.3.14 EXCEÇÃO

É o termo que indica a impossibilidade de atender a qualquer das exigências previstas no MCA 135-3. Existem três tipos de exceção: "DISPENSA, DESVIO e RENÚNCIA".

1.3.15 GERENCIAMENTO DE RISCO

É o processo de tomada de decisão que avalia sistematicamente as possíveis ações, identifica riscos e benefícios, e determina as melhores atuações em cada situação. Sua aplicação apropriada permite à organização que execute sua missão de forma segura e efetiva, enquanto preserva vidas e recursos limitados.

1.3.16 INCIDENTE

Referente ao termo em inglês “*mishap*”. Evento ou série de eventos que resultam não intencionalmente em morte, ferimentos, doença ocupacional, dano ou perda em equipamentos e propriedades ou dano ambiental. Por exemplo, a fuga de um projétil da Zona de Solo Perigoso, combinada com a presença de pessoas nas redondezas, pode ocasionar em ferimentos e morte.

1.3.17 INSPEÇÃO

É o exame aplicado a material ou matéria-prima com a finalidade de exercer o controle de qualidade e verificar se está de acordo com as especificações previstas.

1.3.18 INSTRUTOR DE TIRO (IT)

Militar que realizou o Curso de Instrutor de Tiro (CITIR) ou o Estágio de Instrutor de Tiro (EITIR), designado em Boletim Interno para ministrar instrução de tiro com armamento terrestre, independente de seu grau hierárquico em relação aos instruendos. Pode exercer a função de Instrutor de Linha ou de Torre.

1.3.19 INSTRUTOR DE TORRE

É o Instrutor de Tiro com a responsabilidade de comandar e coordenar as sessões de tiro.

1.3.20 LINHA DE TIRO

Linha vermelha com 10 cm de largura, pintada no solo, localizada à frente dos boxes, entre a plataforma de tiro e a raia de tiro, com a finalidade de sinalizar aos atiradores o limite de sua posição mais avançada para a execução do tiro. É proibido ultrapassá-la enquanto estiver sendo executado o tiro real no estande. A responsabilidade pela liberação do estande para a transposição da linha de tiro é exclusivamente do Instrutor de Torre.

1.3.21 MITIGAÇÃO

Eliminação ou redução do risco através da atuação para reduzir a severidade ou a probabilidade de um incidente.

1.3.22 PARA-BALAS

É uma contenção que utiliza barreiras, colocada na raia de tiro, posicionada de forma a reter trajetórias diretas de projéteis.

1.3.23 PARA-BALAS SUPERIOR

É uma contenção superior que utiliza uma barreira, colocada na raia de tiro, posicionada de forma a reter trajetórias diretas de projéteis.

1.3.24 PARA-BALAS CANOPI

É uma contenção que utiliza uma barreira elevada, revestida de madeira, constituindo-se de uma laje posicionada acima da linha de tiro, iniciando a 1 (um) metro antes da linha de tiro e estende-se para a frente, com ou sem ângulo de inclinação, de forma a impedir fuga de projéteis entre ele e o primeiro para-balas superior.

1.3.25 PERIGO (HAZARD)

Referente ao termo em inglês “*hazard*”. Condição real ou potencial que pode decorrer em um evento (ou série de eventos) não planejado, resultando em morte, ferimentos, doença ocupacional, dano ou perda em equipamentos e propriedades ou dano ambiental. Por exemplo, um perigo em estandes de tiro do tipo impacto é a fuga de projéteis que, por sua vez, pode resultar em morte, ferimentos e danos a propriedades e equipamentos.

1.3.26 PLANO DE TIRO

Plano contido ao longo da raia de tiro em direção à contenção frontal.

1.3.27 PLATAFORMA DE TIRO

Local destinado a acomodar os atiradores, instrutores, linha de tiro, linha de pronto, boxes de tiro e Torre de Controle de Tiro.

1.3.28 RAIA DE TIRO

Área localizada à frente da plataforma de tiro, compreendida entre a parte dianteira dos boxes, aparador de projéteis (talude), e muros laterais.

1.3.29 REVISÃO

As revisões periódicas das exceções têm os seguintes objetivos: verificar quanto à necessidade da permanência da exceção; atualizar os dados associados à exceção; verificar se as condições causadoras da exceção ainda existem; e certificar se as ações implementadas como soluções de contorno ainda estão atuantes. As revisões devem considerar todas as alternativas possíveis para eliminação ou diminuição das exceções. As revisões devem ser executadas depois de vencido o prazo das dispensas ou desvios.

1.3.30 RISCO

Combinação entre a severidade e a probabilidade de um incidente.

1.3.31 SISTEMA DE MATERIAL AERONÁUTICO E BÉLICO (SISMAB)

Sistema instituído com o objetivo de prever e prover o suprimento e a manutenção necessários ao suporte logístico do Material Aeronáutico e Bélico no âmbito do COMAER, de forma a garantir a sua condição de pronto emprego, na quantidade e

disponibilidade adequadas a cumprir as missões planejadas pelo EMAER, com o menor consumo possível de recursos humanos, materiais e financeiros, seja em situação de paz, de conflito ou de emergência.

1.3.32 TAILORING

É o processo de seleção, dentro de um processo ou normativa já consolidado, de subprocessos e definições que se façam aplicáveis a um caso prático em particular.

1.3.33 TRAJETÓRIA

É o percurso do projétil entre a boca do cano e o ponto de impacto.

1.3.34 VELOCIDADE INICIAL

É a velocidade do projétil tomada na saída da boca do cano de uma arma.

1.3.35 VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

É o conjunto de ações desenvolvidas para assegurar a condição de segurança de uma arma de fogo ou do estande de tiro.

1.3.36 ZONA DE PERIGO DO ESTANDE (ZPE)

Área mínima estabelecida para o disparo do armamento, que contenha em toda sua plenitude, vertical e horizontal, os projéteis, fragmentos, projeções e componentes resultantes do disparo das armas utilizadas na instrução de tiro terrestre.

1.3.37 ZONA DE SOLO PERIGOSO (ZSP)

É a porção do solo, contido no plano horizontal, onde os projéteis provenientes de armas compatíveis com a categoria do estande, e disparados na área de instrução de tiro terrestre, irão encontrar o solo depois de cessadas as forças atuantes no mesmo.

1.3.38 ZONA VERTICAL DE PERIGO (ZVP)

Área do espaço aéreo acima da ZSP onde é possível conter a trajetória ou os ricochetes dos projéteis.

1.4 ÂMBITO

A presente Instrução se aplica a todos os elos do Sistema de Material Aeronáutico e Bélico da Aeronáutica (SISMAB) que possuam estandes de tiro.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 MOTIVAÇÃO

2.1.1 O MCA 135-3 (Padronização de Instalações Bélicas para a Força Aérea Brasileira) é o atual instrumento que determina os padrões de estandes de tiro no COMAER, delineando modelos de instalações a serem aplicados a depender da área patrimonial e dos recursos financeiros disponíveis.

2.1.2 O Manual supracitado foi atualizado em 2010, baseado nos padrões americanos da ETL 06-11, incluindo novas restrições físicas aos estandes e tornando muitas das instalações já utilizadas não conformes. Neste contexto, diante das restrições físicas e orçamentárias, começou a ser recorrente a solicitação de autorização para a operação de estandes em padrões diferentes dos previstos no Manual, por parte dos operadores.

2.1.3 As avaliações destas solicitações exigem uma análise que auxilie a autoridade responsável a compreender os riscos aos quais as operações nesses estandes estão submetidos, assessorando quanto a autorizar ou não os riscos residuais derivados.

2.1.4 Diante dessa necessidade, a DIRMAB iniciou em 2019 a criação de modelos matemáticos para estimação quantitativa da probabilidade de fuga de projéteis de 9 mm e 5,56 mm e de auxílio ao entendimento da severidade dos perigos analisados.

2.1.5 Dada a impossibilidade, naquele momento, de realização de testes práticos, os modelos tiveram a sua base na literatura científica disponível e em relatórios técnicos de forças armadas estrangeiras. Essa metodologia vem sendo aprimorada desde então.

2.1.6 O Exército Americano aplica metodologia semelhante desde 1995, com software de simulação que define parâmetros da própria ETL 06-11. Tal software foi desenvolvido em um Centro de Pesquisa do próprio Exército Americano.

2.1.7 O Ministério da Defesa Britânico, atualmente, não prevê estandes de tipo impacto ou parcialmente cobertos, conforme os previstos nas normas americanas ou do COMAER, já que considera tais modelos não efetivos em termos de custo em relação à redução de risco que proporcionam. Entretanto, estandes nesses padrões ainda podem ser aprovados após análise em seu software de simulação contratado.

2.1.8 A metodologia apresentada nessa Instrução tem por objetivo a definição de critérios globais para os diversos tipos de perigos a que os estandes estejam expostos.

2.2 APLICABILIDADE

2.2.1 Esta Instrução será utilizada no gerenciamento de risco de estandes de tiro que não estejam em conformidade com o MCA 135-3, devido a impossibilidades estruturais, orçamentárias e operacionais.

2.2.2 As medidas de mitigação provenientes de análises realizadas sob esta Instrução terão por objetivo alcançar categorias de risco igual ou inferior às dos estandes previstos no MCA 135-3.

2.2.3 Esta instrução não dispensa os operadores de priorizarem a aplicação dos modelos de estandes de tiro pré-estabelecidos no MCA 135-3.

3 METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE RISCO DE ESTANDES DE TIRO

O Gerenciamento do Risco no COMAER, segundo a DCA 16-2, deve ser visto como a busca do equilíbrio entre o retorno das atividades desempenhadas, seus riscos e os investimentos nelas inseridos - buscando segurança, aceitação pública e eficiência - criando e protegendo valor para a Instituição. A criação de processos de Análise de Risco, nesse contexto, busca formas de sistematizar a descrição das incertezas, fundamentar as atividades por meio das melhores informações disponíveis e auxiliar na tomada de decisão.

O método de Gerenciamento de Risco de Estandes de Tiro aqui proposto será dividido em 5 etapas: Identificação dos Perigos, Avaliação de Riscos, Identificação de Medidas de Mitigação de Risco, Aceitação de Risco e Acompanhamento de Risco, conformedescritas a seguir.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS (HAZARDS)

A identificação de perigos é realizada inicialmente com o acesso ao projeto (desenho técnico) dos estandes de tiro, fornecido pelo operador.

O levantamento desses perigos deve ser construído traçando considerações sobre características físicas do estande e de suas redondezas, levando em consideração a área patrimonial disponível, a existência de bens patrimoniais expostos, potenciais impactos ambientais e exposição de pessoas, militares ou civis, na área.

A identificação dos perigos mais relevantes deve ser resultado de um consenso de uma equipe multidisciplinar envolvendo, ao menos, um Oficial Engenheiro e um especialista em Material Bélico (Oficial ou Graduado).

Sempre que necessário, o operador pode ser consultado para opinar sobre a relevância de cada perigo e fornecer informações adicionais necessárias.

Dentre os perigos usuais em estandes de tiro, destacam-se a fuga de projéteis por tiro direto, fuga de projétil por tiro ricocheteado, acesso de tiros diretos ou ricocheteados a corpos d'água e a áreas ambientais protegidas e alto ruído dos disparos.

3.2 AVALIAÇÃO DE RISCOS

Uma vez identificados os perigos envolvidos na operação do estande, parte-se para a Avaliação de Riscos. Esta etapa consiste em caracterizar a exposição ao perigo de acordo com a combinação dos níveis de sua Probabilidade e de sua Severidade.

O processo de avaliação de riscos deve ser realizado para cada incidente decorrente dos perigos considerados relevantes na Identificação de Perigos do **item 3.1**. Geralmente, os incidentes mais relevantes são os tiros diretos ou ricochetes atingirem pessoas, equipamentos e bens patrimoniais ou corpos d'água vizinhos.

As Subseções a seguir determinam critérios e definições quanto à classificação de níveis de probabilidade, severidade e classificação do risco, baseadas na MIL-STD-882E. Tais definições devem ser utilizadas, exceto se definições alternativas forem provenientes de *tailoring* de outras normas aplicáveis e aceitas pela DIRMAB.

3.2.1 PROBABILIDADE

3.2.1.1 A definição dos níveis de probabilidade será realizada preferencialmente sob consulta à **Tabela 1**, adaptada da norma MIL-STD-882E. Esta normativa é de caráter amplo e considerada boa prática internacionalmente.

Tabela 1 - Definição de Níveis de Probabilidade

Níveis de Probabilidade			
Descrição	Nível	Frequência de Ocorrência do Evento	Quantitativo
Provável	A	Ocorrerá várias vezes	Probabilidade de ocorrência maior ou igual a 10^{-2}
Ocasional	B	Ocorrerá alguma vez	Probabilidade de ocorrência menor que 10^{-2} , mas maior ou igual a 10^{-3}
Remoto	C	Pouco provável, mas possível de ocorrer	Probabilidade de ocorrência menor que 10^{-3} , mas maior ou igual a 10^{-6}
Improvável	D	Improvável que ocorra, mas possível de ocorrer	Probabilidade de ocorrência menor que 10^{-6} , mas maior ou igual a 10^{-10}
Raro	E	Evento raro, mas possível de ocorrer	Probabilidade de ocorrência menor que 10^{-10}

3.2.1.2 A DIRMAB pode consultar o operador para obter informações que ajudem na estimação das probabilidades acima, prezando sempre pela exatidão, pesquisa de dados e segurança.

3.2.1.3 As descrições qualitativas da **Tabela 1** devem ser adotadas apenas quando não existirem dados quantitativos para a estimação da probabilidade.

3.2.1.4 Uma metodologia para a estimação quantitativa da probabilidade de fuga de projéteis dos estandes, para além das Zonas de Solo Perigoso, é apresentada no **Anexo**.

3.2.2 SEVERIDADE

3.2.2.1 Para determinar a categoria de severidade adequada para um perigo específico, deve ser utilizada a **Tabela 2**, adaptada da norma MIL-STD-882E.

Tabela 2 – Definição de Níveis de Severidade

Categorias de Severidade		
Descrição	Categoria	Critério de resultado do evento
Catastrófico	1	Pode resultar em um ou mais de um dos seguintes casos: morte, incapacidade total permanente, impacto ambiental significativo ou perda monetária superior a R\$ 1.000.000,00.
Crítico	2	Pode resultar em um ou mais de um dos seguintes casos: incapacidade parcial permanente, ferimentos ou doença ocupacional que pode resultar em hospitalização de no mínimo 3 pessoas, impacto ambiental significativo reversível ou perda monetária maior ou igual R\$ 100.000,00 mas inferior a R\$ 1.000.000,00.
Marginal	3	Pode resultar em um ou mais de um dos seguintes casos: ferimento ou doença ocupacional que resulte em um ou mais dias de trabalho, impacto ambiental moderado reversível ou perda monetária maior ou igual R\$ 10.000,00, mas inferior a R\$ 100.000,00.
Desprezível	4	Pode resultar em um ou mais de um dos seguintes casos: ferimento ou doença ocupacional que não resulte em perda de dias de trabalho, impacto ambiental mínimo ou perda monetária menor que R\$ 10.000,00.

3.2.2.2 Para a classificação de severidade atribuída com base nos potenciais resultados correspondentes a mortes e ferimentos, a categorização de severidade será executada com base na maior velocidade terminal dentre os projéteis que ultrapassem os limites da Zona de Solo Perigoso. Caso seu valor seja inferior a 45m/s, a severidade será considerada Marginal, caso esteja entre 45 m/s e 60m/s, Crítica e, por fim, para um valor acima de 60 m/s, Catastrófico. Da experiência de simulação, as velocidades terminais tendem a ser próximas de 80 m/s.

3.2.2.3 Um método para estimativa de velocidade terminal de projéteis é apresentado também no **Anexo**.

3.2.3 CLASSIFICAÇÃO DE RISCO

3.2.3.1 Nível de Risco é definido pela combinação dos Níveis de Probabilidade e Severidade. A **Tabela 3**, adaptada da norma MIL-STD-882E, atribui os níveis Alto, Sério, Médio ou Baixo para cada combinação possível.

Tabela 3 - Matriz de Avaliação de Risco

Matriz de Avaliação de Risco				
	Catastrófico (1)	Crítico (2)	Marginal (3)	Desprezível (4)
Provável (A)	Alto (1A)	Alto (2A)	Sério (3A)	Médio (4A)
Ocasional (B)	Alto (1B)	Sério (2B)	Médio (3B)	Baixo (4B)
Remoto (C)	Sério (1C)	Médio (2C)	Médio (3C)	Baixo (4C)
Improvável (D)	Médio (1D)	Médio (2D)	Médio (3D)	Baixo (4D)
Raro (E)	Baixo (1E)	Baixo (2E)	Baixo (3E)	Baixo (4E)

3.3 MITIGAÇÃO DE RISCOS

3.3.1 As medidas de mitigação devem ser analisadas, caso a Classificação de Risco do estande não padronizado seja maior que a do estande de mesmo tipo, previsto no MCA 135-3.

3.3.2 O objetivo é, quando possível, apresentar propostas de mitigação que reduzam o nível de risco até o nível Baixo, com esforços de optar pelas medidas de menor impacto em custo, operacionalidade e tempo.

3.3.3 Medidas de mitigação comuns, incluem:

- a) construção ou extensão de anteparos, como novos para-balas, superfícies defletoras sobre o talude ou a extensão deste, etc;
- b) extensão da Zona de Solo Perigoso;
- c) limitação do tipo de exercício a ser realizado;
- d) limitação de calibres que podem ser utilizados; e
- e) aproximação do atirador em relação ao talude/fim da raia de tiro, sem prejuízo ao tipo de exercício pretendido.

3.3.4 A eliminação ou redução dos riscos devem ser, idealmente, realizadas no momento do projeto.

3.3.5 Deve ser realizada nova etapa de Classificação de Risco para cada medida mitigatória, ou de suas combinações. Essa nova Classificação deve ser apresentada em forma de tabela, comparandocom os resultados do **item 3.3.3** .

3.4 ACEITAÇÃO DO RISCO

3.4.1 Após a avaliação das medidas mitigadoras, deve ser emitido Relatório Técnico parao apoio à decisão da autoridade competente definida no MCA 135-3.

3.4.2 A autoridade pode optar por medidas mais conservativas do que as descritas nas análises realizadas, como, por exemplo, definir margens de segurança de ZSP mais extensas ou limitar os exercícios realizados naquele estande.

3.4.3 Autorizações Temporárias:

- a) a autoridade pode optar por aceitar o risco dos estandes temporariamente, conforme prescrições do MCA 135-3.
- b) nesse caso, pode-se optar pelo método do valor esperado para definição do período de aceitação, multiplicando-se a probabilidade de fuga pelo número de disparos realizados pelo operador no período para o qual se analisa a aceitação. Em seguida compara-se com o valor máximo de fugas aceito naquele período. Se o cálculo resulta em valor menor do que o aceito, é dada a autorização.
- c) valores típicos de limite de aceitação, para a autoridade, para fugas por ano são entre 0,01 e 0,1.

3.5 ACOMPANHAMENTO DE RISCO

3.5.1 Os operadores dos estandes aprovados pelo procedimento previsto nesta Instrução devem manter efetiva comunicação para identificar e gerenciar novos perigos, ou informar eventual constatação de que os riscos reais são maiores do que os avaliados.

3.5.2 Deve ser informada também qualquer modificação física nos estandes que possa modificar o padrão de interceptação de projéteis ou que introduzam novos riscos não analisados.

3.5.3 No caso da ocorrência de qualquer incidente durante os exercícios nos estandes, com potencial (ou real ocorrência) de consequências à vida, à integridade física, ao meio ambiente ou ao patrimônio, este deve ser informado à DIRMAB em documento oficial. Deverão ser informados, também, o número de disparos realizados naquele estande até o momento, desde sua aceitação.

3.5.4 A DIRMAB avaliará se os incidentes requerem nova análise de risco ou avaliação presencial, ou se os incidentes demonstram ser decorrências esperadas dentro de sua probabilidade de ocorrência.

3.5.5 A DIRMAB manterá as ocorrências registradas durante toda a vida em serviço dos estandes. Esses registros devem apoiar aperfeiçoamento futuro da metodologia.

4 DISPOSIÇÕES FINAIS

4.1 A presente Instrução entra em vigor na data de sua publicação.

4.2 Os casos não previstos nesta Instrução serão submetidos à apreciação do Diretor da DIRMAB, por meio da cadeia de comando.

4.3 Esta Instrução não deve ser utilizada como instrumento para desconsiderar os regramentos provenientes do MCA 135-3, devendo ser utilizados apenas nos casos onde as regras de MCA 135-3 se fazem inviáveis por questões estruturais, orçamentárias e operacionais.

4.4 As metodologias numéricas descritas no **Anexo** desta Instrução podem sofrer alteração de acordo com a evolução de conhecimentos e aquisição de novos dados, motivando atualização desta Instrução em momento oportuno, sempre com o objetivo de aperfeiçoar os modelos. Implementações diferentes podem ser necessárias para estandes que apresentarem instalações não convencionais.

4.5 No caso de qualquer incompatibilidade de definições e práticas com o MCA 135-3, prevalecerá o disposto no MCA 135-3.

REFERÊNCIAS

ADAMSON, Tom; CLARK, Joe; ELLIS, Sam. **Hazard and Risk Modelling for Weapon Danger Areas**. IMA Conference on Mathematics in Defence, 2015.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando-Geral de Apoio. *Segurança de Explosivos: MCA 135-2*. Rio de Janeiro, 2014.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando de Preparo. *Manual de Instrução de Tiro com Armamento Terrestre no Âmbito do Comando da Aeronáutica: MCA 50-1*. Brasília, 2017.

HOXHA, Sami; VAZQUEZ, Ernesto B. **Surface Danger Zone (SDZ) Methodology Study, Probability Based Surface Danger Zones**. US Army Armament Research, Development and Engineering Center, Picatinny Arsenal, New Jersey. mar. 2015.

Department of the Air Force, Engineering Technical Letter (ETL) **06-11: Small Arms Range Design and Construction**, HEADQUARTERS AIR FORCE CIVIL ENGINEER SUPPORT AGENCY, 2006.

LITZ, Bryan. **Applied Ballistics for Long-Range Shooting**. 3. ed. Michigan: Applied Ballistics, LLC, 2015.

Department of Defense D. OF D. **MIL-STD-882E** Standard Practice for System Safety. [s.1: s.n.].

ORDOG, G. J; WASSERBERGER, J; BALASUBRAMANIAM, S. **Wound ballistics: Theory and practice**. Annals of Emergency Medicine, Los Angeles, v. 13, n. 12, p. 1113-1122, dez. 1984.

Anexo- Metodologia de Estimação de Probabilidades de Fugas de Projéteis

A.1) Modelagem Matemática da fuga de ricochetes

Para assessorar as autoridades com uma medida qualitativa de probabilidade de fuga de projéteis ricocheteados em estandes de impacto e parcialmente contidos, foi construído um modelo matemático do comportamento desses projéteis com base em artigos científicos e relatórios técnicos de outras forças armadas. Trata-se de uma simulação matemática que leva em consideração as características físicas dos estandes, o comportamento dos ricochetes e o erro angular do atirador.

Diante de algumas hipóteses consideradas quanto aos materiais de impacto dos projéteis e comportamento do ricochete, o modelo é capaz de realizar estimativas para tiros de pistola 9 mm, fuzil 5,56 mm e metralhadora 7,62 mm, com posições de tiro do atirador de pé, de joelhos e deitado.

O modelo foi implementado em linguagem Python 3.6.9 com todas as bibliotecas auxiliares atualizadas até Maio de 2022. A metodologia aqui reproduzida não é obrigatória (ainda menos obrigatória é a linguagem de programação utilizada), desde que outras considerações equivalentes em termos de segurança sejam consideradas em sua substituição (e aceitas pela autoridade). Além disso, é natural que o modelo descrito evolua conforme surjam novas informações e dados relevantes.

A.2) Processo de simulação

Os procedimentos necessários para a simulação são descritos a seguir:

1. Introdução de características do projétil, do atirador e das informações físicas do estande;
2. Definição do tamanho da simulação;
3. Definição de constantes naturais (gravidade, densidade do ar e velocidade do som);
4. Definição de informações dos calibres (massa, velocidade inicial, e diâmetro);
5. Importação de dados de coeficiente de arrasto para cada tipo de projétil. Caso sejam informações discretas, aproximar por uma curva (e.g. *spline*);
6. Definição da função de alcance do projétil (resolução da EDO) dadas suas coordenadas, ângulo e velocidade iniciais;
7. Importação de dados e ajuste de distribuição de probabilidade conjunta entre ângulo de incidência do disparo, ângulo de saída e fração de velocidade conservada (como por exemplo, *kernel density estimation*);
8. Definição de função de fuga dos ricochetes, que retorna se o ricochete escapa ou não do estande, dada posição inicial e velocidade de saída do ricochete e as posições dos anteparos (para-balas verticais, para-balas canopi e talude);
9. Definição de distribuição de probabilidade do erro do atirador de acordo com dados disponíveis;
10. Simulação de Monte Carlo:
 - 10.1. Geração de erros angulares do atirador de acordo com o tamanho da simulação e a distribuição de probabilidade ajustada.

- 10.2. A partir dos ângulos de erro do atirador e de sua posição, calcular o ponto do solo onde ocorre o impacto e seu ângulo de incidência;
- 10.3. Para ângulo de incidência, gerar aleatoriamente ângulo e velocidade de saída a partir da distribuição conjunta de probabilidade ajustada;
- 10.4. Para tal característica de ricochete (posição, ângulo de saída e velocidade de saída), aplicar a função que checa se o ricochete foge do estande por entre os anteparos ou não. Caso haja fuga, registrar os ângulos, posições e velocidades de saída.
- 10.5. Com os ângulos e velocidades de saída de ricochetes em fuga, calcular os seus alcances;
- 10.6. Calcular a proporção de disparos que configuram fuga dos estandes para além da ZSP disponível; e
- 10.7. Calcular outras estatísticas necessárias, como alcance máximo, probabilidade de fuga do estande, etc;
- 10.8. Calcular intervalos de confiança (por exemplo, com técnicas de estatística bayesiana), se necessário.

A.3) Detalhamento

Detalhes sobre os passos principais do item anterior são mostrados a seguir:

A.3.1) Hipóteses iniciais

As hipóteses iniciais da modelagem são:

- a) no caso de estandes parcialmente contidos, todas as suas contenções (parabolas e talude) já foram prioritariamente posicionados de modo a impossibilitar fugas de disparos diretos em todas as posições do atirador (de pé, de joelhos e deitado) e em todas as posições de avanço do atirador em relação ao talude;
- b) todas as superfícies de impacto são planas e uniformes;
- c) toda a manutenção prevista é realizada de modo a manter a condição segura, como remoção de pedregulhos, planificação de superfícies, reposição de materiais desgastados, etc;
- d) não há segundo ricochete dos projéteis, ou eles possuem energia desprezível;
- e) não há ricochete no talude devido ao seu material e alta angulação, ou estes ricochetes possuem energia desprezível;
- f) ausência de vento;
- g) o projétil ricocheteado mantém a mesma massa (não há quebra do projétil ricocheteado);
- h) após o ricochete, o coeficiente de arrasto é dobrado; o que se trata de uma hipótese conservativa, segundo a referência discutida mais à frente;
- i) o desvio lateral do ricochete não altera o alcance máximo do projétil;
- j) o projétil não perde estabilidade mesmo depois do ricochete;

- k) o atirador é treinado e orientado e todos os seus disparos têm por objetivo atingir o alvo.

A.3.2) Variáveis de interesse

As principais variáveis de interesse que definem as características físicas do estande, calibre do projétil, posição do atirador e tamanho da simulação são:

- Calibre do projétil, seja 9 mm, 5.56 mm, ou 7.62 mm, que determinará informações do comportamento balístico do projétil;
- Posição do atirador, como de pé, deitado ou de joelhos, o que define a altura de saída do projétil, algo próximo a 1.7 m, 0.9 m e 0.1 m, respectivamente;
- Tamanho da simulação (N), que se refere ao número de iterações, que correspondem a disparos simulados. Esse número deve ser grande, não menos que 1.000.000, mas o número ideal depende das características da modelagem e de cada estande particular. Entretanto, influencia diretamente no tempo de execução do programa;
- Comprimento do estande, que se refere ao comprimento desde a linha inicial de tiro até a base do talude.

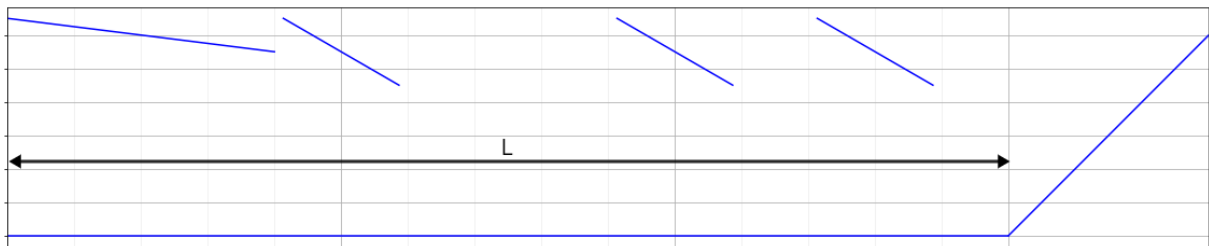


Figura A - 1

- Avanço do atirador, que se refere à distância de avanço do atirador em direção ao talude.

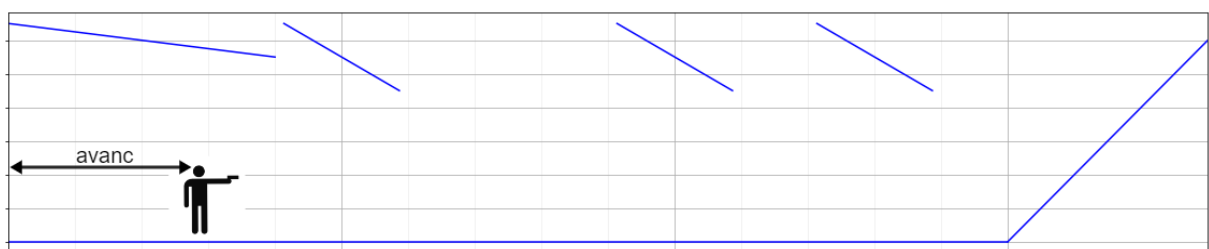


Figura A - 2

- Desnível da raia de tiro, correspondente à altura de desnível da plataforma de tiro em relação à pista.

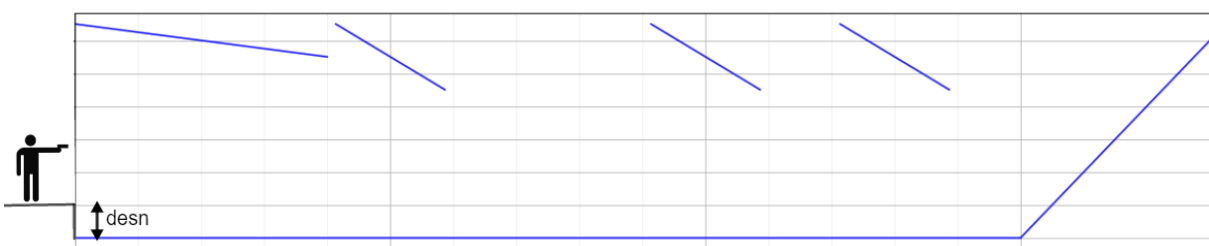


Figura A - 3

- g) Posições dos para-balas, que são as distâncias dos eixos centrais dos para-balas em relação à linha inicial de tiro

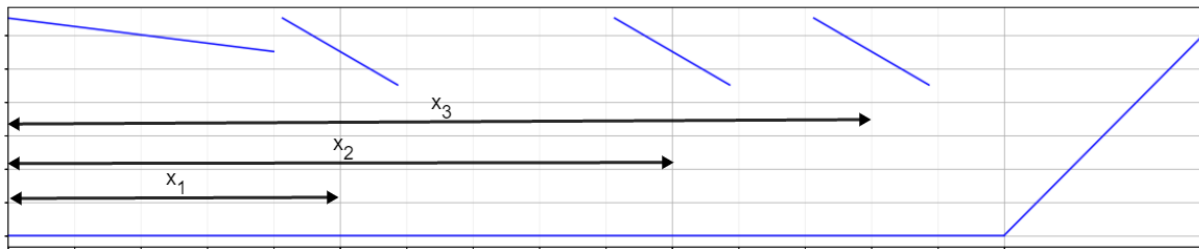


Figura A - 4

- h) Altura dos para-balas, correspondente à altura dos eixos centrais dos para-balas, considerada igual para todos.

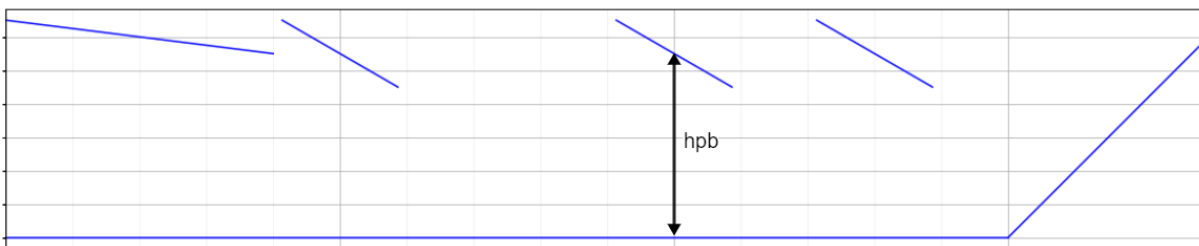


Figura A - 5

- i) Inclinação dos para-balas, correspondente à inclinação dos para-balas em relação à horizontal, considerada igual para todos.

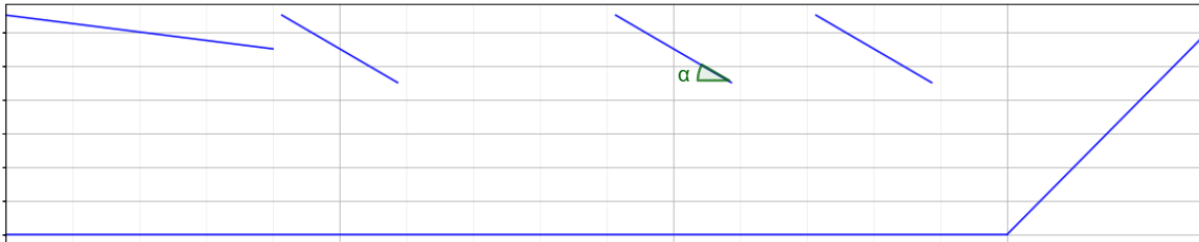


Figura A - 6

- j) Comprimento dos para-balas, correspondente à extensão dos para-balas e considerado igual para todos eles.

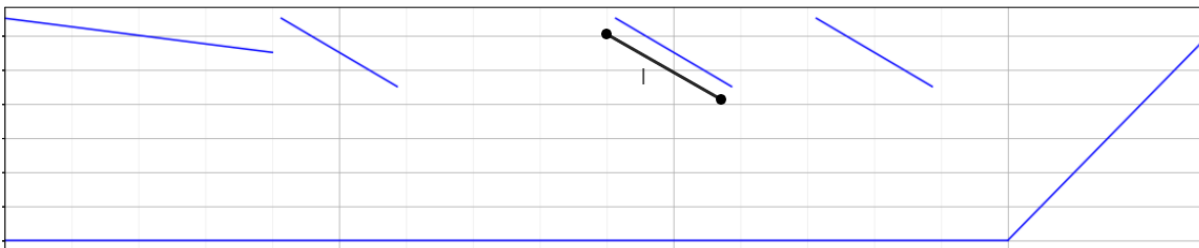


Figura A - 7

- k) Limite inferior do para-balas canopi, que são as coordenadas x e y do ponto final do para-balas canopi.

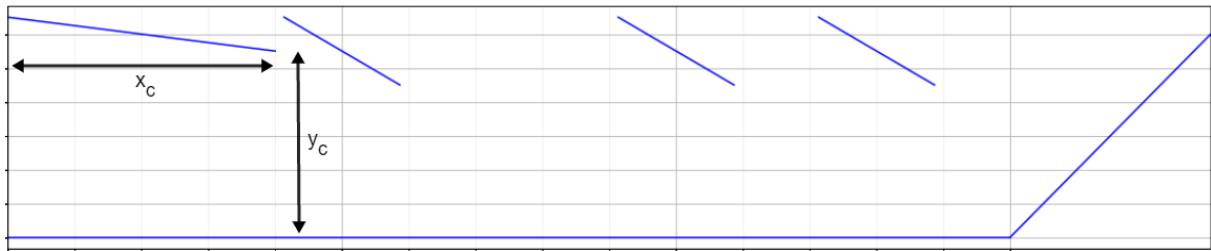


Figura A - 8

- l) Altura do talude, referente à altura de seu ponto mais alto.

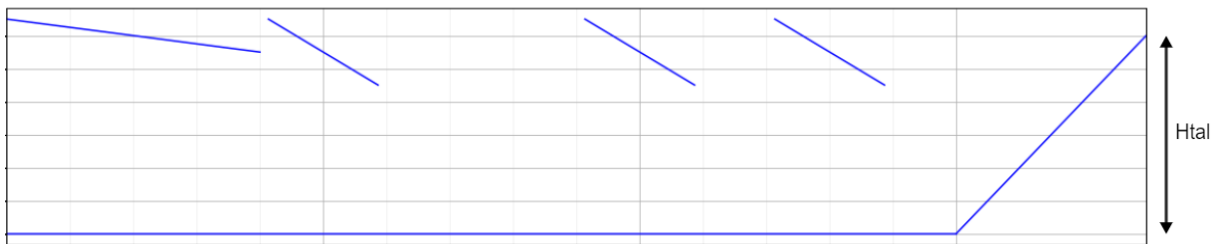


Figura A - 9

- m) Inclinação do talude, correspondente ao ângulo de alicie do talude.

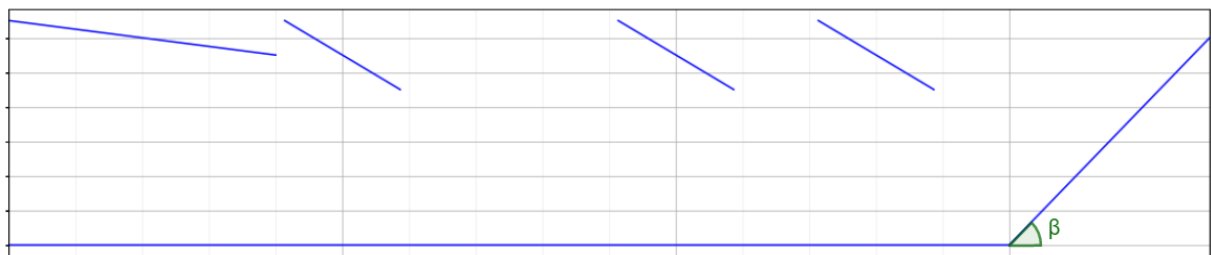


Figura A - 10

A.3.3) Erro angular do atirador

Outra entrada do modelo deve ser a modelagem do erro angular do atirador. Diante da hipótese de não haver ricochetes acima do talude ou dos para-balas, o que causa fugas do estande são tiros diretos acima da altura do talude (no caso dos estandes de tipo impacto) ou ricochetes de tiros direcionados ao chão, que são consequências dos erros naturais dos atiradores. Essa modelagem da distribuição dos ângulos dos erros deve ter alguma base em dados coletados nas experiências de treinamentos de tiro.

Com base em resultados de treinamentos de tiro nas guarnições de São Paulo (9 mm e 5,56 mm) de 2017 a 2019 e de Pirassununga (7,62 mm), constatou-se que os atiradores acertam na média 80% dos disparos nos alvos, tanto para os projéteis de 9 mm (a uma distância de 15 m do alvo) quanto de 5,56 mm (a uma distância de 50 m do alvo), considerando as respectivas distâncias previstas dos alunos aos alvos. Já no caso do calibre 7,62 mm, não havia registro de erro de atiradores (a uma distância de 300 m do alvo). Apesar de os erros dos atiradores poderem ser tanto horizontais quanto verticais, neste trabalho considerou-se, conservativamente, que todos os erros são verticais. Com essas informações, o erro angular dos atiradores foi modelado como uma distribuição normal de média zero (em relação ao centro do alvo) e desvio-padrão definido de modo a 80% dos disparos ocorrerem

no alvo (a partir das distâncias usuais de cada calibre), no caso dos calibres 9 mm e 5,56 mm e 99% para o calibre 7,62 mm, o que significa desvios-padrão de, respectivamente, $1,6^\circ$, $0,49^\circ$ e $0,037^\circ$.

No caso particular do ETPC, como as hipóteses indicam que apenas tiros que atinjam o solo ricocheteiam, podem ser gerados apenas ângulos que gerem disparos no solo. Sob a hipótese da distribuição de erros angulares do atirador seguirem uma distribuição normal, os ângulos seriam então gerados a partir de uma normal truncada no maior ângulo possível que ainda recaia sobre o solo (no caso, ângulo para o qual o disparo atinge o pé do talude). As probabilidades finais de fuga do estande e fuga para além da ZSP deverão ser ponderadas pela probabilidade dos ângulos de erro do atirador estarem nesse intervalo (representada pela área laranja da **Figura A - 11** abaixo). O objetivo dessa manipulação é tornar a simulação mais eficiente, uma vez que os ângulos fora desse intervalo serão automaticamente descartados pela hipótese do não ricochete no impacto.

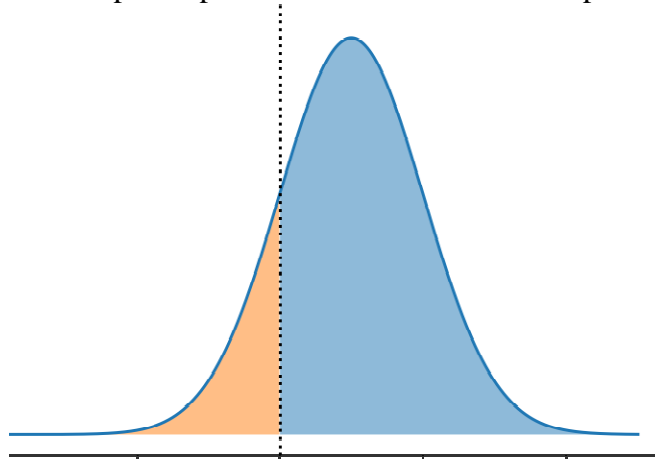


Figura A - 11 – Truncamento da distribuição de erros angulares do atirador.
Apenas ângulos da região laranja são gerados aleatoriamente.

A.3.4) Equações de movimento dos projéteis

A modelagem mais comum de equações de movimento em aerodinâmica envolvem força de arrasto proporcional ao quadrado da velocidade relativa do projétil em relação ao vento, que resulta nas equações abaixo.

$$x''(t) = -\frac{k(t)}{m} \cdot \sqrt{x'^2(t) + y'^2(t)} \cdot x'(t)$$

$$y''(t) = -g - \frac{k(t)}{m} \cdot \sqrt{x'^2(t) + y'^2(t)} \cdot y'(t)$$

Onde $x(t)$ e $y(t)$ representam as coordenadas x e y do projétil ao longo do tempo e $k(t)$, o valor da expressão $\frac{1}{2} \cdot C_d(t) \cdot A_{ref} \cdot \rho$, ou seja, é proporcional ao coeficiente de arrasto ao longo do tempo, da área de referência da seção do projétil e da densidade do ar. m é a massa do projétil e g a aceleração da gravidade.

A.3.5) Informações aerodinâmicas

As informações utilizadas relativas ao coeficiente de arrasto sofrido pelos projéteis a partir do disparo necessitam ter por base algum referencial teórico. Na simulação construída, foram utilizados os dados de Litz (2015). O calibre de 9 mm se assemelha ao

padrão de projétil G1, enquanto os calibres 5,56 mm e 7,62 mm se assemelham ao padrão G7. Tais coeficientes de arrasto são esquematizados na **Figura A - 12**.

Na falta de fatores de forma específicos para os projéteis utilizados na FAB, foi utilizado fator 1, uma consideração razoável considerando que geralmente estes fatores não são muito distantes desse valor. O uso de coeficientes de arrasto de padrões de projétil, como o G1 e o G7, geralmente oferecem bons resultados no regime supersônico. Como não há informações do regime subsônico e transônico, optou-se por utilizar os dados da mesma referência, por serem os melhores dados disponíveis.

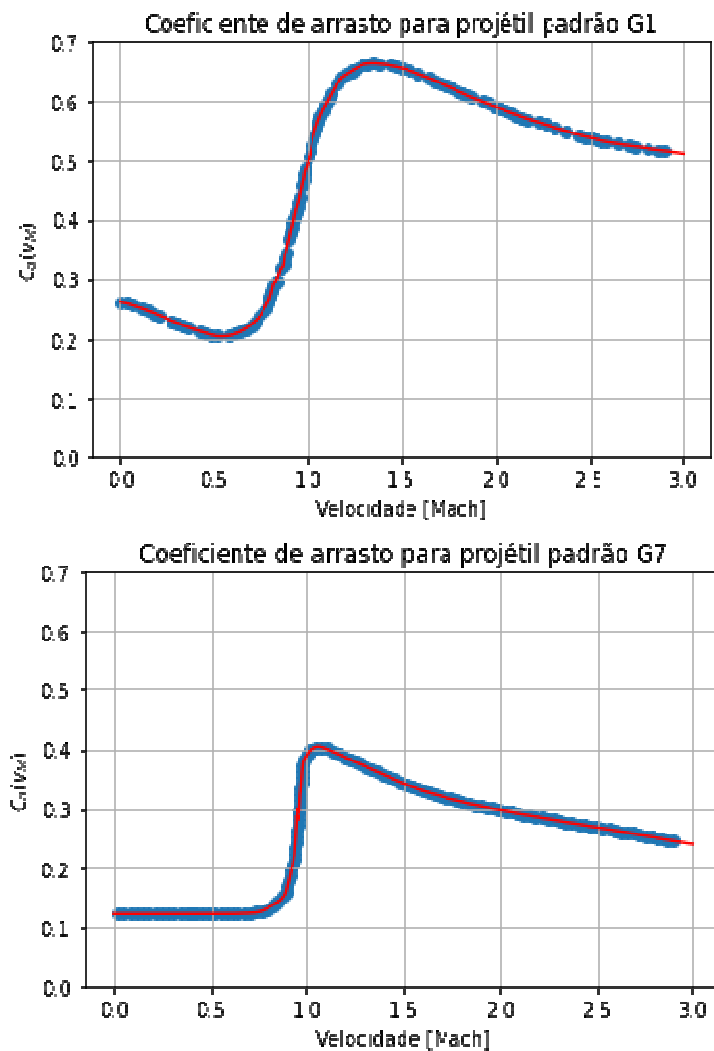


Figura A - 12 - Coeficientes de arrasto para projéteis padrão G1 e G7

Outra hipótese feita no trabalho realizado é a de que o projétil possui estabilidade o suficiente para completar sua trajetória até atingir o solo. Isso permite a modelagem do corpo em 3 ou menos graus de liberdade.

Uma última problemática é a definição dos coeficientes de arrasto após o ricochete, visto que há deformação, quebra e a já citada desestabilização do projétil. No trabalho de Hoxha e Vazquez (1995), sugere-se que os coeficientes sejam multiplicados pelo fator 2. No trabalho, comenta-se que esse valor é conservativo.

A.3.6) Comportamento do ricochete

No momento em que os disparos atingem as superfícies do estande, os projéteis sofrem uma mudança de trajetória e uma perda de energia que modifica sua velocidade de saída. Hoxha e Vazquez (1995) apresentam dados experimentais de relações de ângulos e velocidades de saída de ricochetes em relação ao ângulo de impacto do disparo no solo e da velocidade no ponto de impacto, enquanto Adamson, Clark e Ellis (2015) apresentam dados para os projéteis de 5,56 mm e 7,62 mm.

A forma adotada para modelar essa relação foi criar uma distribuição conjunta de probabilidade entre ângulo de impacto (β), ângulo de saída (α) e fração da velocidade conservada (v_r/v_i), representados no esquema da **Figura A - 13**. O método utilizado para este fim foi o da KDE (*Kernel Density Estimation*) gaussiano, que se trata de uma abordagem não paramétrica de estimação de uma FDP (Função de Densidade de Probabilidade). Na prática, o KDE se trata de uma superposição de várias curvas gaussianas que se ajustam aos dados providos. O motor da modelagem utilizado foi o da biblioteca `scipy` (`scipy.stats.gaussian_kde`).

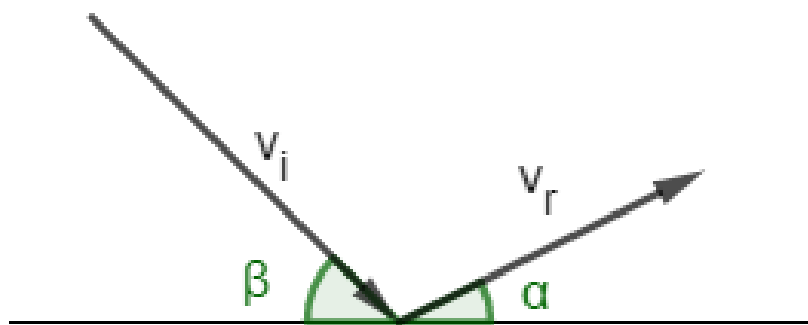


Figura A - 13 – Representação Simplificada do Ricochete.

A partir desta modelagem de distribuição de probabilidade, para cada ângulo de entrada (que são consequências do erro angular do atirador), são gerados os ângulos de saída e a fração de velocidade mantida, que serão utilizados para inferir sobre a fuga do projétil diante dos anteparos do estande (para-balas e talude).

A.3.7) Check de fuga e cálculo do alcance

A partir das características de fuga de um ricochete – ângulo e velocidade de saída, pode ser checado se o projétil passa por entre os intervalos dos anteparos. Do ponto de vista ideal, o movimento do projétil deveria ser calculado através da equação diferencial selecionada para o corpo. Entretanto, como as velocidades de saída, no geral, ainda são altas e as distâncias percorridas pelo projétil ainda dentro do estande são pequenas em comparação com o alcance destes projéteis e, portanto, insuficientes para que o arrasto reduza consideravelmente a velocidade, é bastante aceitável a aproximação do movimento ao de um lançamento oblíquo (ou até mesmo a um movimento perfeitamente linear). Esta aproximação ainda tem a grande vantagem de tornar a simulação menos custosa computacionalmente.

A verificação de fuga consiste em, para cada par de para-balas consecutivos, verificar se o projétil passa por baixo o primeiro para-balas e por cima do seguinte, ou seja,

sendo $f(x)$ a função da trajetória do ricochete, $f(x_{inf}) < y_{inf}$ e $f(x_{sup}) > y_{sup}$, parâmetros estes representados na **Figura A - 14**. Além disso, deve ser checado se o projétil não é interceptado pelo ponto mais alto do talude, o que corresponde a $f(x_t) > y_t$.

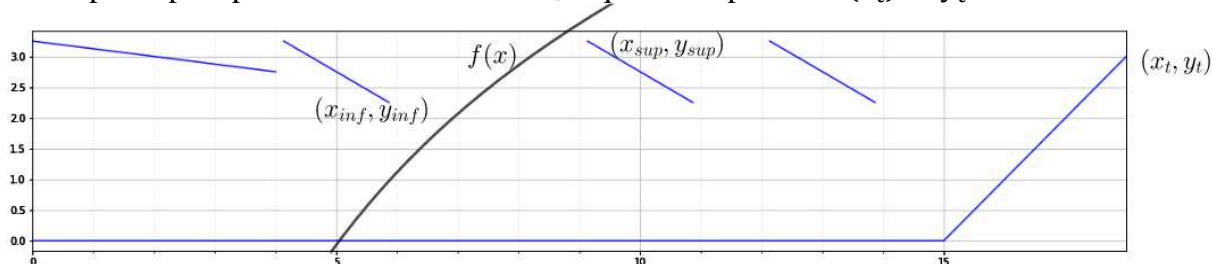


Figura A - 14 – Representação de Ricochete com Fuga em ETPC.

Se for verificado que o projétil escapa da área interna do estande, aí sim calcula-se o alcance do projétil a partir da equação diferencial do movimento.

A.3.8) Simulação de Monte Carlo

Estabelecidos os parâmetros anteriores, a estimativa da probabilidade de fuga de projéteis ricocheteados ou de disparos diretos consiste numa simulação de Monte Carlo.

São gerados valores aleatórios de erro do atirador; quando este disparo atinge o solo (no caso do ETPC), a partir do ângulo de incidência são gerados os ângulos de saída e a velocidade de saída. Então, é testado se as contenções do estande interceptam estes ricochetes/disparos. Se as contenções não interceptam, é calculado o alcance do projétil.

No caso particular do ETPC, todas as simulações podem ser com disparos diretamente no solo, desde que a probabilidade resultante deste processo seja ponderada pela probabilidade destes disparos de fato atingirem o solo (que é uma simples aferição de probabilidade acumulada). Isso resultará num melhor aproveitamento das rodadas da simulação, como já comentado no **item A.3.3**.

A fração de projéteis que fujam da instalação do estande será a (média da) estimativa de probabilidade de fuga dos ricochetes por disparo. Os alcances resultantes dos projéteis que fujam ao estande são usados para criação de uma distribuição de probabilidade que é usada para estimar a probabilidade da fuga de projéteis para além do limite da ZSP definida.

A simulação retorna ainda as velocidades dos projéteis no momento do impacto. A maior dentre estas velocidades é utilizada nesta metodologia como apoio na definição de severidade.

A implementação da metodologia, em linguagem Python, foi escrita na DIRMAB, sendo de acesso de seu pessoal. Foram redigidos dois programas, um para lidar com as fugas por tiro direto e outro para os ricochetes. Sendo assim, para o caso do ETPC, deve ser executada apenas a simulação de ricochetes, enquanto para os ETI, ambas as simulações, cujas probabilidades devem ser somadas e o maior valor dentre as velocidades terminal deve ser selecionado para referência.

Uma esquematização do processo de simulação é mostrada na **Figura A - 15**.

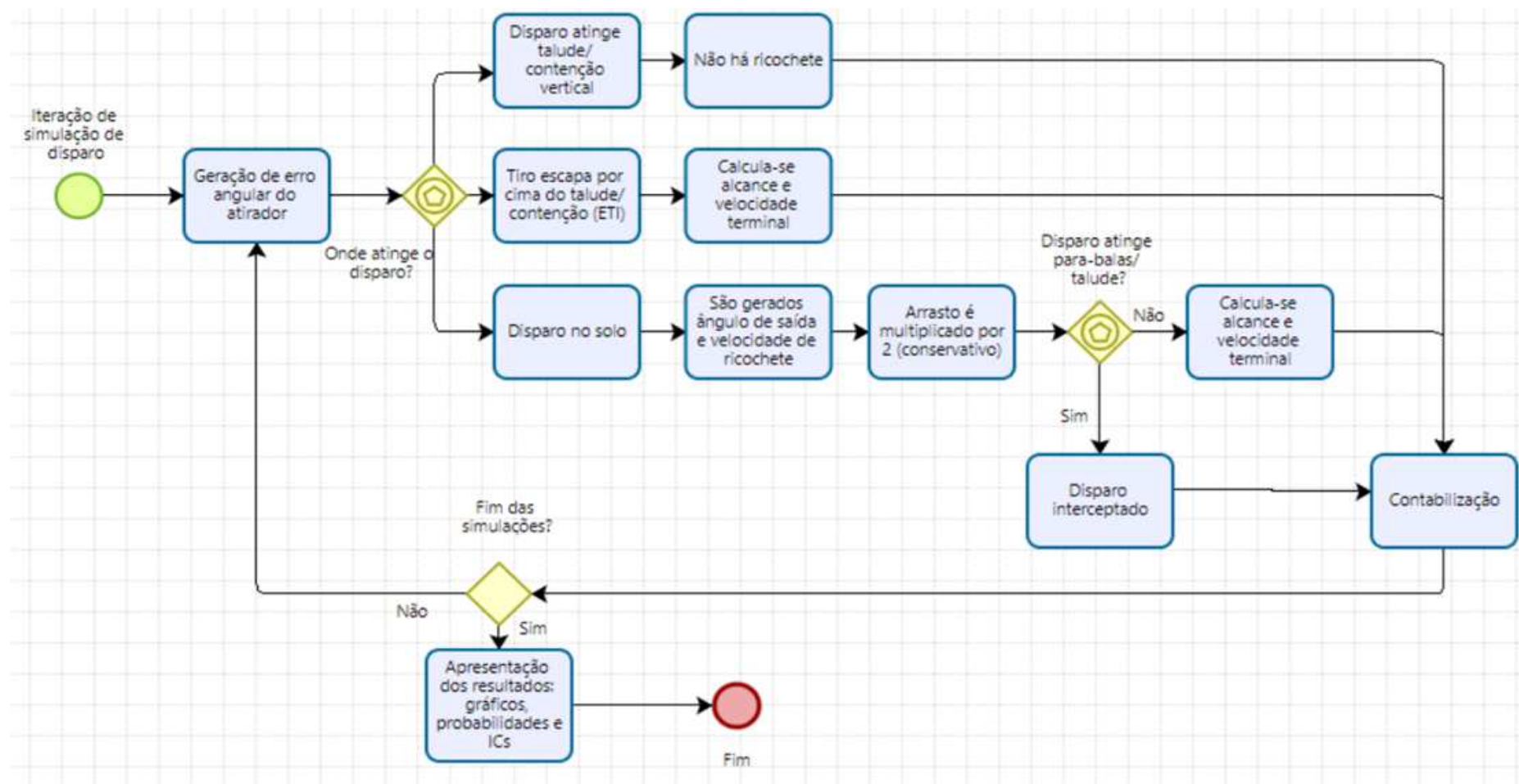


Figura A - 15 - Fluxograma do Método de Simulação de Monte Carlo

A.4) Considerações sobre densidade demográfica na região externa ao estande

Uma consideração natural que se pode fazer sobre o percurso de projéteis que abandonam o estande é que não necessariamente eles atingirão pessoas ou bens fora dos estandes. Entretanto, considerações como essa superestimam o conhecimento e o controle de que se dispõe sobre a região externa ao estande, subestimando a probabilidade de que eventualmente estes entes sejam atingidos. As referências utilizadas como *benchmark* não consideram esse fator, por exemplo.

Além disso, como o critério definido aqui (com base nos benchmarks dispostos na Contextualização desta Instrução) classifica a probabilidade de risco por disparo, é esperado que após milhares de disparos, haja algum fora da zona de solo perigoso. Ainda, fatores como presença de ventos incomuns e irregularidades nos terrenos dos estandes podem impactar nos alcances e velocidades dos projéteis, exigindo, quando desconsiderados nos modelos, medidas mais conservativas para evitar incidentes - considerando que hoje existem vários estandes do COMAER próximos a áreas urbanas e aeroportuárias.

Sendo assim, é desencorajada a consideração de probabilidade de atingimento de bens e pessoas, de forma que seja entregue análise conservativa diante do conhecimento que se possui atualmente.