

# Modelo de Estimativa de Força para Interdição de Pistas por Sistemas de Armas Ar-Superfície

Jean Marcel Knapp dos Santos<sup>1</sup> – Cap Av, Matheus Becker Motta<sup>2</sup> – 1º Ten Av

<sup>1</sup>2º Esquadrão do 5º Grupo de Aviação (2º/5º GAV), Parnamirim/RN – Brasil

<sup>2</sup>1º Esquadrão do 14º Grupo de Aviação (1º/14º GAV), Canoas/RS – Brasil

**Resumo** — Aeródromos podem ser interditados por meio de crateras na pista, de forma que o comprimento máximo e a largura máxima desimpedidos não permitam a decolagem de aeronaves. Este trabalho estabelece uma metodologia para estimativa de força para interdição de pistas por sistemas de armas ar-superfície, por meio do cálculo do raio das crateras formadas, das dimensões do alvo, do comprimento e da largura efetiva para cálculo da probabilidade de impacto de tiro único, do espaçamento entre impactos, e da quantidade de *DMPIS*, de surtidas e de armamentos lançados por surtida. Pela metodologia proposta, foram obtidas dimensões do alvo semelhantes àquelas disponíveis em publicações aeronáuticas, bem como foi possível obter a quantidade ideal de *DMPIS*, surtidas e armamentos necessários para interditar um aeródromo, com a mínima necessidade de interação do usuário ao longo do processo.

## I. INTRODUÇÃO

A interdição de pistas de aeródromos parte da premissa de que deve ser feito um ataque aéreo para formar crateras sobre a pista, de forma a inviabilizar a decolagem de aeronaves inimigas em virtude de não haver um comprimento mínimo de pista desimpedido para decolagem.

A estimativa de força deve considerar não apenas a distribuição de *DMPIS*, surtidas e de armamentos necessária para interditar o aeródromo, mas aquela que permita o mínimo uso da força para garantir uma probabilidade de dano desejada.

## II. DIMENSÕES DA CRATERA

O que define as dimensões de uma cratera são a carga explosiva, a profundidade da detonação e o material da pista. A Fig. 1 estabelece a relação entre profundidade e diâmetro  $d$  da cratera aparente, com base em dados de detonações de cargas explosivas sem invólucro em placas de concreto com resistências típicas entre 14 e 35MPa.

O diâmetro escalonado e a profundidade escalonada, são relativos ao diâmetro e a profundidade reais, com base na distância escalonada de Hopkinson e no  $C_{eb}$  da equação de Hutchinson.

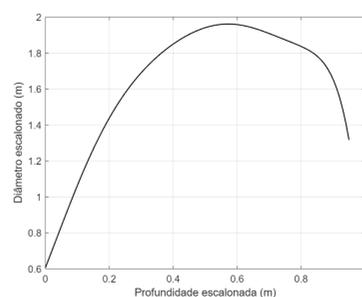


Fig. 1. Dimensões estimadas de uma cratera em Concreto Massivo

## III. COMPRIMENTO E LARGURA MÁXIMOS DESIMPEDIDOS

O comprimento máximo desimpedido  $l_{max}$  é o comprimento máximo de qualquer trecho de uma pista que não esteja obstruído por crateras, curto o suficiente para que não permita a decolagem de uma determinada aeronave, conforme Fig. 2.



Fig. 2. Ilustração de comprimento máximo desimpedido

A largura máxima desimpedida  $w_{max}$  é a distância máxima entre duas crateras na direção perpendicular à de uma pista que não permita a decolagem de uma determinada aeronave, conforme Fig. 3.

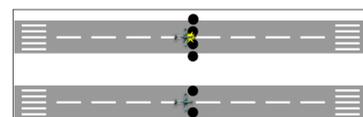


Fig. 3. Ilustração do conceito de largura máxima desimpedida

## IV. QUANTIDADE MÍNIMA DE *DMPIS*

O número mínimo de *DMPIS* é função do comprimento da pista  $L$  e do comprimento máximo da seção desimpedida  $l_{max}$ .

$$n_{DMPIS} = \left\lceil \frac{L}{l_{max}} - 1 \right\rceil$$

## V. COMPRIMENTO E LARGURA EFETIVOS

Para calcular o  $SSP_H$ , utiliza-se a Área de Designação Efetiva  $A_{ED}$ , de geometria retangular, centralizada em cada *DMPIS* e paralela à direção de lançamento do armamento, conforme Fig. 4.

A Área de Designação efetiva é aquela que, caso o *MPI* esteja contido nela, o rastilho cobrirá a pista, bem como o comprimento máximo desimpedido será respeitado.

$$L_{ED} = (n_r - 1) \times (w_{max} + d) + w_{max}$$

$$W_{ED} = 2 \times D_{max} = l_{max} - l$$



Fig. 4. Área de designação efetiva

## VI. PROBABILIDADE DE ACERTO ( $SSP_H$ )

Assume-se que, em um bombardeio em *stick*, os pontos de impacto são dependentes apenas do *MPI* e do espaçamento entre os impactos. Ou seja, o mesmo erro longitudinal e lateral é aplicado para cada impacto.

$$SSP_H = \text{erf} \left( \frac{\Phi^{-1}(0.75) \times \frac{W_{ED}}{2}}{2\sqrt{2} \times DEP} \right) \times \text{erf} \left( \frac{\Phi^{-1}(0.75) \times \frac{L_{ED}}{2}}{2\sqrt{2} \times REP} \right)$$

## VII. ESTIMATIVA DE FORÇA

A probabilidade de dano  $P_D$  é a probabilidade de um alvo sofrer o dano desejado com base na probabilidade de sucesso de uma surtida e na quantidade de surtidas  $N$ , utilizando uma distribuição de Pascal.

Para calcular o  $P_{ARR}$ , podem ser modelados diversos fatores de atrito, como por exemplo a probabilidade de não abortar ( $P_{NAB}$ ), probabilidade de sobreviver ( $P_{SOB}$ ) e probabilidade de não errar grosseiramente ( $P_{NEG}$ ), dentre outros

Para que o aeródromo seja de fato interditado, é necessário que haja dano em todos os *DMPIS*. Caso algum segmento da pista não seja obstruído por crateras de forma a garantir o comprimento máximo ou a largura máxima desimpedidos, considera-se que não houve interdição.

$$PD_{comp} = \left( \sum_{x=1}^N \binom{N}{x} \times (SSP_H \times P_{ARR})^x \times (1 - (SSP_H \times P_{ARR}))^{N-x} \right)^{n_{DMPIS}}$$

## VIII. QUANTIDADE IDEAL DE *DMPIS*

A estimativa de força é calculada com base no número mínimo de *DMPIS*, obtendo a quantidade de surtidas e armamentos necessários para interditar a pista com um  $P_D$  mínimo.

São iterados valores de  $n_{DMPIS}$  a partir do valor mínimo calculado, de forma a encontrar o menor valor de  $n_{DMPIS} \times N \times n_r$ , para que a estimativa de força seja a mais econômica possível no uso de meios, mas que garanta a  $P_D$  desejada.

REP	7m
DEP	7m

TABELA I. PLATAFORMA

Massa metálica	141,1kg
Carga explosiva	87,09kg
TNT <sub>EQ</sub>	1,38

TABELA II. MUNIÇÃO

$l_{max}$	700m
$w_{max}$	10m
PD	≥ 80%

TABELA III. ALVO



Fig. 5. Simulação com 3 DMPIS

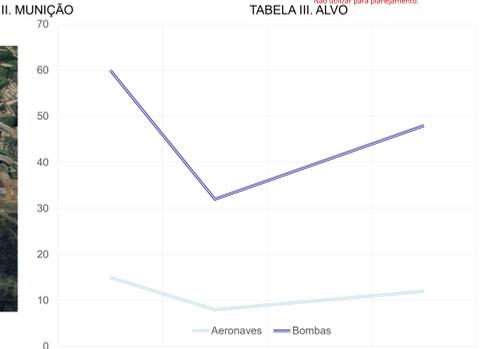


Fig. 7



Fig. 6. Simulação com 4 DMPIS

$n_{DMPIS}$	$SSP_H$	N	$n_r$	$n_{DMPIS} \times N \times n_r$
3	45,42%	5	4	60
4	86,89%	2	4	32
5	86,89%	2	4	40
6	86,89%	2	4	48

TABELA IV. RESULTADO DAS SIMULAÇÕES

## IX. CONCLUSÃO

Foi analisado o aeródromo Professor Urbano Ernesto Stumpf (SBSJ), localizado em São José dos Campos/SP, com base nas Tabelas I, II e III. A metodologia proposta permitiu obter a  $SSP_H$  de cada *DMPIS*, bem como permitiu estimar a quantidade de surtidas e de armamentos necessários para interditar o alvo utilizado como exemplo.

Apesar de ser contraintuitivo, e apesar de três *DMPIS* no exemplo, conforme Fig. 5 já serem suficientes para fazer a interdição do alvo, aumentar o número de *DMPIS* no exemplo para quatro, conforme Fig. 6, permitiu a redução da quantidade de surtidas necessárias de 15 para 8, bem permitiu a redução da quantidade de armamentos necessária de 60 para 32, conforme Fig. 7 e Tabela IV, mostrando ser um método eficaz para estimativa de força para interdição de pistas por sistemas de armas ar-superfície.

Com a metodologia proposta, é dispensado ao planejador do ataque o conhecimento aprofundado sobre letalidade e seleção de sistemas de armas, precisando apenas alimentar o sistema com informações de *targeting* de forma a receber a estimativa de força ideal.



Acesse o artigo completo

## REFERÊNCIAS

- DRIELS, M. R. Weaponing Conventional Weapon System Effectiveness. 2ª. ed. Virginia: AIAA Education Series, 2013.
- UNITED STATES. OFFICE OF THE CHAIRMAN. OF THE JOINT CHIEFS OF STAFF. DOD Dictionary of Military and Associated Terms. Washington, DC, 2021.
- HUTCHINSON, M. D. The escape of blast from fragmenting munitions casings. International Journal of Impact Engineering, v. 36, n. 2, p. 185-192, 2009. Disponível em: <https://scihub.ru/https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2008.05.9.002>.
- KINNEY, G. F.; GRAHAM, K. J. Explosive Shocks in Air. Springer. New York, 1985.
- UNITED STATES. ARMY. TM 5-855-10. Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons. [S.l.]. 1986.
- KNAPP, J. M. S. SOFTWARE. KnappView, 2022.11. Disponível em: <https://jeankn.app/products/knapp-view/>.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA. MMA 136-1:Manual de Planejamento e Emprego do Armamento Aéreo. MAER. Brasília, DF, 1980.
- BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. AIC-N 19/19: ROTAER. DECEA. Rio de Janeiro, RJ, 2019.
- KNAPP, J. M. S. Modelo de estimativa de força para sistemas de armas ar-superfície contra alvos bidimensionais, São José dos Campos, SP, p. 146, 2022.
- UNITED STATES. DEPARTMENT OF COMMERCE. NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. NATIONAL OCEAN SERVICE. What is the difference between a nautical mile and a knot?, 2021. Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/nautical-mile-knot.html>. Acesso em: 03 jul. 2022.
- COOK, J. D. Relating  $\Phi$  and erf. Applied Math & Data Privacy. Disponível em: <https://www.johndcook.com/erf\_and\_normal\_cdf.pdf>. Acesso em: 09 maio 2022.
- BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. AIC-N 19/19: ROTAER. DECEA. Rio de Janeiro, RJ, 2019.
- KNAPP, J. M. S. SOFTWARE. KnappView, 2022.