

Influência da velocidade de lançamento e do ângulo de aspecto na intensidade radiante de *flares* MTV na faixa de 3 a 5 μm

Luciano Barbosa Magalhães¹, Fábio Durante Pereira Alves¹ e Luis Roberto Ramos²

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Praça Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias - CEP 12.228-900 - São José dos Campos - SP - Brasil

²Instituto de Aeronáutica e Espaço - Praça Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias - CEP 12.228-904 - São José dos Campos - SP - Brasil

Resumo — Este trabalho apresenta um estudo sobre a influência da velocidade de lançamento e do ângulo de aspecto na intensidade radiante de *flares* MTV (Magnésio/Teflon®/Viton®) na faixa de 3 μm a 5 μm . Um modelo empírico de predição de intensidade radiante de *flare* foi selecionado, objetivando a comparação com resultados experimentais. Um arranjo experimental foi elaborado para a realização de medidas de intensidade radiante de *flares* em diferentes ângulos de aspecto e velocidades de vento relativo. Os resultados obtidos indicam que a intensidade radiante é inversamente proporcional à velocidade e diretamente proporcional ao ângulo de aspecto, conforme previsto pelo modelo teórico.

Palavras-chaves — *flare*, intensidade radiante, MTV.

I. INTRODUÇÃO

A recente modernização pela qual a FAB (Força Aérea Brasileira) vem passando fez com que diversas aeronaves passassem a ser dotadas de sistemas de autodefesa. Estes sistemas são compostos por contramedidas na faixa de RF (*chaff*) e na faixa óptica (*flare*). Este artigo analisa o *flare*, que é um dispositivo pirotécnico utilizado para seduzir míssil com guiamento infravermelho, fazendo com que este seja atraído para uma posição onde a detonação da sua cabeça de guerra não seja eficiente contra a aeronave [1].

Como a FAB possui diferentes tipos de aeronaves, realizando diferentes missões, há a necessidade de lançamentos de *flares* em diferentes condições de voo. Porém, em qualquer situação ou condição, é imperativo que o *flare* lançado seja efetivo contra um míssil. Portanto, para que se possa aumentar a probabilidade de sucesso no emprego desse dispositivo, é necessário estudar o comportamento da intensidade radiante detectada por um míssil na faixa de 3 μm a 5 μm , em virtude da janela atmosférica existente neste intervalo e dela ser utilizada para a detecção tanto da pluma como das partes quentes do motor de uma aeronave [2] [3]. O restante dos dados será objeto de análise de trabalhos futuros.

Dessa forma, montou-se um experimento visando medir essa intensidade radiante em função de diferentes velocidades de fluxo de ar e do ângulo de aspecto em que o *flare* é detectado.

Assim sendo, o objetivo desse trabalho é descrever o *setup* experimental, os procedimentos realizados e os resultados obtidos.

II. CONCEITOS BÁSICOS

Segundo Brune [4], a intensidade radiante de um *flare*, em W/sr , pode ser obtida através do seguinte modelo empírico:

$$I = \frac{\dot{m} \cdot H_c \cdot F_{\lambda,T} \cdot d_e}{4\pi} \cdot d_w \cdot d_s, \quad (1)$$

onde, \dot{m} é a taxa de combustão do combustível, em g/s , H_c é o calor do combustível da combustão, em J/g , $F_{\lambda,T}$ é a fração da radiação na banda de interesse em relação à radiação total produzida pelo *flare*, d_e é o fator de emitância radiante estática, que normalmente é cerca de 0,75, d_w é o fator de degradação devido ao fluxo de ar, que varia de 0,1 para MACH 1 e 1 para condições estáticas, e d_s é o fator de formato da pluma, que varia de 2 a 1 para *flares* convencionais [4].

Como o objeto de estudo desse artigo é a influência da velocidade de lançamento e do ângulo de aspecto na intensidade radiante de *flares*, ao se analisar os dois últimos fatores de (1), d_w e d_s , verifica-se que irão influenciar no resultado da equação, uma vez que todos os demais fatores serão os mesmos. Portanto, (2) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$I = K \cdot d_w \cdot d_s, \quad (2)$$

onde, K é uma constante para todos os *flares* do mesmo tipo, em W/sr .

III. EXPERIMENTO

O referido estudo poderia ser desenvolvido basicamente de duas formas: através da medição dos *flares* lançados em voo, ou através de medições estáticas, isto é, através da queima do *flare* em solo, utilizando-se um dispositivo que forneça um fluxo de ar capaz de reproduzir o vento relativo de um lançamento em voo.

Luciano Barbosa Magalhães - Cap Av, lbmag@ita.br, Tel +55-12-39476895, ramal 6895; Fábio Durante Pereira Alves - Ten Cel Av, durante@ita.br, Tel +55-12-39476934, ramal 6934; Luis Roberto Ramos, luisramos@iae.cta.br, Tel +55-12-39474755, ramal 4755.

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo COMAER.

Em função de um menor custo e uma maior facilidade de controle do fluxo de ar, optou-se pela segunda alternativa. Apesar das medições poderem apresentar certas interferências em função das reflexões do solo, do aquecimento do suporte de sustentação do *flare* e de um determinado obscurecimento provocado pelo dispositivo de fixação do *flare* ao suporte, a operacionalização do experimento estático é menos problemática.

Para a realização dessas medidas, o *pellet* do *flare*, que é o núcleo do cartucho metálico de ejeção, foi retirado do cartucho e fixado a um suporte. O suporte consiste de um mastro que permite a queima do *pellet* a 4m acima do solo, permitindo o apontamento do espectroradiômetro para o céu, e de um sistema de direcionamento e controle da velocidade do fluxo de ar, que é capaz de soprar o *pellet* em quatro velocidades diferentes, em número de MACH, que são: 0.21, 0.35, 0.45 e 0.63. A temperatura do fluxo de ar, antes da queima, permaneceu em torno de 58°C, pois o fluxo de ar era proveniente do compressor de uma turbina. Além disso, o suporte foi projetado para permitir a medição dos *flares* em diferentes ângulos de aspectos. Para a realização do experimento optou-se por efetuar as medidas em 90°, 60° e 30°.

O espectroradiômetro utilizado nas medidas foi o SR-5000, que é capaz de detectar radiação entre 2,5 µm e 14 µm, entretanto, apenas a faixa de 3 µm a 5 µm foi analisada. O FOV (*Field of View* - campo de visão) utilizado pelo espectroradiômetro foi de 5,6°, o que corresponde a uma secção circular de aproximadamente 2,5 m de diâmetro na distância em que o *flare* estava posicionado.

Antes da realização das medidas é necessário fazer a calibração do espectroradiômetro e para tal utilizou-se um corpo negro com 3,8 cm² de área, a 1000°C e que ficou a 11 m daquele. O *pellet* do *flare* ficou posicionado a 24 m do espectroradiômetro, pois a absorção atmosférica pode alterar significativamente a intensidade radiante aparente do *flare* quando a medida é executada numa distância superior a 30 m [4].

Imediatamente antes das medições da queima do *flare* foi realizado um conjunto de medidas do mesmo plano de fundo do FOV onde o *flare* estava inserido, inclusive com o fluxo de ar já acionado. O objetivo dessas medidas era obter o ruído médio para posteriormente extraí-lo do sinal das medidas com o *flare* em combustão, restando apenas o sinal do *flare* propriamente dito.

O *pellet* era acionado através de um iniciador, também à base de MTV (Magnésio, Teflon® e Viton®), com um tempo médio de queima de 0,3 s.

Foram efetuadas as medições de 15 *flares*, variando a combinação entre os três ângulos de aspectos escolhidos (90°, 60° e 30°) e as cinco velocidades de fluxo de ar (0.00, 0.21, 0.35, 0.45 e 0.63, em número de MACH). Deve-se observar que a velocidade zero corresponde à medição da queima estática, ou seja, sem o auxílio da fonte de ar acionada.

IV. INTERPRETAÇÃO DAS MEDIÇÕES

Durante a realização dos experimentos cada *flare* ficou em média 3 s dentro do FOV do espectroradiômetro, mesmo com a maior velocidade do fluxo de ar. Devido às características do espectroradiômetro, uma medida completa da sua faixa de operação demorava cerca de 0,1 s, assim, foi possível obter

uma média de 30 leituras de cada queima. Excluíam-se as quatro leituras iniciais, devido a alterações causadas pelo tempo de queima do iniciador utilizado para acionar o *flare*. No caso das medidas realizadas com as velocidades acima de zero também foram excluídas as leituras finais com a intensidade radiante muito acima do sinal médio (>3 vezes). Essas medidas foram tomadas quando o *pellet* do *flare* saía do fluxo de ar, mas ainda estava dentro do FOV do espectroradiômetro. A provável causa do aumento da intensidade radiante nessas medidas finais se deve ao fato do *pellet* se desprender do suporte e sair do fluxo de ar, fazendo com que aquele parasse de transferir calor para o fluxo de ar do dispositivo e, conseqüentemente, aumentasse a transferência de calor por radiação.

V. RESULTADOS

Os resultados da intensidade radiante foram utilizados para calcular a razão entre a intensidade radiante dinâmica média e a intensidade radiante estática média em função da velocidade, em MACH, e do ângulo de aspecto do *flare*. Ou seja, os valores encontrados representam uma porcentagem do valor máximo que é obtido numa queima estática, conforme apresentado na Tabela I.

TABELA I
RAZÃO ENTRE A INTENSIDADE RADIANTE DINÂMICA MÉDIA E A INTENSIDADE RADIANTE ESTÁTICA MÉDIA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE, EM MACH, E DO ÂNGULO DE ASPECTO DO *FLARE*.

Velocidade (MACH)	Ângulo de aspecto		
	90°	60°	30°
0.00	1,0000	1,0000	1,0000
0.21	0,2421	0,2333	0,1856
0.35	0,1736	0,1479	0,1329
0.45	0,1368	0,1208	0,1185
0.63	0,08210	0,07604	0,0167

A Fig. 1 mostra a representação gráfica dos valores da Tabela I. Pode-se observar que a intensidade radiante média é inversamente proporcional à velocidade do fluxo de ar e diretamente proporcional ao ângulo de aspecto. É importante notar que em função da simetria do *flare* utilizado, o MJU-7A/B, a variação do ângulo de aspecto fica entre 90° a 0°.

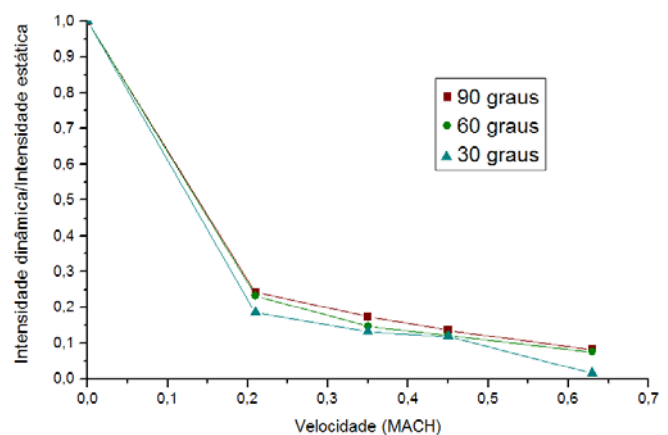


Fig. 1. Razão entre a intensidade radiante dinâmica média e a intensidade radiante estática média em função da velocidade, em MACH, e do ângulo de aspecto do *flare*, na faixa de 3 µm a 5 µm.

Analisando-se os dados da Fig. 1, percebe-se que à medida que a velocidade do fluxo aumenta, o ângulo de aspecto,

aparentemente, torna-se irrelevante, pois os valores medidos da intensidade radiante, em W/sr , ficam muito próximos. O resultado obtido com 0.63 MACH e a 30° de ângulo de aspecto diverge dessa tendência, possivelmente devido a uma imprecisão no ângulo de apontamento do espectralradiômetro.

Utilizando-se uma ferramenta computacional, o programa *Origin*, foi possível obter gráficos que melhor descrevessem o comportamento da razão entre a intensidade radiante dinâmica média e a intensidade radiante estática média em função da velocidade, em MACH, e dos três ângulos de aspecto medidos, conforme as Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4.

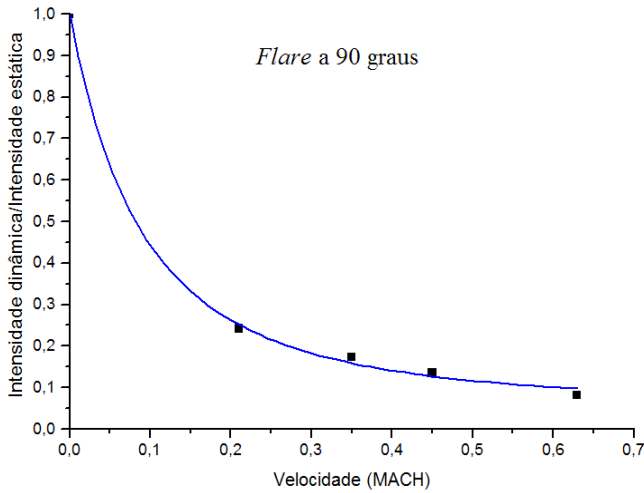


Fig. 2. Razão entre a intensidade radiante dinâmica média e a intensidade radiante estática média pela velocidade, em MACH, para um flare a 90° de ângulo de aspecto, na faixa de $3 \mu m$ a $5 \mu m$.

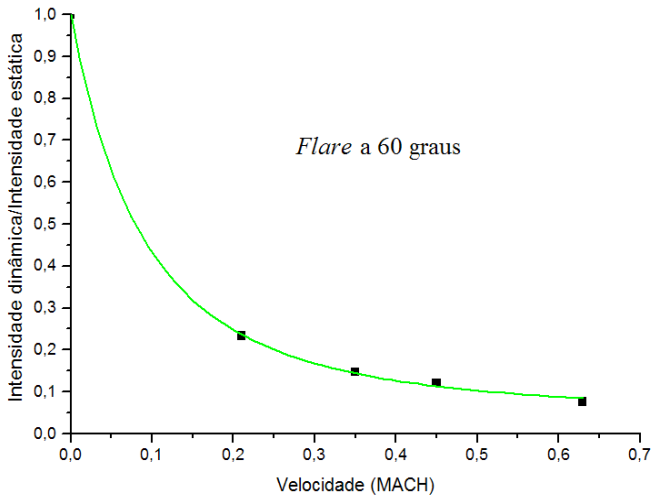


Fig. 3. Razão entre a intensidade radiante dinâmica média e a intensidade radiante estática média pela velocidade, em MACH, para um flare a 60° de ângulo de aspecto, na faixa de $3 \mu m$ a $5 \mu m$.

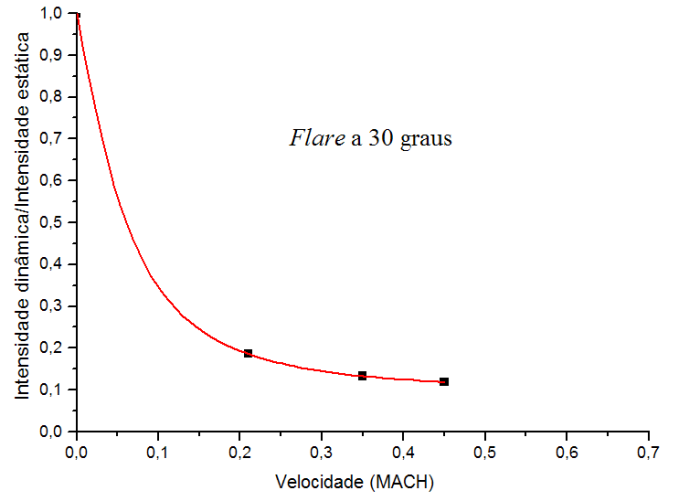


Fig. 4. Razão entre a intensidade radiante dinâmica média e a intensidade radiante estática média pela velocidade, em MACH, para um flare a 30° de ângulo de aspecto, na faixa de $3 \mu m$ a $5 \mu m$.

De uma forma geral, a análise das Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4, mostra que a intensidade radiante de um flare MTV, em velocidades próximas à velocidade do som, tende a ser aproximadamente 10% do valor da intensidade radiante estática. De fato, esta característica dá origem a uma regra na qual um flare MTV convencional, ao nível do mar, queimando sob condições estáticas, deve ser projetado para fornecer 10 vezes mais intensidade radiante do que o necessário em voo [4]. Portanto, os valores medidos correspondem realmente à faixa de valores do fator de degradação devido ao fluxo de ar, conforme definido anteriormente.

Em função da altitude do local, 2132 ft, os valores de intensidade radiante medidos foram teoricamente menores do que se fossem realizados ao nível do mar, devido à redução na pressão ambiente [4], o que já era esperado.

Utilizando-se os valores de intensidade radiante medidos, exceto o resultado obtido com 0.63 MACH e a 30° de ângulo de aspecto, considerado impreciso, foi realizada uma regressão não-linear, que respondeu por mais de 99,9% da variabilidade dos dados. O resultado representado na Fig. 5 é normalizado em função do valor da intensidade radiante estática média a 90° de ângulo de aspecto.

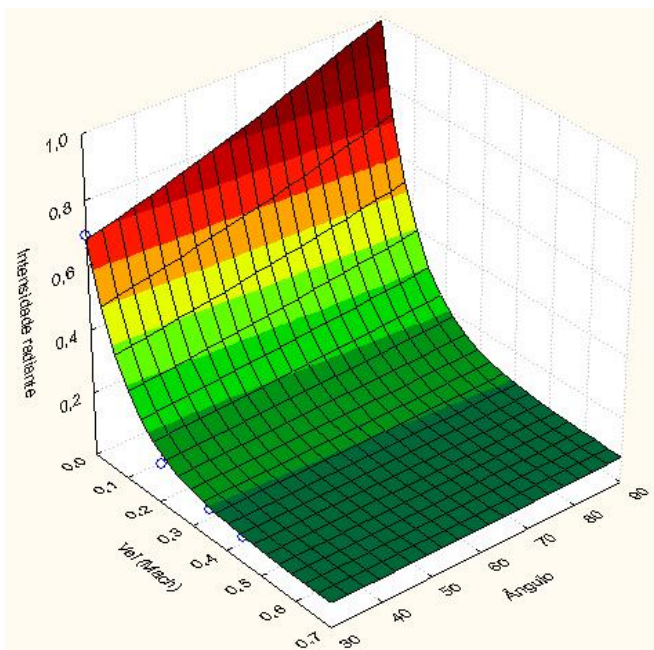


Fig. 5. Intensidade radiante dinâmica média em função da velocidade, em MACH, e do ângulo de aspecto do flare.

De acordo com a Fig. 5, extrapolando-se o ângulo de aspecto até 0° e observando-se onde a velocidade do fluxo de ar é igual a zero, pode-se inferir que o valor da intensidade radiante para esta situação será igual a 0,5, ou seja, a metade do valor a 90° . Assim sendo, os valores medidos também caracterizam a faixa de valores do fator de formato da pluma definido anteriormente, apesar das interferências provocadas pelo experimento realizado.

Com essas medidas e através da regressão não-linear feita foi possível estabelecer uma equação que incorpora as duas variáveis estudadas, aguardando apenas uma avaliação para que possa ser utilizada operacionalmente.

VI. CONCLUSÃO

De acordo com os experimentos realizados pode-se notar que a intensidade radiante de flares MTV, na faixa de $3 \mu\text{m}$ a $5 \mu\text{m}$, é inversamente proporcional à velocidade do fluxo de ar em que o flare está inserido. Os valores da intensidade radiante na velocidade do som são cerca de 10% dos valores numa queima estática, conforme definido por Brune [4].

Nos resultados obtidos nas medidas também foi possível observar que a intensidade radiante é diretamente proporcional ao ângulo de aspecto do flare, apresentando um valor máximo a 90° e reduzindo para metade desse valor quando a 0° de ângulo de aspecto.

REFERÊNCIAS

- [1] R. E. Ball, "The fundamentals of aircraft combat survivability analysis and design". New York: AIAA, 1985.
- [2] D. C. Schleher, "Electronic Warfare in the Information Age". Norwood: Artech House, Inc., 1999. ISBN 0-89006-526-8.
- [3] F. Neri, "Introduction to Electronic Defense Systems". Norwood: Artech House, Inc., 2001. ISBN 1-58053-179-2.
- [4] N. Brune, "Expendable Decoys", in Countermeasure Systems, vol. 7, D. Pollock, in The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook, J. S. Acceta e D. Shumaker. Michigan: Infrared Information Analysis Center, 1993, pp. 287-232.