

Metodologia de Avaliação Espacial Quantitativa de Sistemas Eletro-ópticos Imageadores.

Alvaro J. Damião, Ruy M. Castro, Geraldo M. L. Filho e Robert C. F. Almeida

Instituto de Estudos Avançados (IEAV) - Trevo Coronel Aviador José Albano do Amarante - 01 - Putim, São José dos Campos - SP, 12228-001

Resumo — A detecção, a identificação, o reconhecimento, a interpretação e o acompanhamento são atividades de suma importância nas ações de inteligência operacional, da patrulha marítima, de busca e salvamento e no apoio à tomada de decisão. Para esses fins, os sistemas eletro-ópticos são ferramentas muito importantes. Atualmente estão disponíveis muitos sistemas eletro-ópticos capacitados a realizar as essas ações. Portanto, identificar o melhor sensor para desempenhar as diversas ações é uma tarefa difícil quando não se dispõe de ferramentas adequadas para fazer a avaliação. Neste trabalho, foi realizada a caracterização espacial de uma câmera termal, com uma lente de 27 mm e também com uma lente de 54 mm, no laboratório do IEAV, utilizando-se um alvo USAF 1951 de alumínio e um corpo negro de área extensa, a fim de avaliar quantitativamente este sistema eletro-óptico. Contudo para uma avaliação completa são necessárias as caracterizações radiométrica e espectral. Com isso, pretende-se dar início a uma metodologia que permita avaliar espacialmente um sistema eletro-óptico imageador, identificando o potencial de uso e disponibilizando informações que possibilitem as ações de inteligência operacional de acordo com: o alvo, o cenário e as condições ambientais.

Palavras-Chave — Avaliação de Câmeras, Caracterização Espacial, Sistemas Eletro-Ópticos.

I. INTRODUÇÃO

A detecção, a identificação, o reconhecimento, a interpretação e o acompanhamento são atividades de suma importância para as ações de defesa, por parte das Forças Armadas bem como para a manutenção da lei e da ordem por parte das Forças de Segurança. Os sensores imageadores são as ferramentas mais utilizadas para essas funções, sejam eles ópticos, eletro-ópticos ou de micro-ondas [1].

Tratando especificamente de sistemas eletro-ópticos imageadores, eles são amplamente utilizados na Força Aérea Brasileira (FAB), nas aeronaves P-3, RA-1, R-99, Lear-Jet, A-29 e, mais recentemente, as aeronaves remotamente pilotadas (ARP). A Marinha do Brasil e o Exército Brasileiro também fazem uso desses sistemas, assim como as forças de segurança como a Polícia Federal por meio de suas ARP. Esses sistemas são utilizados em missões de inteligência, assim como em missões de busca e salvamento. Portanto, adequar utilização do equipamento eletro-óptico ao seu potencial é de grande importância para o planejamento dessas missões.

Alvaro J. Damião, damiao@ieav.cta.br, Tel +55-12-3947-5412, Ruy M. de Castro, mcastro@ieav.cta.br, Tel +55-12-3947-5350, Geraldo M. de Lima Filho, geraldolfi@hotmail.com, Tel +55-12-3947-5440, Robert C. F. de Almeida, robert.rcfa@gmail.com, Tel +55-12-3947-5440.

Os sistemas eletro-ópticos imageadores são equipamentos geralmente compostos por: coletor (normalmente lentes e, ou espelhos), filtros, detector, processador e unidade de saída. Eles possuem na sua unidade de saída um monitor para fornecer uma imagem da radiação eletromagnética coletada, e operam em comprimentos de onda entre 0,35 e 15 μm .

Além disso, os sistemas eletro-ópticos possuem características peculiares e envolvem um conjunto de parâmetros diretamente relacionados com a qualidade das imagens a serem adquiridas. Essa qualidade pode ser ou não adequada para a localização, o reconhecimento e, ou interpretação de um dado alvo, em certas condições ambientais (atmosféricas, altitudes, etc.). Ou, ainda, o cenário no qual o alvo está incluído.

Portanto, a escolha do equipamento eletro-óptico mais adequado para cada missão passa pela caracterização do mesmo. O conhecimento amplo do funcionamento e das capacidades dos sistemas eletro-ópticos corrobora muito para a qualidade da informação adquirida, implicando diretamente no auxílio à tomada de decisões.

Este trabalho tem por finalidade apresentar um procedimento de avaliação espacial, quantitativa de sistemas eletro-ópticos imageadores que operam no infravermelho, utilizando a imagem de um alvo USAF 1951 [2], colocado à frente de um corpo negro de área extensa. Como ponto de partida, fez-se uso de uma câmera SC5600 fabricada pela FLIR SYSTEMS® [3], que é uma câmera de imagem térmica no infravermelho médio, de alto desempenho, para termografia de uso industrial e educacional. A referida câmera fornece dados em níveis digitais, e os valores de radiação e temperatura são convertidos em um ajuste de calibração pré-estabelecido pelo sistema, ela possui também uma correção de não uniformidade de pixel [4]. Foi utilizada uma câmera comercial para facilitar tanto o manuseio, quanto o estabelecimento dos procedimentos. Nesse trabalho far-se-á uma avaliação de um sistema eletro-óptico, variando-se apenas o conjunto óptico do sistema, utilizando uma lente de 27 mm e uma lente de 54mm, ambas da FLIR SYSTEMS®. Uma vez estabelecidos estes procedimentos, eles poderão ser aplicados a qualquer equipamento eletro-óptico imageador termal.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a caracterização foi utilizado um alvo USAF 1951 [2], cada grupo é composto por dois elementos, sendo um composto por três linhas paralelas verticais e outro composto por três linhas paralelas horizontais. Todos igualmente

espaçados. O comprimento de cada linha é cinco vezes maior que a sua largura, assim como os espaçamentos adjacentes. Cada grupo é mostrado na Fig. 1.

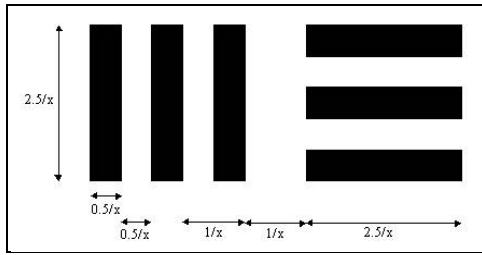


Fig. 1. Grupo de linhas triplas [2].

O alvo teste USAF 1951 é composto por quatro conjuntos identificados pelos números (-2, -1, 0, e 1), cada conjunto é formado por seis grupos identificados pelos números (1, 2, 3, 4, 5 e 6) perfazendo um total de 48 elementos. Assim o primeiro grupo do conjunto (-2) será identificado como: (1, -2). A proporção do tamanho entre cada grupo e o próximo grupo é de $2^{-1/6}$, conforme Fig. 2.

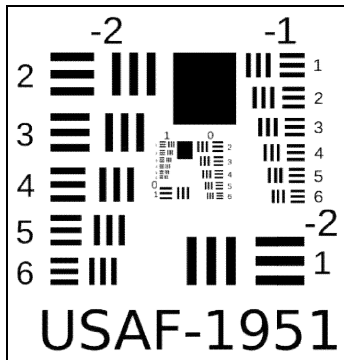


Fig. 2. Padrão USAF 1951 [2].

Para caracterizar espacialmente a câmera, fez-se necessária a utilização da função contraste (*Contrast Transfer Function* - CTF), prevista por Schott [6], conforme pode ser observado na Fig.5.

A equação (1), normalizada, define o eixo das ordenadas (contraste relativo) no gráfico da Fig. 5:

$$y = \frac{A-B}{A+B} \quad (1)$$

onde: A representa a média dos níveis digitais da radiação emitida pelo o corpo negro e B a média dos níveis digitais da barra emitida pelo Alvo USAF 1951. Para esse experimento, como se trata de uma câmera termal, foi utilizada uma placa de alumínio com as linhas vazadas, de modo que houvesse um gradiente térmico entre a placa e um corpo negro posto atrás da mesma, e com isso um contraste na imagem, conforme a Fig. 3.

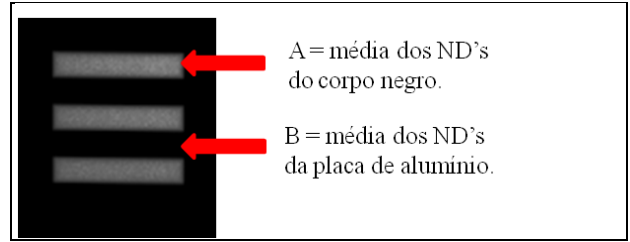


Fig. 3. Representação das médias dos níveis digitais.

O eixo das abscissas, na Fig. 5, é dado pelo inverso da dimensão de um par em metros. Conforme ilustrado na Fig. 4

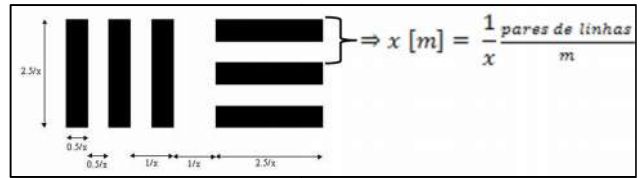


Fig. 4. Cálculo de pares de linhas por metro [2].

A maior frequência de linhas que pode ser observada por um sensor (ou o limite resolução do sensor) é determinada pela frequência de Nyquist [6], é dada por (2):

$$f_n = \frac{1}{2.T_p} \quad (2)$$

onde: f_n é a frequência de Nyquist, e T_p é o tamanho efetivo da representação de um pixel na imagem, que foi calculado utilizando-se o número total de pixels que compreendia a imagem do alvo e o tamanho real do alvo.

A reta que liga a interseção do CTF/frequência de Nyquist à origem, indica a menor quantidade de modulação detectável por um sistema (isto é, o *threshold*) e é chamada de AIM (*Aerial Image Modulation*), referindo-se à modulação requerida para produzir uma resposta no sistema [7]. Pode-se observar as referidas curvas teóricas, na Fig. 5.

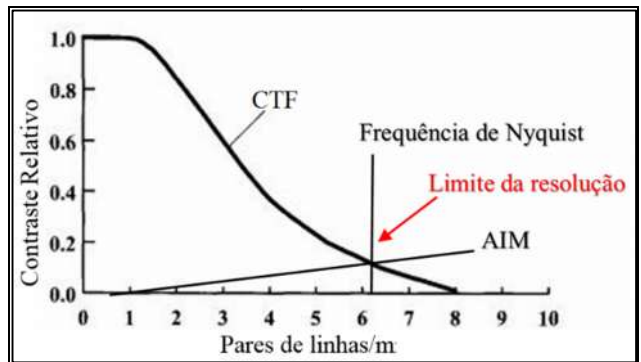


Fig. 5. Curvas teóricas: CTF, Frequência de Nyquist e AIM (Adaptado de [5]).

III. METODOLOGIA

Para as medições, foram utilizadas as instalações e equipamentos do Laboratório de Radiometria e Caracterização de Sensores Eletro-ópticos (LaRaC), do Instituto de Estudos Avançados (IEAv). O esquema do arranjo experimental utilizado nas medições é apresentado na Fig 6.

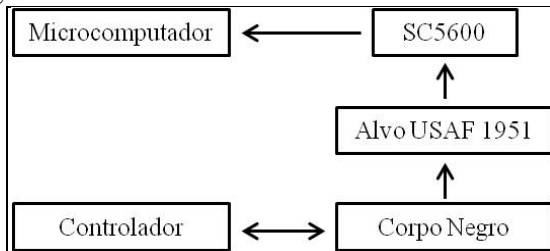


Fig. 6. Arranjo da atividade experimental.

O Alvo no padrão USAF 1951 [2] em alumínio foi produzido na Divisão de Suporte Tecnológico (SUTEC) do IEAv. O alvo foi utilizado como uma máscara no Corpo Negro SR800 da CI Systems [5].

Para imagear o alvo foi utilizada a câmera SC5600 da FLIR SYSTEMS® com duas lentes de distâncias focais diferentes. Uma lente de 27 mm e outra de 54 mm. A câmera foi posicionada a 3,12 m do alvo. O software Altair [3] foi utilizado para processar a imagem e os dados.

Nas duas configurações, como foi utilizado o mesmo alvo, o grupo (1, -2) possui o tamanho de 21,6 mm. Deste modo a quantidade de pares por milímetro (Pares de linhas/mm) é dada por 1/21,6, que é igual a 0,46 Pares de linhas/mm, os demais pares seguem o mesmo cálculo.

Para o cálculo do tamanho efetivo do pixel, obteve-se o valor de 1,74 mm por 1,74 mm para a imagem produzida com a lente de 27 mm, e 286,7 ciclos/m a frequência de Nyquist. Com a lente de 54 mm, obteve-se o valor de 0,90 mm por 0,90 mm, para o tamanho efetivo do pixel, e 553,5 ciclos/m para a frequência de Nyquist, conforme mostra a Fig. 7.

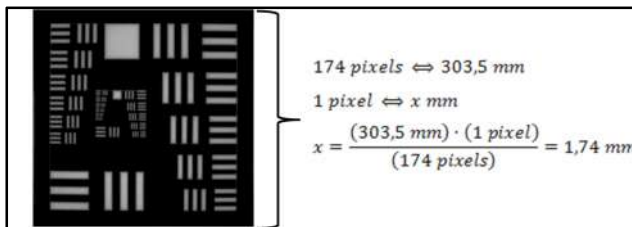


Fig. 7. Tamanho efetivo do pixel para lente de 27mm.

No experimento o corpo negro foi ajustado para a temperatura de 35°C, e a placa foi mantida na temperatura ambiente (~ 22,1 °C), utilizando-se termopares para verificar a pequena flutuação da sua temperatura (de 22 a 22,15 °C). Estas temperaturas foram escolhidas de forma que simulasse um cenário de busca marítima de um homem ao mar, tomando por base que um ser humano vivo, possui a temperatura média de aproximadamente 36°C, e a temperatura média do mar no sudeste do Brasil é de 23°C [8], no dia 25 de junho de 2015, o que nos fornece uma diferença

de temperatura de 13°C utilizada no arranjo. Esse procedimento foi realizado tanto para a configuração 1, que possui distância focal igual a 27 mm, como para a configuração 2 de distância focal igual a 54 mm.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o imageamento do alvo pelo sistema eletro-óptico, foram obtidos os valores de: CTF, AIM e da frequência de Nyquist, apresentadas na Fig. 8. Para os pares de linha dos menores elementos, foram selecionados menos pixels para calcular o contraste relativo, pois o tamanho útil que se conseguia visualizá-los no monitor era menor. Porém o valor, em nível digital, de cada pixel que foi fornecido pela câmera, era da média de 60 frames, ou seja, para cada pixel tinha-se uma amostragem 60 valores.

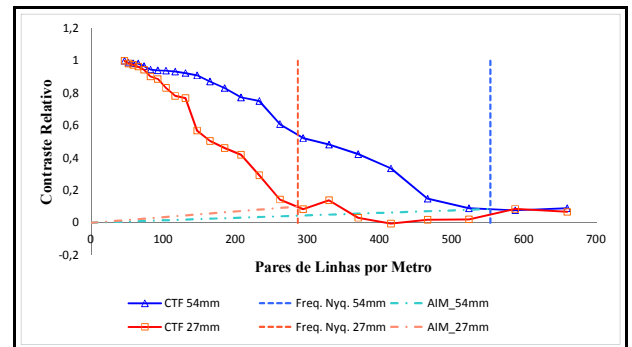


Fig. 8. CTF, AIM e frequência de Nyquist experimentais dos dois sistemas eletro-ópticos.

Pode-se observar na Fig. 8 que o sistema que utiliza a lente de 27mm apresentou valores de contraste relativo, do (5, 0) ao (6, 1) do alvo USAF 1951, abaixo do limite da resolução do sistema (limitada pela frequência de Nyquist). Ou seja, o (4, 0) foi o último grupo com contraste suficiente resolvido. Neste grupo cada linha contém 1,9 mm de largura, como a distância da câmera para o alvo era de 3,12 m, cada elemento detector da matriz do sensor fornece um campo de visada efetivo (IFOV) de aproximadamente 60,9 mrad, sendo que o IFOV teórico é de 32 mrad.

O sistema que utiliza a lente de 54mm teve apenas os grupos (6, 1) e (5, 1) do alvo USAF 1951 abaixo do limite da resolução do sistema, e o grupo (4, 1) teve também que ser desconsiderado, devido à proximidade da curva AIM, indicando estar no limite de contraste necessário para ser resolvido. Ou seja, o grupo (3, 1) foi último resolvido dentro da limitação de resolução do sistema (contraste suficiente). Neste grupo cada linha contém 0,107 mm de largura, como a distância da câmera para o alvo era de 3,12 m, cada elemento detector da matriz do sensor fornece um campo de visada instantâneo efetivo (EIFOV) de aproximadamente 34,29 mrad, sendo que o IFOV teórico é de 16 mrad. Pode-se verificar na Fig. 7, que o sistema que utiliza a lente de 54mm possui maior resolução espacial e melhor contraste relativo em todo o gráfico.

V. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido apresentou procedimento para o cálculo da resolução espacial efetivo de um sistema imageador eletro-óptico, utilizando-se a câmera SC 5600, possibilitando a avaliação espacial quantitativa desse sistema imageador.

Considerando a diferença de temperatura utilizada de aproximadamente 13°C, o sistema que utiliza a lente de 54mm apresentou maior resolução espacial e contraste relativo, fornecendo uma preciosa informação para escolha de um sistema eletro-óptico para uma determinada missão, como, por exemplo, para uma ação de busca e salvamento de um homem ao mar (o homem com temperatura média de 36°C e o mar de 23°C), escolher-se-ia o sistema que utiliza a lente de 54mm, pois neste caso seria necessário a melhor resolução espacial.

Como foi observado, o experimento está diretamente ligado ao gradiente térmico, por isso para uma escolha adequada de um sistema eletro-óptico é necessário que se realizem vários experimentos, como sugestão para trabalhos futuros, com gradientes de temperaturas diferentes, de forma que seja garantida a avaliação de resolução e contraste em quaisquer condições de gradiente de temperatura.

Este trabalho é de grande importância para estabelecer uma metodologia de avaliação espacial quantitativa equipamentos eletro-ópticos da FAB, com grande relevância tática e estratégica, pois trata do aperfeiçoamento do sistema de inteligência de imagens e do sistema de busca e salvamento, bem como impacta diretamente para o melhor planejamento das ações de Patrulha Marítima e de Reconhecimento Aéreo da FAB.

REFERÊNCIAS

- [1] ALMEIDA, R.C.F. Caracterização espacial de camera CCD: estudos iniciais. 2014. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético) - Departamento de Engenharia Eletrônica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [2] United States Air Force MIL-STD-150A, Section 5.1.1.7, Resolving Power Target, 1963.
- [3] Flir Systems, Inc. SC5000 User Manual, 2009.
- [4] LIMA FILHO, G. M. Caracterização Radiométrica de Câmera que Opera no Infravermelho Médio. 2013. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético) - Departamento de Engenharia Eletrônica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [5] CI SYSTEMS. SR-800 extended area blackbody. Simi Valley, 2004. Manual
- [6] SCHOTT, J. R. Remote Sensing the Image Chain Approach. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 2007. 701 p.
- [7] ALMEIDA, M. H. Desenvolvimento de um software para avaliação de desempenho do sistema óptico em equipamento para retinografia digital. 2007. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo, São Carlos.
- [8] Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram). Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=289>. Acesso em: 25/06/2015.