



ESCOLHA DE ALVOS PARA O MÉTODO *SLANTED EDGE* NO INFRAVERMELHO

Hingrid Spirlandeli Nunes da Silva¹, Francisco Lovato Eick¹, Álvaro José Damiano²

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

²Instituto de Estudos Avançados (IEAv), São José dos Campos/SP - Brasil

Resumo — Uma das figuras de mérito adotadas para a caracterização de sensores eletro-ópticos é a *Modulation Transfer Function* (MTF), ou equivalentemente a Resposta à Frequência Espacial (SFR), que podem ser avaliadas por um método como o *Slanted Edge*, por exemplo. Este trabalho discute a escolha de alvos que combinam dois revestimentos de uso aeronáutico para a aplicação do método *Slanted Edge* no infravermelho médio, como função da emissividade. Era esperado que a emissividade representasse o mesmo papel que o contraste, como ocorre no visível. Os resultados apontam que não há influência direta da emissividade na aplicação do método estudado.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de capacidades militares para as atuações da Força Aérea Brasileira torna crescente emprego de sensores imageadores infravermelhos aeroembarcados, como parte do processo decisório em missões de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento, dentre outras. Uma das figuras de mérito adotadas para acompanhar o desempenho destes sensores é a Função Transferência de Modulação (*Modulation Transfer Function* - MTF), cujos dados podem ser obtidos usando o método *Slanted Edge*, ou seja, na análise de imagens geradas pelo sensor a partir de um alvo padrão estabelecido na ISO 12233.

A fim de analisar a influência da emissividade na aplicação do método, este trabalho se desenvolveu em duas fases, sendo a primeira direcionada à caracterização da emissividade na faixa espectral de 2,5 a 5,1 μm e dentro da faixa de temperatura de 40 °C a 80 °C de 6 diferentes alvos, 4 deles com revestimentos aeronáuticos e dois deles como referência, de valores já estabelecidos. Utilizou-se como substrato uma liga de alumínio 1200H14 e 4 revestimentos aeronáuticos para a confecção dos alvos. Na segunda fase confeccionaram-se alvos conforme a ISO 12233 para a aplicação do método *Slanted Edge* na obtenção dos dados de MTF de uma câmera FLIR® SC 5600, na faixa espectral de 3 a 5 μm , utilizando-se o algoritmo SFRMAT4. O método de caracterização da emissividade das superfícies mostrou-se satisfatório na primeira fase experimental. Os resultados da segunda fase não evidenciam que a diferença de emissividade exerce no infravermelho médio a mesma influência que a iluminação e contraste exercem no visível para a aplicação do método *Slanted Edge*, mesmo para diferentes temperaturas do alvo.

A fim de analisar a influência da emissividade na aplicação do método, este trabalho se desenvolveu em duas fases, sendo a primeira direcionada à caracterização da emissividade na faixa espectral de 2,5 a 5,1 μm e dentro da faixa de temperatura de 40 °C a 80 °C de 6 diferentes alvos, 4 deles com revestimentos aeronáuticos e dois deles como referência, de valores já estabelecidos. Na segunda fase confeccionaram-se alvos conforme a ISO 12233 para a aplicação do método *Slanted Edge* na obtenção dos dados de MTF de uma câmera FLIR® SC 5600, na faixa espectral de 3 a 5 μm , utilizando-se o algoritmo SFRMAT4 [2].

II. REFERENCIAL TEORICO

A câmera SC 5600 disponibiliza o recurso de mapa de emissividade, que é obtido pela medida radiométrica em duas imagens obtidas em temperaturas diferentes, de uma mesma superfície. A técnica computacional utilizada para esse cálculo corrige as temperaturas refletidas, bem como o efeito Narciso (reflexão interna do próprio detector), que integram a radiação total refletida pelo alvo [1].

A análise dos dados de imagem é feita em uma região retangular definida como Região de Interesse (ROI) de uma imagem que possui uma transição de cor, no caso do visível, que é ligeiramente inclinada em relação à matriz fotodetectora. A leitura dos valores dos pixels, linha a linha, permite uma superamostragem da Função de Espalhamento de Borda (*Edge Spread Function* - ESF). Após isso, obtém-se a PSF e, através da Transformada de Fourier, a MTF [3].

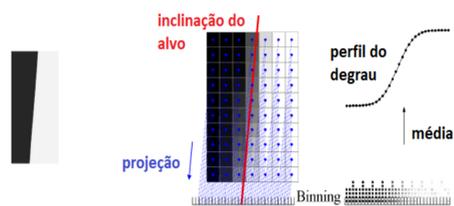


Figura 1 - Método *slanted edge*: degrau inclinado (esquerda), projeção dos valores dos pixels (centro) para a obtenção da ESF superamostrada (direita) [4].

II. MATERIAIS E METODOS

O substrato utilizado nos alvos foi a liga de alumínio 1200H14 por apresentar uma maior condutividade térmica que o alumínio puro e ser de uso aeronáutico. Foram utilizadas chapas de 250 x 250 x 2 mm³.

Os revestimentos aplicados sobre o substratos são de uso aeronáutico e seguem na Tabela 1.

Seguiu-se o procedimento descrito pelo manual do sensor utilizado, aquecendo cada alvo a 40 °C e, posteriormente, a 80 °C para a captura de 10 frames a 100 Hz e com tempo de integração de 900 μs em cada temperatura. Fez-se um frame com os valores médios pixel a pixel a cada temperatura e elaborou-se o mapa de emissividade. Adotou-se como referência o valor de emissividade de 0,05 a 0,1 do alumínio polido. Registra-se o valor medido neste trabalho de 0,07.

Com os valores de emissividade, selecionou-se 4 pares de revestimentos para compor as bordas a serem imageadas e, posteriormente, processadas pelo algoritmo SFRMAT4 na segunda fase experimental, a fim de verificar a correlação entre a diferença de emissividade e o contraste, que, no visível, faz-se necessário para a aplicação do método *slanted edge*.

TABELA 1. CORES UTILIZADAS NOS REVESTIMENTOS

Aproximação digital	Designativo do Fabricante	Cor
	Green	Verde
	Orange	Laranja
	Gray	Cinza Claro
	Silver Metallic	Cinza Escuro

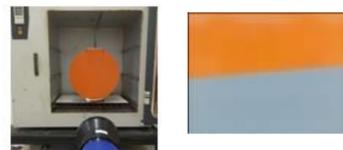


Figura 2 - Exemplo de alvos da primeira (esquerda) e da segunda (direita) fases experimentais.

III. RESULTADOS E CONCLUSÃO

TABELA 2 HISTOGRAMA DOS VALORES DA EMISSIVIDADE, VALOR DAS EMISSIVIDADES E SEUS DESVIOS PADRÃO

Material	Histograma	Emissividade	Desvio Padrão
Alumínio polido		0,07	0,01
Alumínio jateado		0,59	0,06
Verde		0,97	0,01
Laranja		0,85	0,02
Cinza claro		0,59	0,03
Cinza escuro		0,87	0,03

TABELA 3 ALVOS CONSTRUÍDOS E AS RESPECTIVAS EMISSIVIDADES

Borda	Cores	Emissividades	$\Delta\epsilon$
1		0,59 / 0,87	0,28
2		0,59 / 0,97	0,38
3		0,87 / 0,85	0,02
4		0,59 / 0,85	0,26



Figura 3 - Recorte da imagem média gerada a partir do imageamento no MWIR da Borda 1.

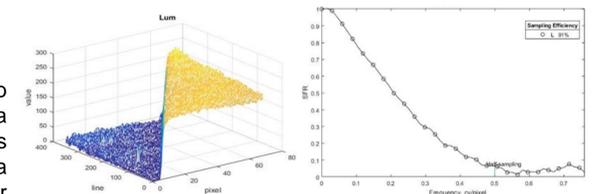


FIGURA 4 - Pesos de luminância da borda 1 (esquerda) e SFR como função da frequência espacial da borda 1.

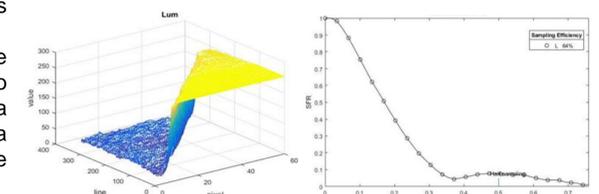


FIGURA 5 - Pesos de luminância da borda 2 (esquerda) e SFR como função da frequência espacial da borda 2.

A inclinação da transição encontrada no peso da luminância indica a qualidade dessa transição. Quanto mais brusca for a transição, melhor é a qualidade da avaliação. Deve ser lembrado que a referência da medição é a câmera utilizada e que a adequação dos alvos é o objetivo da avaliação.

Deve ser observada a eficiência de amostragem, que aparece no canto superior direito. Ela é a razão entre a frequência espacial quando o valor da SFR atinge 10% e a frequência de Nyquist [7].

TABELA 4 - VALORES DE EFICIÊNCIA DE AMOSTRAGEM PARA AS 4 BORDAS ANALISADAS.

Borda	$\Delta\epsilon$	Temp (°C)	Eficiência (%)	Borda	$\Delta\epsilon$	Temp (°C)	Eficiência (%)
1	0,28	25	91	3	0,02	25	72
		30	100			30	70
		35	100			35	68
		40	100			40	64
		45	100			45	62
		50	100			50	60
2	0,38	25	21	4	0,26	25	14
		30	35			30	21
		35	100			35	20
		40	96			40	48
		45	91			45	14
		50	96			50	26

Levando em conta os pesos de luminância e os dados de MTF obtidos, não foram encontradas dependências diretas entre diferença de emissividade e eficiência, como era esperado se fosse correlacionada com o contraste, quando o Método *Slanted Edge* é aplicado no visível.

REFERÊNCIAS

- ORLOVE, G. Two-dimensional spatial emissivity correction technique. ITC Technical Publication, 2011. Acessado em 20/06/2020 em http://support.flir.com/Answers/A756T/A756-T560460_A-en-US%Emissivity%20map%correction.pdf.
- SILVA, Hingrid Spirlandeli Nunes da Silva, et al. Slanted edge method for the MTF measurements in the infrared. *Infrared Physics and Technology* 118 (2021).
- SANTOS, Hélio Maciel Kyohara dos, *Utilização do método slanted edge para caracterização e avaliação da MTF de sistemas eletroópticos aeroembarcados*. 2017. 108 f.7. Dissertação de mestrado em Ciências e Tecnologias Especiais – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- MASAOKA, K. et al. Modified Slanted-Edge method and multidirectional modulation transfer function estimation. *Optics Express*, v. 22, n 5, p. 6040-6046, 2014.
- BURNS, P. D., et al. Application of ISO standard methods to optical design for image capture. In: IS&T International Symposium on Electronic Imaging, Image Quality and System Performance. 2020.
- BURNS, P. D.; WILLIAMS, D. Camera resolution and distortion: advanced Edge fitting. In: Proc. IS&T Electronic Imaging Symposium, Image Quality and Systems Performance, XV, 2018. Disponível em: <http://www.losburns.com/imaging/pbpubs/74BurnsWilliamsEI2018.pdf>. Acesso em: 14 set. 2020.
- BURNS, P. D.; WILLIAMS, D. Sampling efficiency in digital camera performance standards. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, v. 6808, 2008.