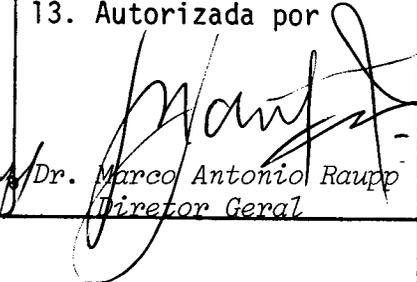
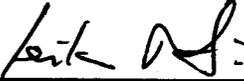


1. Publicação nº <i>INPE-4213-PRE/1094</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1987</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DPI</i>	Programa <i>PREPROI</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA EIFOV TM</i>			
7. C.D.U.: <i>621.376.5</i>			
8. Título  <i>DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO SENSOR TM DO SATÉLITE LANDSAT-5</i>		10. Páginas: <i>06</i>	
		11. Última página: <i>06</i>	
		12. Revisada por  <i>Gerald J. Francis Banon</i>	
9. Autoria  <i>Leila Maria Garcia Fonseca Nelson D. A. Mascarenhas</i>		13. Autorizada por  <i>Dr. Marco Antonio Raupp Diretor Geral</i>	
Assinatura responsável 			
14. Resumo/Notas  <i>Um modelo teórico do sensor TM do satélite LANDSAT-5 é apresentado. O modelo é construído para cada componente em separado (ótica, detetor, eletrônica). Os efeitos do processo de amostragem [2] são também incluídos.</i>			
15. Observações <i>Trabalho submetido para apresentação no X Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, que se realizará de 21 a 25 de setembro de 1987, Gramado, RS.</i>			

DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA  
DO SENSOR TM DO SATÉLITE LANDSAT-5

Leila M. G. Fonseca  
Nelson D. A. Mascarenhas

Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201 - São José dos Campos - SP

1 - INTRODUÇÃO

O satélite de recursos naturais Landsat-5 possui um imageador a bordo denominado Thematic Mapper (TM). Ele consiste em sensores que apresentam respostas espectrais na faixa do visível (bandas 1-4), infravermelho próximo (bandas 5 e 7) e infravermelho termal (banda 6). Um problema importante que se coloca é a caracterização da resolução espacial de tal sensor. Este é o primeiro passo para se efetuar, por exemplo, um processo de restauração de imagens, visando obter uma imagem de melhor resolução.

Admitindo que o sensor em estudo possa ser descrito como um sistema linear, sua resposta espacial é completamente caracterizada pela resposta impulsiva ou, em termos óticos pela Função de Espalhamento Pontual (FEP). Uma representação alternativa para um sistema linear e invariante com o deslocamento é a Função de Transferência (FT), que é a transformada de Fourier da FEP. A FT de um sistema imageador é de fundamental importância na especificação e projeto do sistema, e na análise das imagens que ele produz.

Este trabalho apresenta um modelo matemático para o sensor do satélite Landsat, TM (Thematic Mapper). O modelo é construído para cada componente em separado (ótica, detetor e eletrônica) em termos da FT, onde cada modelo é parametrizado por valores obtidos através das especificações de projeto [1]. Para incluir os efeitos do processo de amostragem o resultado de Park et al. [2] é aplicado aqui. A contribuição principal deste trabalho é a aplicação do modelo desenvolvido por Markham [1] e Park et al. [2] para o sensor TM, e a conclusão de que os resultados teóricos obtidos estão de acordo com os resultados experimentais apresentados por outros pesquisadores. Uma análise mais detalhada

dos resultados é realizada no trabalho de Fonseca [3].

## 2 - MODELO DOS SISTEMAS IMAGEADORES

Os sistemas imageadores eletromecânicos podem ser representados, geralmente, por um diagrama de blocos (Figura 1), do seguinte tipo:

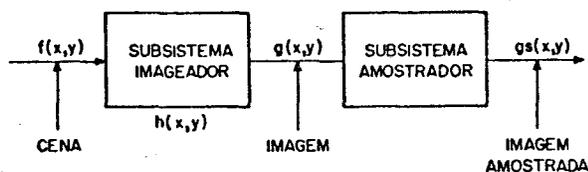


Fig. 1 - Modelo dos sistemas imageadores.

A distribuição de radiância da cena é  $f$  e a resposta impulsiva do subsistema de imageamento é  $h$ . O subsistema de imageamento é considerado ser linearmente invariante com o deslocamento; a imagem  $g$  é o resultado da convolução de  $h$  e  $f$ . Isto é:

$$g = f * h, \quad (1)$$

onde  $*$  representa a operação de convolução.

O subsistema de amostragem discretiza a saída analógica do subsistema imageador, e é considerado um sistema variante com o deslocamento, desde que um deslocamento da grade de amostragem em relação à cena muda os valores das amostras.

Park et al. [2] desenvolveram um método de análise da FT de sistemas imageadores amostrados que leva em consideração os efeitos combinados dos subsistemas de imageamento e amostragem. Considerando a propriedade de separabilidade nas direções  $x$  e  $y$ , a Função de Transferência de Modulação (FTM) do sistema completo, o módulo da FT, resultante da aplicação do método acima é dada por:

$$H_t(f) = \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \text{sinc}(f/f_s - m f_s) H(f - m f_s), \quad (2)$$

onde  $f$  é a frequência espacial,  $f_s$  é a frequência de amostragem, e  $H$  é a FTM do subsistema.

### 3 - MODELO DO SUBSISTEMA IMAGEADOR TM

O sistema TM é modelado como um sistema bidimensional li nearmente invariante com o deslocamento, caracterizado por uma FT,  $H(U,V)$ , e uma FEP,  $h(x,y)$ . Geralmente as duas direções  $x$  (ao longo da varredura do satélite) e  $y$  (ao longo da trajetória do satélite) são analisadas se paradamente. Desde que o tratamento matemático para as duas direções é o mesmo, o sistema será analisado somente na direção  $x$ .

O sensor pode ser caracterizado por três componentes: óti ca, detetor e eletrônica.

A resposta impulsiva do subsistema é descrita pela convo lução das respostas dos três componentes:

$$h = h_o * h_d * h_e, \quad (3)$$

onde  $h_o$ ,  $h_d$  e  $h_e$  são as respostas impulsivas do elemento óti co, detetor e componente eletrônico, respectivamente.

No domínio de Fourier a equação 3 é substituída por:

$$H = H_o \cdot H_d \cdot H_e, \quad (4)$$

onde  $H_o$ ,  $H_d$  e  $H_e$  são as FTs dos sistemas óti co, detetor e eletrônico, respectivamente.

A resposta impulsiva do sistema óti co pode ser aproximada por uma distribuição gaussiana, a saber:

$$h_o(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp(-x^2/2\sigma^2), \quad (5)$$

e a FT associada é:

$$H_o(f) = \exp[-2\pi^2\sigma^2 f^2]. \quad (6)$$

O detetor pode ser modelado por uma função retangular nas duas direções  $x$  e  $y$ , a saber:

$$H_d(x) = 1 \quad -D/2 \leq x \leq D/2, \quad (7)$$

0 fora,

e a FT associada é,

$$H_d(f) = \text{sinc}(Df), \quad (8)$$

onde  $D$  é o tamanho da projeção geométrica do detetor no solo, vista como um quadrado.

O filtro eletrônico é um filtro do tipo passa-baixas. O sensor TM usa um filtro do tipo [1]:

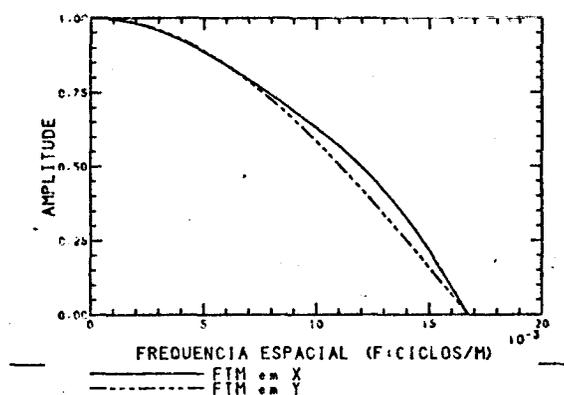


Fig. 2 - FTMs do sensor TM nas direções x e y.

TABELA 2

DIREÇÃO \ BANDAS	BANDAS		
	1-4	5,7	6
x	41,6	40,59	168,87
y	45,4	45,39	178,96

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MARKHAM, B.L. The Landsat sensors' spatial responses. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 23(6): 864-875, Nov., 1985.
- [2] PARK, S.K.; SCHOWENGERDT, R.; KACZYNSKI, M. Modulation-transfer-function analysis for sampled image systems. *Applied Optics*, 23(15): 2572-2582, Aug., 1984.
- [3] FONSECA, L.M.G. Determinação e avaliação das funções de transferência de modulação dos sistemas MSS e TM (Landsat-5), S.J.Campos, INPE, 1987. No prelo.
- [4] SLATER, P.N. *Remote Sensing, optics and optical systems*. London, Addison-wesley, 1980.
- [5] SCHOWENGERDT, R.A.; ARCHWAMETY, C.; WRIGLEY, R.C. Landsat Thematic Mapper image-derived MTF. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(9): 1395-1406, Sep., 1985.

- [6] MALARET, E.; BARTOLUCCI, L.A.; LOZANO, D.F.; ANUTA, P.E.; MCGILLEM, C.D. Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(9): 1407-1416, Sep., 1985.