

1. Publicação nº <i>INPE-4210-PRE/1091</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>PREPROJ</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>RESTAURAÇÃO DE IMAGENS FÍSICA SOLAR</i> <i>RADIOASTRONOMIA TÉCNICAS DE REGULARIZAÇÃO</i>			
7. C.D.U.: <i>621.376.5</i>			
8. Título <i>RESTAURAÇÃO DE RADIOIMAGENS SOLARES</i> <i>ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE REGULARIZAÇÃO</i>		10. Páginas: <i>06</i>	
		11. Última página: <i>06</i>	
9. Autoria <i>Nelson D. d'Ávila Mascarenhas</i> <i>Edson A. Ribeiro</i> <i>Joaquim E. R. Costa</i>		12. Revisada por <i>Flávio R. Dias Velasco</i>	
Assinatura responsável <i>Nelson Mascarenhas</i>		13. Autorizada por <i>Dr. Marco Antonio Raupp</i> <i>79 Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas <i>A restauração digital de radioimagens do sol é considerada neste artigo. A degradação é devida ao borramento causado pelo lobo principal da antena de recepção bem como pela presença do ruído. A solução é obtida por técnicas de regularização no domínio espacial.</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>			

RESTAURAÇÃO DE RADIOIMAGENS SOLARES ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE REGULARIZAÇÃO

Nelson D.A. Mascarenhas
Edson A. Ribeiro
Joaquim E.R. Costa

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

1 - INTRODUÇÃO

Em geral, um sistema de medidas é sujeito às limitações da resolução finita do sensor e pela inevitável presença de ruído. Contudo, conhecendo-se uma descrição do fenômeno limitador da resolução assim como as características estatísticas do ruído, pode-se, sob certas condições, recobrar o sinal original, processando-se o sinal degradado. Tal processo denomina-se restauração e será aqui abordado no contexto de imagens de radioastronomia solar.

2 - O MODELO DA DEGRADAÇÃO DE IMAGENS

Para que uma solução possa ser obtida, o problema de restauração de imagens deve ser colocado num modelo simplificado. A primeira simplificação consiste em admitir um modelo linear para a caracterização do espalhamento da radiação. A segunda simplificação adotada é de supor que o ruído é aditivo e independente do sinal. Deste modo, obtem-se uma equação do tipo:

$$g(x,y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\alpha,\beta) h(x,\alpha,y,\beta) d\alpha d\beta + r(x,y), \quad (1)$$

onde $f(\alpha,\beta)$ representa a imagem original, $h(x,\alpha,y,\beta)$ é a função de espalhamento, $r(x,y)$ é o ruído e $g(x,y)$ a imagem degradada observada. Tal modelo é portanto descrito por uma Equação Integral de Fredholm do 1º Tipo.

Se a degradação puder ser considerada invariante no espaço, $h(x,\alpha,y,\beta)$ assume a forma de $h(x-\alpha, y-\beta)$ e a equação (1) representa uma convolução com a adição de ruído.

O problema de restauração consiste em estimar a imagem original $f(\alpha,\beta)$ a partir da observação de $g(x,y)$, do conhecimento da função de espalhamento $h(x,\alpha,y,\beta)$ e da estatística do ruído $r(x,y)$, assim como eventualmente algum conhecimento a priori sobre a imagem original $f(\alpha,\beta)$.

3 - A RESTAURAÇÃO DE RADIOIMAGENS SOLARES

Ao apontar uma antena radioastronômica para uma determinada posição (x,y) em uma radiofonte extensa em comparação ao feixe da antena, como o sol, é obtida uma tensão que corresponde a uma certa temperatura equivalente de ruído da antena $T_A(x,y)$. Tal parâmetro observacional é obtido a partir da convolução da distribuição espacial original da radioemissão caracterizada pela função temperatura de brilho $T_B(\alpha,\beta)$ com o diagrama de radiação da antena $P(x,y)$ [1], ou seja:

$$T_A(x,y) = \frac{A}{\lambda^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} P(x-\alpha, y-\beta) T_B(\alpha,\beta) d\alpha d\beta, \quad (2)$$

onde λ é o comprimento de onda considerado e A é a eficiência de abertura da antena.

As definições básicas de T_A , T_B , P e A podem ser encontradas em [2] e [3]. Deve-se notar neste ponto que, adicionando-se um termo $r(x,y)$ devido à presença de ruído no receptor do radiotelescópio, obtêm-se uma identificação entre as equações (1) e (2).

Em decorrência da convolução da distribuição espacial original da radioemissão da fonte com o diagrama de radiação da antena, a radioimagem obtida apresenta-se degradada ou "alisada".

4 - TÉCNICA DE REGULARIZAÇÃO

Basicamente, o problema de deconvolução é um problema mal condicionado, no sentido de que pequenas perturbações na imagem degradada (provocadas pelo ruído) podem levar a grandes variações na imagem original estimada. As técnicas de suavização ou regularização [4], [5], [6] têm sido utilizadas para superar o problema de mau condicionamento associado à restauração de imagens. Em essência, tais métodos procuram evitar as grandes oscilações na restauração minizando uma expressão quadrática do tipo $\|C\hat{f}\|^2$ sujeita a uma restrição de igualdade na norma vetor residual, dada por $\|g - H\hat{f}\|^2 = e^2$. Supõe-se que a equação (1) tenha sido discretizada, obtendo-se vetores que representam a imagem original (f), a degradada (g) e a restaurada (\hat{f}), bem como o ruído, através de uma notação lexicográfica das matrizes resultantes da discretização da equação integral. A matriz H resulta da discretização da função de espalhamento.

A imagem original é amostrada numa grade de 19 x 21 pontos (Figura 1). Considerando que a função de espalhamento foi truncada em 3 pontos nas direções horizontal e vertical, obtêm-se uma imagem restaurada de 17 x 19 pontos.

Quando o fator γ cresce do valor nulo até ∞ obtêm-se inicialmente, para $\gamma=0$, a solução de mínimos quadrados que exhibe grandes oscilações devido à característica de mau condicionamento do problema (ver Figura 2). Para γ muito alto a solução se aproxima de uma imagem com todas as componentes nulas. Trata-se essencialmente de uma troca entre vies e polarização. A polarização é nula para a solução de mínimos quadrados mas a variância é alta devido ao mau condicionamento. Quando $\gamma \rightarrow \infty$, a polarização é desconhecida, sendo igual à imagem original e a variância é nula. A Figura 3 ilustra o caso de uma solução bastante suavizada, para o valor de $\gamma = 10^3$.

A solução de compromisso obtida pelo algoritmo de regularização está ilustrada na Figura 4, para o valor de $\gamma = 0,3$. Uma possível escolha para o valor ótimo de γ , proposta por Hunt [8], consiste em selecionar aquele valor que implica numa igualdade da soma das variâncias do ruído nos "pixels" da imagem degradada com a norma ao quadrado do vetor de resíduos. Tal critério não foi utilizado na escolha de γ ilustrada na Figura 4, devido às restrições que o modelo simplificado de ruído aditivo e independente do sinal possui. A escolha do parâmetro γ foi empírica, baseada em considerações sobre o grau de melhoria na resolução que se pode esperar num processo de restauração. Resultados mais conclusivos poderão eventualmente ser obtidos pela comparação das restaurações da radioimagem com imagens óticas do sol tiradas na mesma data.

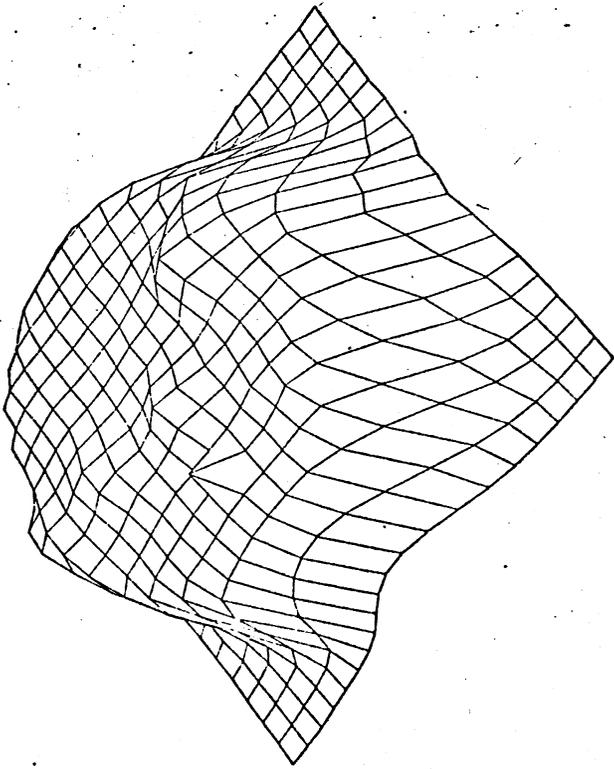


Fig. 1 - Imagem original do Sol

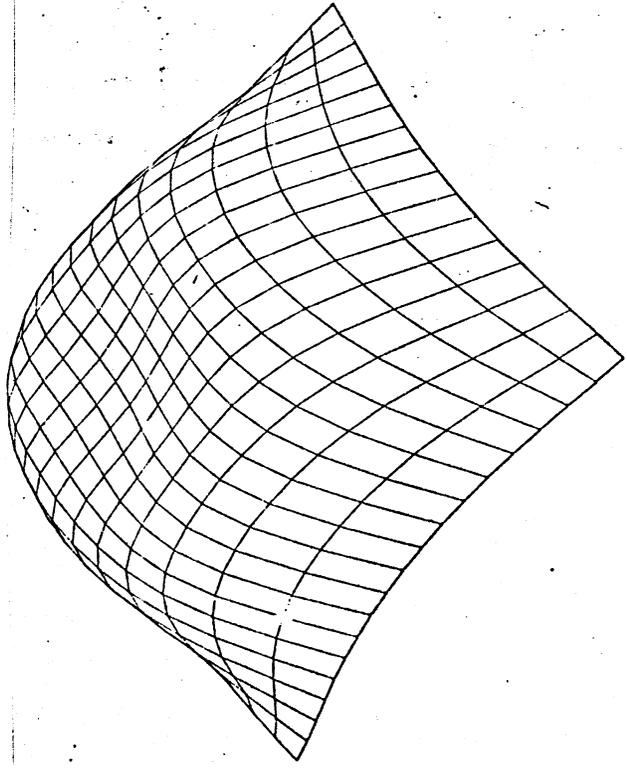


Fig. 3 - Imagem restaurada, $\gamma = 10^3$

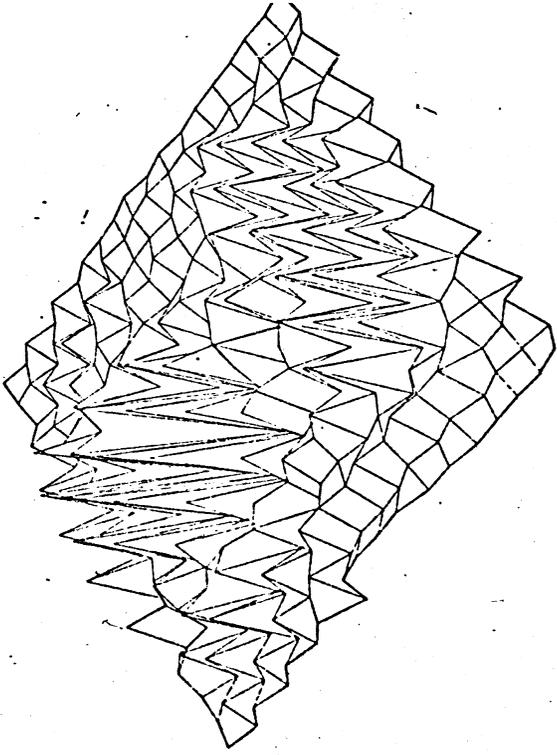


Fig. 2 - Imagem restaurada, $\gamma = 0$

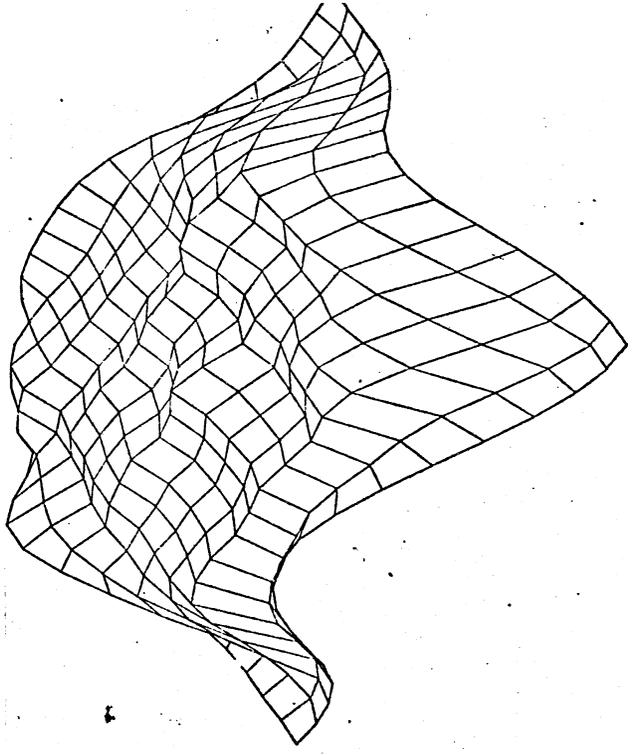


Fig. 4 - Imagem restaurada, $\gamma = 0,3$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRACEWELL, R.N. "Two-Dimensional Aerial Smoothing in Radio Astronomy". Australian Journal of Physics, 9: 297-314, Jan., 1956.
- [2] KRAUS, J.D. *Radio-Astronomy*, Mc GrawHill, New York, NY, 1966.
- [3] MARTON, L. *Methods of Experimental Physics*, Academic Press, London, 1976.
- [4] PHILIPS, D.L. "A Technique for the Numerical Solution of Certain Integral Equations of the First Kind", J. Assoc. Comput. Mach., 9: 84-97, 1964.
- [5] TWOMEY, S. "On the Numerical Solution of Fredholm Integral Equations of the First Kind by the Inversion of the Linear System Produced by Quadrature". J. Assoc. Comput. Mach., 10: 97-101, 1963.
- [6] TICHONOV, A.N. "Regularization of Incorrectly Posed Problems", Soviet Math. Dokl., 4: 1624-1627, 1963.
- [7] ANDREWS, H.C.; HUNT, B.R. *Digital Image Restoration*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1977.
- [8] HUNT, B.R. "The Application of Constrained Least Squares Estimation to Image Restoration by Digital Computer", IEEE Trans. on Computers, C-22: 805-812, September, 1973.