

1. Publicação nº <i>INPE-2281-PRE/059</i>	2. Versão	3. Data <i>Nov., 1981</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSE</i>	Programa <i>DIN</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>TRANSFERÊNCIA RADIATIVA</i> <i>IMAGENS DE SATÉLITE</i> <i>CORREÇÃO ATMOSFÉRICA</i>			
7. C.D.U.: <i>621.376.5:551.507.362.2</i>			
8. Título <i>CORREÇÃO DE EFEITOS ATMOSFÉRICOS EM</i> <i>IMAGENS DE SATÉLITE</i>		10. Páginas: <i>11</i>	
		11. Última página: <i>10</i>	
9. Autoria <i>Luiz Alberto Vieira Dias</i> <i>Antonio Eduardo Costa Pereira</i> <i>Gilberto Câmara Neto</i> <i>Juan José Verdesio Bentancourt</i>		12. Revisada por <i>Nelson Mascarenhas</i> <i>Nelson D.A. Mascarenhas</i>	
Assinatura responsável <i>L. A. V. D.</i>		13. Autorizada por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
14. Resumo/Notas <p><i>A variação temporal da atmosfera terrestre ocasiona problemas na análise de imagens de satélite. A radiancia intrínseca do alvo pode ser substancialmente diferente da radiancia medida pelo satélite. Para solucionar o problema, vários métodos são propostos na literatura, baseados principalmente em duas abordagens: (i) estatística; e (ii) na solução aproximada da Equação da Transferência Radiativa. Este trabalho apresenta um algoritmo, desenvolvido no INPE, para minimizar o efeito atmosférico. Usa-se a relação $L = L_I T + L_p$, onde L, L_I e L_p são, respectivamente: a radiancia medida pelo satélite, a intrínseca do alvo e a de trajetória. T é a transmitância atmosférica. No método proposto, a imagem é transformada para condições padrão, e T e L_p são tabeladas a priori. Isto faz com que o algoritmo seja bastante veloz e de fácil uso.</i></p>			
15. Observações <i>Apresentado no 4º Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 8-11 de setembro de 1981, Rio de Janeiro; submetido para publicação na Revista da Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.</i>			

CORREÇÃO DE EFEITOS ATMOSFÉRICOS

EM IMAGENS DE SATÉLITE

Luiz Alberto Vieira Dias
Antonio Eduardo Costa Pereira
Gilberto Câmara Neto
Juan José Verdesio Bentancourt

Instituto de Pesquisas Espaciais
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos, SP

RESUMO

A variação temporal da atmosfera terrestre ocasiona problemas na análise de imagens de satélite. A radiância intrínseca do alvo pode ser substancialmente diferente da radiância medida pelo satélite. Para solucionar o problema, vários métodos são propostos na literatura, baseados principalmente em duas abordagens: (i) estatística; e (ii) na solução aproximada da Equação da Transferência Radiativa. Este trabalho apresenta um algoritmo, desenvolvido no INPE, para minimizar o efeito atmosférico. Usa-se a relação $L = L_I T + L_p$, onde L , L_I e L_p são, respectivamente: a radiância medida pelo satélite, a intrínseca do alvo e a de trajetória. T é a transmitância atmosférica. No método proposto, a imagem é transformada para condições padrão, e T e L_p são tabeladas a priori. Isto faz com que o algoritmo seja bastante veloz e de fácil uso.

ABSTRACT

Temporal variations of Earth's atmosphere cause problems in satellite image analysis. The intrinsic target radiance may differ substantially from the satellite measured radiance. In order to solve this problem, several methods have

been proposed in the literature, based mainly on two approaches: (i) statistical; and (ii) the approximate solution of the Radiative Transfer Equation. This paper presents an algorithm, developed at INPE, to minimize the atmospheric effect. The equation $L = L_1 \cdot T + L_p$ is used, where L , L_1 , and L_p are, respectively, the radiances: as measured by the satellite, intrinsic of the target, and that of the path; T is the atmospheric transmittance. In the proposed method, the image is transformed to one for standard conditions, and T and L_p are calculated a priori on tables. This makes the algorithm very fast and user friendly.

1. INTRODUÇÃO

A presença da atmosfera terrestre é causa de vários problemas na fotointerpretação, no reconhecimento e na classificação de alvos em sensoriamento remoto. A radiância aparente dos atributos terrestres - medida por um satélite - difere da radiância intrínseca da superfície, devido ao espalhamento e à absorção causadas pelos gases e pelos particulados presentes na atmosfera. O tom azulado e a falta de definição na visada de montanhas distantes, variável de dia para dia, torna claro ao observador humano tais efeitos. Os sensores a bordo de satélites recebem, em um elemento de imagem, informações provenientes do alvo, atenuadas pela atmosfera, e também informações originadas em pontos distintos, devido ao espalhamento atmosférico.

Torna-se evidente que, para a análise correta de imagens de satélite, é muito importante ter um procedimento para a correção de tais efeitos, especialmente em imagens obtidas em datas diferentes, como nas aplicações de previsão de safras.

Este tipo de trabalho vem sendo desenvolvido no INPE há algum tempo (Bentancourt, 1981; Morimoto, 1980; Câmara Neto

et alii, 1981, Dias et et alii, 1981); o algoritmo ainda está em fase de desenvolvimento, tendo tido obtidos resultados preliminares.

2. EFEITO DA ATMOSFERA EM IMAGENS DE SATÉLITE

A presença da atmosfera afeta a radiação que chega ao sensor de quatro maneiras: (a) modificando a irradiação solar que incide sobre o alvo; (b) atenuando o sinal que chega ao satélite, proveniente do alvo; (c) espalhando a radiação não proveniente do alvo, no campo de visada do sensor do satélite; e (d) misturando assinaturas de alvos distintos num mesmo elemento da imagem resultante.

A equação que fornece a relação entre a radiância total medida pelo satélite, a uma altitude (h), e a radiância intrínseca L_I do alvo na superfície, é usualmente dada por:

$$L(h) = L_I \cdot T(h) + L_p(h), \quad (1)$$

onde $T(h)$ é a transmitância da atmosfera entre o alvo e o sensor, e $L_p(h)$, a radiância de trajetória gerada pela presença da atmosfera, entre o alvo e o sensor.

Quando se supõe condições lambertianas (refletor perfeitamente difuso), a radiância intrínseca L_i é relacionada com o albedo do alvo e com a irradiância na superfície, E_H , por:

$$L_i = \frac{\rho E_H}{\pi} \quad (2)$$

A irradiância solar incidente no alvo, E_H , por sua vez é o resultado de:

$$E_H(h) = E_{Hs} \cdot T(h) + E_{HDIF}(h), \quad (3)$$

onde E_{Hs} é a constante solar, ou seja, a irradiância solar no topo da atmosfera, de valor bem conhecido; $E_{HDIF}(h)$ é a irradiância difusa da atmosfera, numa profundidade h ; e $T(h)$ é a transmitância

cia atmosférica para a profundidade h . Os valores de $E_{HS}, T(h)$ e $E_{HDIF}(h)$ são razoavelmente estimados. Na verdade, há várias medidas diretas, estatisticamente significativas de E_H .

Nesta abordagem simplificada, o problema se restringe a calcular $T(h)$ e $L_p(h)$, o que pode ser feito pela teoria da Transferência Radiativa, desenvolvida por Chandrasekar (1950).

A equação de transferência radiativa é escrita como:

$$\mu \frac{dL_D(\tau, \mu, \phi)}{d\tau} = L_D(\tau, \mu, \phi) - J(\tau, \mu, \phi), \quad (4)$$

onde τ é a profundidade ótica da atmosfera, L_D a radiância difusa, J a função de fonte; $\mu = \cos \theta$ é o ângulo zenital de direção de radiação e ϕ é o ângulo azimutal de direção de radiação.

A função de fonte J (Turner and Spencer, 1972) é dada por

$$J(\tau, \mu, \phi) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^{+1} p(\mu, \phi, \mu', \phi') L_D(\tau, \mu', \phi') d\mu' d\phi' - \frac{E_S(\tau)}{4\pi} p(\mu, \phi, -\mu_0, \phi_0 + \pi), \quad (5)$$

onde μ' e ϕ' são as direções da radiação incidente, μ e ϕ , as direções da radiação espalhada; μ_0 e ϕ_0 , parâmetros angulares que descrevem a posição do sol; $E_S(\tau)$, irradiância solar direta numa área perpendicular ao fluxo solar na profundidade ótica τ ; e $p(\mu, \phi, -\mu_0, \phi_0 + \pi)$ é a função fase de espalhamento.

A função fase de espalhamento simples, $p(\tau, \mu, \phi, \mu', \phi')$, representa a fração da radiação espalhada, da direção $d\Omega' = d\mu' d\phi'$, na direção $d\Omega = d\mu d\phi$. No caso de espalhamento Rayleigh, $p(\dots)$ toma a forma de um dipolo; porém, no caso de espalhamento por aerossóis, 95% da energia é espalhada para o hemisfério dianteiro (Turner and Spencer, 1972). Dependendo da quantidade e quali

dade de aerossóis presente na atmosfera, tem-se uma função diferente.

A profundidade ótica total, τ , pode ser considerada, aproximadamente, como a soma de profundidade ótica de Rayleigh (τ_M) com a profundidade ótica de aerossóis (τ_A):

$$\tau = \tau_M + \tau_A \quad (6)$$

onde a irradiância solar incidente na superfície é denotada por E_H e a reflectância difusa efetiva do material, por ρ .

3. PROCEDIMENTO DE CORREÇÃO UTILIZADO

Para o procedimento de correção, propõem-se, a seguir, duas possibilidades; a escolha entre elas dependerá do conhecimento detalhado sobre as condições da atmosfera, na hora em que o satélite adquiriu a cena, seguindo a linha de Ahern et alii (1979).

a) Transformação das condições de iluminação

As radiâncias da cena são transformadas em valores que seriam observados sob diferentes condições de iluminação. Esta transformação é do tipo:

$$L_n = \frac{E_{H_n}}{E_H} (L - L_p) + L_{p_n} \quad (7)$$

onde:

L = radiância total adquirida pelo sensor;

L_n = radiância sob novas condições de iluminação;

E_H = irradiância total descendente do alvo;

E_{H_n} = irradiância total transformada;

L_p = radiância de trajetória incidindo no sensor;

L_{p_n} = radiância de trajetória sob novas condições.

b) Transformação de mudança das radiâncias

Se se dispõe de dados suficientes sobre a atmosfera, corrige-se a cena para outra que seria obtida sob condições de iluminação e espalhamento atmosférico padrão. A equação para tal correção será:

$$L_s = \frac{E_{H_s} T_s}{E_H T} (L - L_p) + L_{p_s}, \quad (8)$$

onde o subscrito s refere-se às condições padrão, o símbolo T denota a transmitância atmosférica, e os outros símbolos têm o mesmo significado que os da Equação 5.

O procedimento acima exposto permite lidar diretamente com níveis de cinza, quando se trabalha com um Analisador Multiespectral do tipo Image-100; isso não seria possível se a cena fosse transformada em unidades de reflectância. Para a aquisição de parâmetros, cada um dos fatores será considerado em separado.

- Irradiância descendente total

Pode-se pensar na irradiância descendente total, E_H , como consistindo em uma componente direta e em uma componente difusa, devido ao espalhamento causado pela atmosfera; ela é função da distância Terra-Sol, do ângulo zenital solar, e da transmitância atmosférica.

- Transmitância atmosférica

Para o cálculo da transmitância atmosférica, sugere-se o uso do pacote LOWTRAN 4, dadas as dificuldades de obtenção de dados de verdade terrestre. O pacote LOWTRAN 4 (Selby et alii, 1978) aceita como entrada dados de radiossondagem, ou permite a operação com um modelo padrão de atmosfera (tropical, "U.S. Standard" e outros). As dificuldades inerentes a sua utilização são causadas por três fatores:

- o modelo "tropical" do LOWTRAN 4 não é adequado à realidade brasileira;
- apenas algumas cidades no Brasil possuem dados de radiosondagem;
- pouco se conhece acerca das características da atmosfera no Brasil. Note-se que vários parâmetros utilizados no LOWTRAN 4 são resultados de grande quantidade de medidas feitas no Hemisfério Norte, com pequena parcela no Trópico e no Hemisfério Sul; este fato pode eventualmente acarretar erros nas medidas de transmitância. Para equacionar estas deficiências, propõe-se a seguir uma metodologia de teste para o algoritmo.

- Radiância de trajetória

No caso de radiância de trajetória, o objetivo é prever sua magnitude, empregando-se um modelo de transferência radiativa que requer, como entrada, a profundidade ótica de aerossol, o ângulo zenital solar e o albedo médio do terreno. Utilizando o método de ordenadas discretas para a solução da equação de transferência radiativa, O'Neill et alii (1978) computaram um conjunto de quatro tabelas. Tais tabelas fornecem a radiância de trajetória em função dos parâmetros acima mencionados, radiância esta normalizada com relação à irradiância solar extraterrestre. (Câmara et alii 1981).

A função de fase de espalhamento utilizada por O'Neill et alii (1978) foi a função HAZE-L Continental, proposta por Deirmendjian (1969). A adequação dessa função aos propósitos de um Sistema de Correção Atmosférica no Brasil é questão ainda em aberto.

4. CONCLUSÕES

O programa desenvolvido está em fase de teste para homologação e reduz substancialmente o tempo de correção atmosférica para imagens LANDSAT. Entretanto, muito trabalho ainda resta a ser feito.

Dentre os principais problemas ainda em aberto, pode-se citar: (a) a função de espalhamento utilizada por O'Neill et alii (1978) foi a função HAZE-L Continental, proposta por Deirmendjian (1969), que é baseada em dados do Hemisfério Norte e pode não ser adequada ao Brasil; (b) os dados de ionossonda não existem para todas as imagens, o que força o uso de modelos atmosféricos que, para o caso do Brasil, ainda deixam algo a desejar; (c) a distribuição de aerossóis, que é crucial para os cálculos, não é bem conhecida no Brasil; e (d) a falta de dados de verdade terrestre em quantidade suficiente para confirmar os resultados em uma grande variedade de condições.

Para o uso regular do algoritmo, é preciso coletar os dados existentes sobre a composição química, a densidade por altura e a distribuição por tamanho das partículas em suspensão na atmosfera do Brasil. Propõe-se, inicialmente, determinar quatro modelos de aerossóis para o Brasil, representativos de regiões geográficas bem determinadas: (a) urbano, baseado em dados de radiossondagem da cidade de São Paulo; (b) continental, com dados de Brasília; (c) marítimo, com dados de Natal; e (d) amazônico, usando radiossondas de Manaus. Posteriormente, pretende-se refinar os modelos, para as estações do ano (verão e inverno, inicialmente).

Para exemplo dos resultados já obtidos, a Figura 1 apresenta uma composição colorida de imagem do satélite LANDSAT. Ao canal 4 (0.5-0.6 μ m) foi associada a cor azul, ao canal 5 (0.6-0.7 μ m), o verde e ao canal 7 (0.8-1.1 μ m), o vermelho.

Dentro do cursor, a imagem está corrigida; fora, está em sua forma original. A imagem é da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, obtida em 16/10/75.

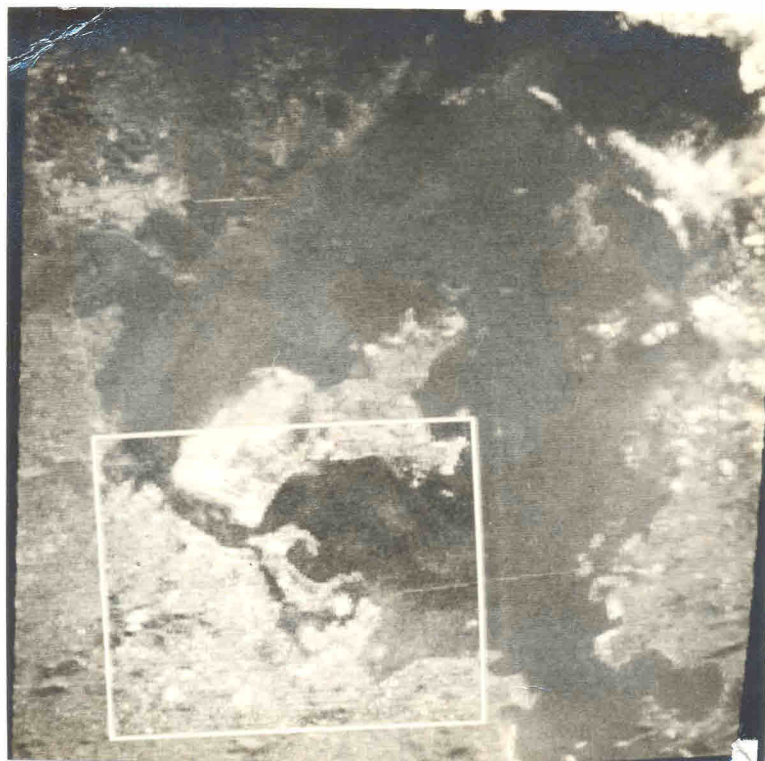


Fig. 1 - Imagem da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, após a aplicação do algoritmo de correção atmosférica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHERN, F.; TEILLET, P.; GOODENOUGH, D. Transformation of atmospheric and solar illumination conditions on the CCRS image analysis system. In: Machine Processing of Remotely sensed data, 5., West Lafayette, 1979. Proceedings. West Lafayette, Purdue University, 1979. p. 34-54.
- BENTANCOURT, J.J.V. Processamento de dados multiespectrais obtidos por plataformas orbitais da série LANDSAT para estudos de qualidade da água na baía de Guanabara. Dissertação de Mestrado em Sensores Remotos e Aplicações. São José dos Campos, INPE. No prelo, 1981.

- CÂMARA NETO, G.; DIAS, L.A.V.; MASCARENHAS, N.D.A.; SOUZA, R.C. M.; PEREIRA, A.E.C. Comparação de diversos métodos para correção de efeito atmosférico em imagens LANDSAT e SKYLAB. São José dos Campos, INPE. no prelo. Apresentado na 33a. Reunião Anual da SBPC, Salvador, BA, julho, 1981.
- CHANDRASEKHAR, S. Radiative transfer. New York, Dover, 1950.
- DIAS, L.A.V.; PEREIRA, A.E.C.; CÂMARA NETO, G. Algoritmo simplificado para cálculo de transferência radiativa em imagens de satélite. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2169-RPE/385). Apresentado na 33a. Reunião Anual da SBPC, Salvador, BA, julho, 1981.
- DIERMENDJIAN, D. Electromagnetic scattering on spherical polydispersions. New York, Elsevier, 1969.
- MORIMOTO, T. Estudo de efeitos atmosféricos sobre as condições percebidas pelos sensores a bordo de plataformas orbitais (ERTS-LANDSAT). Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1689-TDL/021)
- O'NEILL, N.; MILLER, J.R.; AHERN, F.J. Radiative transfer calculation for remote sensing applications. In: Canadian Symposium on Remote Sensing, 5., Victoria, Canada, 1978. Proceedings. Ottawa, Canadian Remote Sensing Society, 1978, p. 572-578.
- SELBY, J.E.A.; KNEIZYS, F.X.; CHETWIND JR.; J.H.; MCCLATCHEY, R. A. Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOWTRAN 4. Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, MS, 1978. (AFGL-TR-78-0053)
- TURNER, R.; SPENCER, M. Atmospheric model for connection of spacecraft data. In: International Symposium on remote sensing of environment, 8. Ann Arbor, MI, 1972. Proceedings Ann Arbor, MI, Erim, 1972, p. 845-947.