

VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota

Sexta Reunion Nacional
SELPER-Mexico

Latinoamérica Evaluada desde el Espacio
Puerto Vallarta, México

Memorias

Noviembre, 1995

CORREÇÃO ATMOSFÉRICA DE DADOS LANDSAT ATRAVÉS DO MÉTODO DE SUBTRAÇÃO NA REGIÃO AMAZÔNICA

Sherry Chou Chen, Moacir Godoy Junior
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
C. P. 515, São Jose dos Campos, 12201-970 São Paulo, Brasil
Renato Herz
Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo
Praça Oceanográfico 191, 05508-900 São Paulo

RESUMO

A correção atmosférica é um dos pré-processamentos importantes na quantificação de dados de satélites multitemporais ou de multicena. Pesquisas realizadas nas últimas décadas revelam várias abordagens de correção atmosférica, e cada uma tem seus pré-requisitos para ser aplicada. Visto que a maioria dos dados digitais TM Landsat da região amazônica, disponíveis no INPE são unitemporais com bandas 3, 4 e 5, o método de subtração aperfeiçoado, sugerido por Chavez, parece ser o mais indicado para correção atmosférica dos dados desta região. Neste estudo, a aplicabilidade do método de Chavez foi avaliada usando várias imagens TM-Landsat da Amazônia. Os resultados demonstraram que as contribuições de aerossóis, estimadas a partir das bandas do TM-Landsat, não seguiram nenhum dos modelos de espalhamento relativo como sugerido por Chavez. De maneira geral, independentemente do modelo escolhido, a aplicação desta abordagem resultou em uma super-correção atmosférica nas bandas espectrais do TM-Landsat. Isto indica que a parametrização dos modelos de espalhamento atmosférico é muito simplificada para ser usada na correção atmosférica desta região.

1. INTRODUÇÃO

As reflectâncias de alvos da superfície terrestre registradas pelo sensores a bordo de satélites são influenciadas por interferências atmosféricas produzidas pelo espalhamento de moléculas e de partículas, por absorção de gases etc. Estes fatores modificam tanto a magnitude da resposta como as suas características espectrais, e seus efeitos variam substancialmente de acordo com o comprimento de onda da radiação incidente (Turner, et al., 1971; Slater, et al., 1983). Nos estudos quantitativos dos dados de satélite multitemporais ou de diferentes passagens, a grande dificuldade encontrada é a correção ou normalização de dados, levando em consideração não somente as diferenças de condições atmosféricas, mas também a de iluminação e/ou de desempenho de sensores.

Pesquisas sobre a correção atmosférica dos dados de satélite realizadas nas últimas décadas revelaram quatro linhas principais: (1) os modelos de transferência radiativa baseados em características óticas da atmosfera (p. ex., Dave, 1978; Kaufman e Fraser, 1983; Kaufman e Sendra, 1988; Kneizys et al., 1988; Richer, 1990; Tanré et al., 1990); (2) as medidas "in-situ" ou a conversão de radiância para reflectância (p. ex., Castle et al., 1984; Slater et al., 1986; Slater, 1987; Holm, 1989; Chavez, 1989); (3) a normalização de histograma de imagens/retificação de imagens ou método de regressão (p. ex., Crippen, 1987; Schott et al., 1988; Hall et al., 1991; Henebry et al., 1993); e (4) o método de subtração (Crane, 1971; Chavez, 1975).

Os modelos de transferência radiativa necessitam de dados auxiliares (ou seja, de conhecimentos sobre o perfil vertical do vapor d'água, aerossóis e da composição molecular da atmosfera etc.) que, muitas vezes, são difíceis de coletar, além de não serem disponíveis para análise de dados históricos de satélite. Por outro lado, a conversão de radiância para reflectância exige que as medidas radiométricas de campo sejam coletadas simultaneamente com a passagem de satélite, e que o trabalho seja finalizado em um curto período de tempo a fim de garantir a constância da geometria sol-alvo-sensor. Entretanto, vários pontos críticos, que podem causar problemas significativos na conversão, foram discutidos no estudo de Crippen (1987). O uso do método de regressão é limitado à análise de imagens multitemporais, onde o ajuste de histogramas é feito pela regressão de respostas espectrais dos alvos específicos, cujas reflectâncias são estáveis (p. ex., asfalto; concreto, água limpa e profunda de rio ou represa, afloramento rochoso, areia seca etc.). No método de subtração, alvos de tonalidades escuras (i.e. água limpa ou sombriamente gerado pela topografia) são utilizados para determinar o valor de correção para cada banda espectral. Estes valores de correção também podem ser determinados a partir dos histogramas, especialmente das bandas do visível, da imagem analisada. O raciocínio deste método é baseado na premissa de que há "pixels" escuros na imagem com a iluminação ou reflectância nula, cujos valores radiométricos são iguais à contribuição de componentes aditivos de atmosfera. Das quatro abordagens de correção atmosférica, as duas últimas são mais simples e práticas, porém sua limitação consiste na dependência da presença de alvos específicos nas imagens analisadas. Em geral, os modelos de transferência radiativa e as medidas "in situ" calculam a contribuição atmosférica nas respostas espectrais. Entretanto, a normalização de histograma, retificação de imagens e de subtração tentam eliminar a contribuição atmosférica através das informações fornecidas por alvos específicos presentes nas próprias imagens, sem que sua grandeza seja conhecida.

Considerando os pré-requisitos destas quatro linhas de correção atmosférica, o método de subtração parece ser o mais indicado para analisar as imagens digitais do banco de dados do LTID (Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais) da região amazônica. Isso porque a maioria das imagens é unitemporal, contendo somente as informações das bandas 3, 4 e 5. No entanto, o método de subtração (i.e. *abordagem convencional*) é bastante criticado, pelo fato de que os valores de correção de bandas espectrais são selecionados isoladamente. Como o espalhamento da radiação solar devido os efeitos Rayleigh e Mie é dependente do comprimento de onda (Ree, 1990), estes valores selecionados podem não estar de acordo com a realidade do espalhamento atmosférico. Para melhorar o método de subtração, Chavez (1988, 1989) desenvolveu uma *abordagem aperfeiçoada*, onde o usuário pode determinar os valores de correção para todas as bandas espectrais, de acordo com o nível de aerossóis da banda inicial e um modelo de espalhamento atmosférico pré-selecionado. Neste caso os valores de correção são correlacionados entre as bandas espectrais conforme o modelo escolhido.

A fundamentação teórica desta abordagem aperfeiçoada é baseada em dois modelos de espalhamento: o Rayleigh e o Mie (Curcio, 1961, Slater et al., 1983). No modelo Rayleigh, o espalhamento é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda (λ^{-4}), isto é, o espalhamento é muito maior no espectro de comprimento de ondas curtas. No modelo Mie, o espalhamento também é inversamente proporcional ao comprimento de onda, porém sua potência varia de 0 a -4, onde λ^0 representa espalhamento completo (ou cobertura total de nuvens). Na condição atmosférica moderada, a relação é mais próxima de λ^{-1} . Com base nestas informações, Chavez (1988) definiu diversos modelos de espalhamento sob diferentes condições atmosféricas (Tabela 1).

Após definir os modelos de espalhamento, Chavez calculou os fatores multiplicativos de todas as outras bandas espectrais usando o valor da correção da banda inicial como base (Tabela 2). Em outras palavras, os valores da correção atmosférica de todas as bandas podem ser estimados pela multiplicação do valor de correção estimado da banda 1 (banda inicial escolhida) com o fator multiplicativo correspondente de cada banda. As estimativas ainda podem ser mais bem ajustadas de acordo com os ganhos e "offsets" do sensor.

Para testar a aplicabilidade do método de Chavez na região Amazônia, as relações apresentadas na Tabela 2 devem ser investigadas usando imagens desta área.

2. PROCESSO DE AVALIAÇÃO

Os espalhamentos atmosféricos nas bandas do TM-Landsat das imagens da região amazônica foram avaliados de duas maneiras: (1) pelos alvos com tonalidades escuras (alvos escuros), e (2) pelo método de histogramas. Em ambos os testes, a banda espectral 1 do TM-Landsat 5 foi utilizada como a banda inicial.

(a) Alvos com Tonalidades Escuras

“As superfícies escuras nas imagens que podem ser usadas como alvos escuros no método da subtração para corrigir o nível de aerossóis são: sombreamentos topográficos ou de nuvens (baixa reflectância em todas as bandas espectrais), corpo d'água (baixa reflectância no comprimento de onda vermelho e infravermelho), vegetação densa (baixa reflectância no comprimento de onda azul e vermelho) ou a mistura de alguns destes fatores” (Gilbert et al., 1994, p. 2069). Como a região amazônica é relativamente plana, sem grandes variações topográficas, corpos d'água e sombras de nuvens foram usadas como alvos escuros para o teste.

Amostras de corpos d'água do rio Negro foram extraídas de CCTs do TM-Landsat relativas à órbita/ponto 231/62 da passagem de 08/08/91, enquanto as das sombras de nuvens foram extraídas da imagem órbita/ponto 224/63, obtida em 14/08/88. Os níveis de cinza das bandas espectrais destes alvos foram calculados pelos programas disponíveis no SITIM. Posteriormente, as contribuições dos níveis de cinza destas bandas em relação à banda inicial (banda 1) foram comparadas com os fatores multiplicativos da Tabela 2 para avaliar a aplicabilidade deste método de correção atmosférica.

(b) Método de Histograma

Cinco imagens inteiras/quadrantes da região amazônica (três obtidas em época seca junho a novembro e duas em época chuvosa) foram usadas neste teste. Através da observação dos valores inferiores do histograma de cada banda espectral, foi escolhido o nível de cinza onde houve uma mudança abrupta de frequências, como o valor da correção desta banda (vide p. ex., Tabela 4). Após a seleção dos valores para todas as bandas espectrais, as relações destes valores com o da banda 1 foram calculadas. Estas relações também foram comparadas com os fatores multiplicativos da Tabela 2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 mostra os níveis de cinza das sete amostras de água do rio Negro e das onze amostras de sombra de nuvens, extraídos das bandas espectrais de fitas magnéticas. Os níveis de aerossóis estimados a partir da água, na banda 2, e de sombra de nuvens, nas bandas 2 e 3, foram muito menores em comparação com os menores valores possíveis de espalhamento que ocorre na atmosfera muito clara. Para amostras de água, os níveis de aerossóis estimados em outras bandas, foram intermediários entre os fatores multiplicativos de condição atmosférica clara e muito clara. Por outro lado, os níveis de aerossóis estimados usando sombra de nuvens nas bandas 4, 5 e 7 não demonstraram semelhança com nenhum modelo de espalhamento relativo. Todavia, o nível de aerossol de cada banda espectral aproximou-se de um modelo diferente: os valores da banda 4 indicaram a condição atmosférica entre moderada e muita névoa; os da banda 5, entre moderada e clara; enquanto a banda 7, entre clara e muito clara. Esta divergência de condições atmosféricas escolhidas demonstrou que os níveis de aerossóis estimados com alvos escuros não seguiram nenhuma relação estipulada nos modelos de espalhamento atmosférico relativo, sugeridos por Chavez. A heterogeneidade dos valores de correção determinados nas amostras de sombra de nuvens indicou que este não foi um alvo escuro ideal para corrigir os efeitos atmosféricos de imagens digitais.

Os níveis de aerossóis selecionados a partir dos histogramas das 5 imagens do TM-Landsat estão apresentados na Tabela 5. Mas uma vez, os níveis de aerossóis estimados nas bandas 2 e 3 foram muito menores do que os menores valores encontrados na atmosfera muito clara. Enquanto a banda 4 apontou a condição atmosférica entre clara e muito clara, as bandas 5 e 7 indicaram atmosfera muito clara. Os níveis de aerossóis das imagens obtidas em época seca foram ligeiramente maiores. Isto era esperado devido à maior incidência de queima de biomassa, nesta época.

Convém salientar que, independentemente do método usado, as contribuições de aerossóis nas bandas do sensor TM em relação à banda inicial foram bastantes divergentes em comparação com as dependências estipuladas nos modelos da Tabela 2. Ou seja, as contribuições de aerossóis das bandas espectrais do TM-Landsat, em relação à banda inicial, não se encaixaram em nenhum dos modelos de espalhamento relativo, sugeridos por Chavez. Os resultados da análise destas 7 imagens demonstraram claramente que a parametrização dos modelos de espalhamento relativo foi muito simplificada para representar os efeitos de espalhamento atmosférico na região tropical. Portanto, o método de subtração não é adequado para a correção atmosférica de imagens na área amazônica.

Tabela 1 - Modelos de espalhamento atmosférico para diferentes condições atmosféricas

Condição Atmosférica	Modelo de Espalhamento
Muita clara	λ^{-4}
Clara	λ^{-2}
Moderada	λ^{-1}
Névoa	$\lambda^{-0,7}$
Muita Névoa	$\lambda^{-0,5}$

(Fonte: Chavez, 1988)

Tabela 2 - Fatores multiplicativos para estimar os níveis de aerossóis usando a banda 1 do TM-Landsat como a banda inicial

TM	λ^{-4}	λ^{-2}	λ^{-1}	$\lambda^{-0,7}$	$\lambda^{-0,5}$
	Muita Clara	Clara	Moderada	Névoa	Muita Névoa
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,563	0,750	0,866	0,905	0,930
3	0,292	0,540	0,735	0,807	0,957
4	0,117	0,342	0,584	0,687	0,765
5	0,008	0,086	0,294	0,424	0,542
7	0,002	0,048	0,219	0,345	0,468

(Fonte: parte da Tabela 2 de Chavez, 1988)

Tabela 3 - Níveis de cinza de alvos escuros obtidos do TM-Landsat 5

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Alvo Escuro						
Água (rio Negro)	77,82	29,24 0,3757 ^a	27,14 0,3488 ^a	20,93 0,2690 ^a	6,93 0,0891 ^a	0,76 0,0098 ^a
231/62FF, 08/08/91	76,98	29,37 0,3815	27,61 0,3587	19,43 0,2524	6,84 0,0889	0,74 0,0096
	77,18	29,04 0,3763	27,00 0,3498	19,51 0,2528	6,91 0,0895	0,73 0,0095
	77,19	29,60 0,3835	27,83 0,3603	20,84 0,2700	6,81 0,0882	0,67 0,0087
	76,49	29,26 0,3825	27,75 0,3628	20,43 0,2671	7,10 0,0928	0,74 0,0097
	76,60	28,83 0,3764	27,17 0,3547	20,47 0,2672	6,89 0,0899	0,78 0,0102
	76,64	28,92 0,3773	27,42 0,3578	19,88 0,2594	6,95 0,0907	0,76 0,0099
Sombra de nuvens**	58,83	19,53 0,3320	14,42 0,2451	23,06 0,3920	11,94 0,2030	1,88 0,0320
224/63FF, 14/08/88	57,08	18,83 0,3299	13,92 0,2439	25,69 0,4501	12,50 0,2190	1,38 0,0242
	57,67	19,50 0,3381	15,06 0,2611	20,75 0,3598	10,88 0,1887	1,44 0,0250
	57,19	18,78 0,3284	13,83 0,2418	30,31 0,5300	15,38 0,2689	2,31 0,0404
	57,89	18,89 0,3263	13,94 0,2408	30,44 0,5258	17,19 0,2969	2,06 0,0356
	58,72	19,97 0,3400	15,31 0,2607	20,12 0,5129	11,92 0,2030	1,72 0,0293
	55,28	18,17 0,3287	13,47 0,2413	29,75 0,5382	16,50 0,2985	2,69 0,0487
	58,69	19,06 0,3248	14,19 0,2418	22,25 0,3791	11,38 0,1939	1,44 0,0245
	57,83	19,70 0,3406	14,73 0,2547	22,00 0,3804	12,38 0,2141	1,75 0,0303
	57,44	18,94 0,3297	14,00 0,2437	21,25 0,3700	10,69 0,1861	1,50 0,0261
	57,75	18,94 0,3280	13,69 0,2371	26,81 0,4642	13,25 0,2294	1,69 0,0293

^a contribuição em relação à banda 1.

*amostras de 20x20 "pixels".

**amostras de 5x5 "pixels".

Tabela 4 - Relação dos valores de níveis de cinza mais baixos dos histogramas da cena analisada.

Imagem TM-Landsat 5, 231/68x, 30/07/88

Banda 1		Banda 2		Banda 3		Banda 4		Banda 5		Banda 7	
N.C.	f _i	N.	f _i	N.C.	f _i	N.C.	f _i	N.C.	f _i	N.C.	f _i
26	1	0	5	0	3	6	1	0	7	0*	353
28	1	12	2	4	1	7	3	1*	2	1	586
32	1	15	3	8	1	8*	20	2	32	2	2067
39	2	16*	29	9	1	9	104	3	72	3	3199
40	1	17	469	11	6	10	117	4	49	4	5001
44	1	18	3853	12*	13	11	106	5	68	5	28500
46	2	19	63035	13	310	12	113	6	45	6	140273
47*	27	20	365913	14	13046	13	60	7	90	7	662874
48	265	21	1276445	15	80060	14	110	8	106	8	1258704

N.C. = nível de cinza.

*valor de correção selecionado.

Tabela 5 - Valores de correção selecionados a partir de histogramas de diversas imagens do TM-Landsat 5.

Imagem TM-Landsat	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
231/68x 30/07/88	47	16 (0,3404)*	12 (0,2553)	8 (0,1702)	1 (0,0212)	0
231/68FF 07/07/91	44	14 (0,3182)	12 (0,2727)	11 (0,2500)	0	0
230/64b 01/08/91	54	20 (0,3704)	N.D.**	14 (0,2593)	0	0
221/69d 06/02/85	50	14 (0,2800)	10 (0,2000)	7 (0,1400)	0	0
002/66c 10/05/89	44	13 (0,2955)	9 (0,2045)	4 (0,0909)	0	0

*os valores entre parênteses são as contribuições de aerossóis em relação à banda 1.

**N.D. = dado indisponível, fita CCT com problema..

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caselles, V., López García, M.J., 1989, An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies, *Int. J. Remote Sensing*, 10(6):1127-1134.
- Castle, K.R., Holm, R.G., Kastner, C.J., Palmer, J.M., Slater, P.N., Dinguirard, M., Ezra, C.E., Jackson, R.D., Savage, R.K., 1984, In-flight absolute radiometric calibration of the Thematic Mapper, *Proc. IEEE Trans. Geosci. & Remote Sensing*, GE-22(3):251-255.
- Chavez, P.S. Jr., 1975, Atmospheric, solar and MTF correction for ERTS digital imagery, *Proc. Am. Society of Photogrammetry*, 69-74.
- Chavez, P.S., 1988, An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data, *Remote Sensing of Environment*, 24:459-479.
- Chavez, P.S. Jr., 1989, Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images, *Photogram. Eng. & Remote Sensing*, 55(9):1285-1294.

- Crane, R.B., 1971, Preprocessing techniques to reduce atmospheric and sensor viability in multispectral scanner data, Proc. 7th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 1345-1355.
- Crippen, R.E., 1987, The regression intersection method of adjusting image data for band ratioing, Int. J. of Remote Sensing, 8(2):137-155.
- Curcio, J.A., 1961, Evaluation of atmospheric aerosol particle size distribution from scattering measurement in the visible and infrared, J. Opt. Soc. Am., 51:548-551.
- Dave, J.V., 1978, Extensive datasets of the diffuse radiation in realistic atmospheric models with aerosols and common absorbing gases, Solar Energy, 21:361-369.
- Gilbert, M.A., Conese, C., Maselli, F., 1994, An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectances from TM images, Int. J. Remote Sensing, 15(10): 2065-2086.
- Hall, F.G., Strelbel, D.E., Nickeson, J.E., Goetz, S.J., 1991, Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. Remote Sensing of Environment. 35:11-27.
- Henebry, G.M., Su, H., 1993, Using landscape trajectories to assess the effects of radiometric rectification, Int. J. Remote Sensing, 14(12):2417-2423.
- Holm, L.G., Moran, M.S., Jackson, R.D., Slater, P.N., Yuan, B., Biggar, S.F., 1989, Surface reflectance factor retrieval from Thematic Mapper data, Remote Sensing of Environment, 27:47-57.
- Kaufman, Y.J., Fraser, R.S., 1983, Light extinction by aerosols during summer air pollution, J. of Applied Meteorology, 22:1694-1706.
- Kaufman, Y.J., 1988, Atmospheric effect on spectral signature- measurements and corrections, IEEE Trans. Geosci. & Remote Sensing, 26(4):441-449.
- Kaufman, Y.J., Sendra, C., 1988, Algorithm for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR satellite imagery, Int. J. Remote Sensing, 9(8):1357-1381.
- Kniezys, F.X., Shettle, E.P., Gallery, W.O., Chetwynd, J.H., Abreu, L.W., Selby, J.E.A., Clough, S.A., Fenn, R.W., 1988, Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOWTRAN-7, AFGL-TR-88-0177, Air Force Geophysics Lab, Hanscom AFB, MA.
- Rees, W.G., 1990, Physical Principles of Remote Sensing, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 247.
- Richer, R., 1990, A fast atmospheric correction algorithm applied to Landsat TM images. Int. J. of Remote Sensing, 11:159-166.
- Schott, J.R., Salvaggio, C., Volchor, W.K., 1988, Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features, Remote Sensing of Environment, 26:1-16.
- Slater, P.N., Doyle F.J., Fritz, N.L., Welch, R., 1983, Photographic systems for remote sensing, Manual of Remote Sensing, 2. ed., Am. Society of Photogrammetry, Vol. 1, Cap. 6, p.231-291.
- Slater, P.N., Biggar, S.F., Holm, R.J., Jackson, R.D., Mao, Y., Moran, M.S., Palmer, J.M., Yuan, B., 1986, Absolute radiometric calibration of the Thematic Mapper, SPIE, 6:2-8.
- Slater, P.N., 1987, Reflectance- and radiance-based methods for the in-flight absolute calibration of multispectral sensors, Remote Sensing of Environment, 22:11-37.
- Tanré, D., Deroo, C., Duhaut, P., Herman, M., Morcrette, J.J., 1990, Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5s code, Int. J. Remote Sensing, 2(4):659-668.
- Turner, R.E., Malita, W.A., Nalepa, R.F., 1971, Importance of atmospheric scattering in remote sensing, Proc. 7th International Symposium of Remote Sensing of Environment, p. 1651-1697.