



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5622-NTC/316

**CORREÇÃO ATMOSFÉRICA ATRAVÉS DO MÉTODO DE SUBTRAÇÃO -
APLICABILIDADE PARA ANALISAR IMAGENS DA REGIÃO AMAZÔNICA**

Sherry Chou Chen
Koacir Godoy Junior
Renato Herz

INPE
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
Abril de 1995

Publicado por:

Divisão de Ensino e Documentação - DED

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515

12227-010 - São José dos Campos - SP - Brasil

Telex: 123.3530 INPE BR

Fone: (0123) 41.8977 - Ramal 324

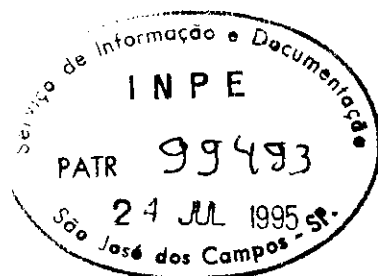
Fax: 0123-21-8743

- Solicita-se intercâmbio
- We ask for exchange
- Si sollecita intercambio
- On demande l'échange
- Mann bittet un Austausch
- Pidese canje
- Просим обмена
- 歡迎著作交換
- 出版物交換のお願い

Publicação Externa - É permitida sua reprodução para interessados.

INPE-5622-NTC/316

**CORREÇÃO ATMOSFÉRICA ATRAVÉS DO MÉTODO DE SUBTRAÇÃO -
APLICABILIDADE PARA ANALISAR IMAGENS DA REGIÃO AMAZÔNICA**



**Sherry Chou Chen
Moacir Godoy Junior
Renato Herz**

**INPE
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
Abril de 1995**

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-5622-NTC/316

**CORRELAÇÃO ATMOSFÉRICA ATRAVÉS DO MÉTODO DE SUBTRAÇÃO -
APLICABILIDADE PARA ANALISAR IMAGENS DA REGIÃO AMAZÔNICA**

**Sherry Chou Chen
Moacir Goody Junior
Renato Herz***

***Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo
Praça Oceanográfico, 191 - 05508-900 - São Paulo**

**INPE
São José dos Campos
Abril de 1995**

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Frank Ahern do CCRS, Canadá e Dr. Eduardo Jorge Brito Bastos da UFPB pelas suas sugestões.

ABSTRACT

Atmospheric correction is one of the pre-processing steps required for quantitative analysis of remotely sensed data, especially when these data were obtained under different viewing/atmospheric conditions or by different sensors. There are four principal approaches for atmospheric correction: (1) radiative transfer models, (2) "in situ" measurements, (3) histogram normalization/image rectification or regression methods, and (4) subtraction approaches. Radiative transfer models require concurrent satellite and atmospheric data; "in situ" measurements involve heavy field work while the regression approaches are limited for multitemporal analyses where specific targets are presented on imageries. Viewing on these limitations, it seems that the improved dark target subtraction method, suggested by Chavez, an alternative for atmospheric correction of the Amazon region. In this study, the feasibility of using Chavez's improved method was evaluated using different data sets of TM imagery of the study area. Results show that scattering models suggested by Chavez were not appropriate for atmospheric correction of this tropical region no matter whether the aerosol concentration was estimated using dark targets or image histograms. In general, application of this subtraction method over-corrected aerosols independent the scattering model selected.

RESUMO

A correção atmosférica é um dos pré-processamentos importantes na quantificação de dados de satélites; especialmente quando estes são obtidos com datas de passagens diferentes. Pesquisas realizadas nas últimas décadas revelam que existem 4 abordagens principais de correção atmosférica: (1) os modelos de transferência radiativa, (2) as medidas "in situ", (3) a normalização de histogramas/retificação de imagens ou método de regressão, e (4) o método de subtração. Os modelos de transferência radiativa necessitam de informações sobre as condições atmosféricas na ocasião da passagem de satélite, enquanto que as medidas "in situ" envolvem trabalho de campo. Por outro lado o método de regressão é limitado para analisar as imagens com presenças de alvos específicos nos dados multitemporais. Conseqüentemente, o método de subtração aperfeiçoado, sugerido por Chavez, parece ser uma alternativa de correção atmosférica para a região amazônica. Neste estudo, a aplicabilidade do método de Chavez foi avaliada, analisando várias imagens TM-Landsat da região. Os resultados demonstraram que os modelos de espalhamento relativo, usados por Chavez, não foram adequados para estimar as contribuições de aerossóis, tanto a partir de alvos com tonalidade escura como a partir dos histogramas de imagem. De maneira geral, independentemente do modelo de espalhamento escolhido, a aplicação desta abordagem resultou em uma super-correção atmosférica nas bandas espectrais do sensor TM-Landsat.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE TABELAS.....	xiii
1 <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 <u>PROCESSO DE AVALIAÇÃO</u>	3
3 <u>RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	4
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	10

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Modelos de espalhamento atmosférica para diferentes condições atmosféricas.....	6
2 - Fatores multiplicativos para estimar os níveis de aerossóis usando a banda 1 do TM-Landsat como a banda inicial.....	6
3 - Níveis de cinza de alvos escuros obtidos a partir do TM-Landsat 5.....	7
4 - Relação dos valores de nível de cinza mais baixos dos histogramas da cena analisada.....	8
5 - Valores de correção selecionados a partir de histogramas de diversas imagens do TM-Landsat 5.....	9

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 dos 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 (ex. Dave, 1978; Kaufman e Fraser, 1983; Kaufman e Sendra, 1988; Kneizys et al., 1988; Ceballos e Bastos, 1988; Richer, 1990; Tanré et al., 1990; Ribeiro, 1992), (2) as medidas "in situ" ou a conversão de radiância para reflectância (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 (ex. Crippen, 1987; Schott et al., 1988; Caselles e López Gracia, 1989; 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 (i.e. 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 o trabalho seja finalizado em um curto período de tempo a fim de garantir a constância da geometria sol-alvo-sensor. Vários pontos críticos, que podem causar problemas significativos na conversão, foram discutidos no estudo de Crippen (1987). O método de regressão é utilizado somente para análise de imagens multitemporais (da mesma cena) onde o ajuste de histogramas é feito através da regressão de respostas espectrais dos alvos específicos cujas reflectâncias são

estáveis (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. sombriamente gerado pela topografia ou água limpa) 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 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, estas últimas duas abordagens 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 é mais viável 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 modelo Rayleigh e o modelo aplicado aos aerossóis (Curcio, 1961, Slater et al., 1983). No modelo Rayleigh, o espalhamento é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda (λ^{-4}); isso 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} . Baseado-se 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, multiplicando o valor de correção estimado da banda 1 (banda inicial escolhida) com o fator multiplicativo correspondente de cada banda. As estimativas ainda podem ser melhor ajustados de acordo com os ganhos e "offsets" dos sensores.

No estudo de Chavez, foram analisadas um total de 25 imagens de TM-Landsat e foi elaborada uma tabela, com as orientações para definir a condição atmosférica ou o modelo de espalhamento mais adequado para a correção. Portanto, esta tabela foi gerada analisando os níveis de aerossóis e condições atmosféricas de imagens de uma região semi-árida norte americana. Para aplicar esta abordagem na região amazônica, devem ser realizadas pesquisas usando imagens TM-Landsat representativas, para conhecer as relações entre condições atmosféricas e os valores de aerossóis estimados em cada banda espectral do sensor TM Landsat 5. Somente após a realização desta pesquisa preliminar o modelo de espalhamento poderá ser melhor escolhido, e os fatores de normalização definidos com maior precisão, para analisar imagens da região amazônica.

2 PROCESSO DE AVALIAÇÃO

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

a) Teste de Alvos Escuros

"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 de 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 (Gilabert 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 (Rio Negro) foram extraídas da CCTs do TM-Landsat relativas a órbita/ponto 231/62 da passagem 08/08/91, enquanto as das sombras de nuvens foram extraídas da órbita/ponto 224/63, obtidas em 14/08/88. Os níveis de cinza das bandas espectrais destes alvos foram calculados através dos programas disponíveis no SITIM. Posteriormente, as contribuições dos níveis de cinza destas bandas em relação a banda inicial (banda 1) foram comparadas com os fatores multiplicativos de diferentes modelos de espalhamento, para verificar a aplicabilidade da técnica de Chavez.

b) O 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. Após a seleção dos valores para todas as bandas espectrais, as relações destes valores com o da banda 1 foram calculadas. Na mesma maneira, estas relações foram comparadas com os fatores multiplicativos de diferentes modelos de espalhamento para verificar a aplicabilidade da técnica de Chavez.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os níveis de cinza das sete amostras de água do Rio Negro, e onze amostras de sombra de nuvens, foram extraídos das bandas espectrais de fitas magnéticas e apresentados na Tabela 3. 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 comparando 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 a partir de sombra de nuvens nas bandas 4, 5 e 7, não demonstraram semelhança com nenhum modelo de espalhamento relativo. Todavia, o nível de aerossóis 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 indicaram a condição atmosférica entre moderada e clara, enquanto a banda 7 indicou condição atmosférica entre clara e muita 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. 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 de histograma (ex. Tabela 4) 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 possíveis 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. Isso era esperado devido a maior incidência de queima de biomassa nesta época.

Convém salientar que, independentemente do método usado (i.e. alvos com tonalidades escuras vs. histograma), as contribuições de aerossóis nas bandas do sensor TM em relação a banda inicial, foram bastante divergentes comparando-se com as dependências estipuladas nos modelos da Tabela 2. Ou seja, as contribuições de aerossóis das bandas espectrais do TM-Landsat, em relação a banda inicial, não se encaixaram em nenhum dos modelos de espalhamento relativo sugeridos pelo Chavez. Os resultados da análise destas 7 imagens demonstraram claramente que a parametrização dos modelos de espalhamento relativo sugeridos no trabalho de Chavez foram muito simplificados 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 ATMOSFÉRICA PARA DIFERENTES CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Condição	Modelo de Espalhamento
Muito 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} Muito Clara	λ^{-2} Clara	λ^{-1} Moderada	$\lambda^{-0,7}$ Névoa	$\lambda^{-0,5}$ 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 do trabalho de Chavez, 1988.

TABELA 3 - NÍVEIS DE CINZA DE ALVOS ESCUROS OBTIDOS A PARTIR DO TM-LANDSAT 5

Alvo Escuro	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7					
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 NÍVEL 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.	fi	N.C.	fi	N.C.	fi	N.C.	fi	N.C.	fi	N.C.	fi
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 parêntesis são as contribuições em relação à banda 1.

**N.D.= fita CCT com problema, dado não disponível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caselles, V., López García, M.J., An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies, *Int. J. Remote Sens.*, 10(6):1127-1134, 1989.
- 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., In-flight absolute radiometric calibration of the Thematic Mapper, Proc. *IEEE Trans. Geosci. & Remote Sens.*, GE-22(3):251-255, 1984.
- Ceballos, J.C.; Bastos, E.J.B., Um estudo de imagens Landsat-5 no agreste paraibuno, I: refletância de duas épocas do ano, *Rev. Bras. Meteorol.*, 3:207-215, 1988.
- Chavez, P.S. Jr., Atmospheric, solar and MTF correction for ERTS digital imagery, Proc. *Am. Soc. Photogramm.*, 69-74, 1975.
- Chavez, P.S., An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data, *Remote Sens. Environ.*, 24:459-479, 1988.
- Chavez, P.S. Jr., Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images, *Photogramm. Eng. & Remote Sens.*, 55(9):1285-1294, 1989.
- Crane, R.B., Preprocessing techniques to reduce atmospheric and sensor viability in multispectral scanner data. In: *International Symposium of Remote Sensing of Environment*, 7., Ann Arbor, MI, 17-21 May, 1971. *Proceedings*, ERIM, v. 1, p. 1345-1355.
- Crippen, R.E., The regression intersection method of adjusting image data for band ratioing, *Int. J. Remote Sens.*, 8(2):137-155, 1987.
- Curcio, J.A., Evaluation of atmospheric aerosol particle size distribution from scattering measurement in the visible and infrared, *J. Opt. Soc. Am.*, 51:548-551, 1961.
- Dave, J.V., Extensive datasets of the diffuse radiation in realistic atmospheric models with aerosols and common absorbing gases, *Solar Energy*, 21:361-369, 1978.
- Gilabert, M.A., Conese, C., Maselli, F., An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectances from TM images, *Int. J. Remote Sens.*, 15(10): 2065-2086. 1994.

- Hall, F.G., strebel, D.E., Nickeson, J.E., Goetz, S.J., Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multidate, multisensor images. *Remote Sens. Environ.*, 35:11-27, 1991.
- Henebry, G.M., Su, H., Using landscape trajectories to assess the effects of radiometric rectification, *Int. J. Remote Sens.*, 14(12):2417-2423, 1993.
- Holm, L.G., Moran, M.S., Jackson, R.D., Slater, P.N., Yuan, B., Biggar, S.F., Surface reflectance factor retrieval from Thematic Mapper data, *Remote Sens. Environ.*, 27:47-57, 1989.
- Kaufman, Y.J., Atmospheric effect on spectral signature-measurements and corrections, *IEEE Trans. Geosci. & Remote Sens.*, 26(4):441-449, 1988.
- Kaufman, Y.J., Fraser, R.S., Light extinction by aerosols during summer air pollution, *J. Appl. Meteorol.*, 22:1694-1706, 1983.
- Kaufman, Y.J., Sendra, C., Algorithm for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR satellite imagery, *Int. J. Remote Sens.*, 9(8):1357-1381, 1988.
- Kneizys, F.X., Shettle, E.P., Gallery, W.O., Chetwynd, J.H., Abreu, L.W., Selby, J.E.A., Clough, S.A., Fenn, R.W., *Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOWTRAN-7*, Hanscom, MA, Air Force Geophysics Lab, 1988. (AFGL-TR-88-0177)
- Rees, W.G., *Physical principals of remote sensing*, Cambridge, Cambridge University Press, 1990, p. 247.
- Ribeiro, L.C.B., *Correção de uma imagem para os efeitos atmosféricos utilizando dados de radiossonda*, (Tese de Mestrado)- INPE, 1992.
- Richer, R., A fast atmospheric correction algorithm applied to Landsat TM images. *Int. J. Remote Sens.*, 11:159-166, 1990.
- Schott, J.R., Salvaggio, C., Volchor, W.K., Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features, *Remote sens. Environ.*, 26:1-16, 1988.
- Slater, P.N., Reflectance- and radiance-based methods for the in-flight absolute calibration of multispectral sensors, *Remote Sens. Environ.*, 22:11-37, 1987.

- Slater, P.N., Doyle F.J., Fritz, N.L., Welch, R.,
Photographic systems for remote sensing. In: **Manual of
remote sensing**, 2. ed., Falls Church, VA, ASP, 1983. v. 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., Absolute
radiometric calibration of the Thematic Mapper. In:
Slater, P.N., ed., **Earth remote sensing using the Landsat
Thematic Mapper and SPOT sensor systems**. Bellingham, WA,
SPIE, 1986. P. 2-8. (Proceedings SPIE 660).
- Tanré, D., Deroo, C., Duhaut, P., Herman, M., Morcrette,
J.J., Description of a computer code to simulate the
satellite signal in the solar spectrum: the 5s code, *Int.
J. Remote Sens.*, 2(4):659-668, 1990.
- Turner, R.E., Malita, W.A., Nalepha, R.F., Importance of
atmospheric scattering in remote sensing, **International
Symposium of Remote Sensing of Environment**, 7., Ann Arbor,
MI, 17-21 May, 1971, **Proceedings**, ERIM, v. 1, p. 1651-
1697.