

Desempenho da Correção Atmosférica Baseada no Algoritmo Flaash e sua Avaliação para o Processamento Digital de Imagens do Sensor Landsat 7-ETM+ dentro do Bioma Cerrado

Antonio Felipe Couto Junior¹

Paulo Roberto Meneses¹

Edson Eyji Sano²

¹ Universidade de Brasília – UnB

Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte CEP: 70910-900 Brasília, DF

E-mail: antoniofelipejr@gmail.com; pmeneses@unb.br

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

BR-020 km 18 Caixa Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina, DF

E-mail: sano@cpac.embrapa.br

Abstract. This work aimed to achieve three objectives: i) to perform atmospheric correction of Landsat ETM+ image based on FLAASH algorithm; ii) to compare with ATREM algorithm; and iii) to assess the efficiency of atmospheric correction for digital processing in the Cerrado biome. The main input parameters for FLAASH algorithm were 1000 meters average altitude, 100 km initial visibility, none aerosol retrieval and ISAACS multiscatter model. For the assessment of the atmospheric correction were collected 10 spectral signatures of natural and antropic areas. These samples were used to assess the utility of atmospheric correction using the *t*-paired test with 0.1 and 0.05 significance levels. The FLAASH algorithm showed smaller values when compared to ATREM, however, it was observed a 0.97 overall correlation for the two areas. The *t* test showed that the atmospheric correction is suitable just in case of spectral analysis or to design a consisted time series.

Palavras-chave: atmospheric correction, FLAASH, digital processing, correção atmosférica, processamento digital.

1. Introdução

O sensoriamento remoto tem como pressuposto a caracterização de propriedades de alvos na superfície terrestre através da detecção e registro do fluxo radiante emitido e refletido. Porém, observa-se uma limitação para a obtenção das informações sensor-superfície, uma vez que existe entre eles um meio dinâmico: a atmosfera. A radiação eletromagnética interage com a atmosfera causando alterações no fluxo radiante, sendo desejável a realização de compensação ou atenuação dos efeitos atmosféricos através de correção atmosférica (Matthew, 2002).

Visando compensar os efeitos da interação entre a radiação eletromagnética e a atmosfera, foram desenvolvidos algoritmos, como o ATmospheric REMoval (ATREM) e Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH), que produzem espectros de reflectância similares (Kruse, 2004). A principal diferença entre estes algoritmos é o código de transferência radiativa utilizado para estimar os parâmetros. O ATREM está baseado no código 6S (Vermote et al., 1997) e FLAASH, MODTRAN (Adler-Golden, 1999; Berk et al., 2002; Matthew et al., 2002).

Os objetivos deste trabalho são: i) realizar correção atmosférica de uma cena do sensor Landsat 7-ETM+ utilizando o algoritmo FLAASH; ii) comparar o resultado da correção com uma imagem referência corrigida pelo algoritmo ATREM; e iii) avaliar a eficiência da correção atmosférica para o processamento digital em uma área do Bioma Cerrado.

2. Materiais e Métodos

2.1. Correção Atmosférica Baseada no Algoritmo FLAASH para Landsat 7-ETM+

Foi utilizada a cena 221/071 referente ao dia 20 de julho de 2001, obtida em números digitais (ND), a partir da página do INPE (www.inpe.br). Antes de iniciar o processo de correção atmosférica, a imagem foi convertida para valores de radiância, utilizando os parâmetros encontrados na página oficial do programa Landsat (http://landsat.usgs.gov/science_L7_cpf.php).

Para a correção atmosférica, foi utilizado o algoritmo FLAASH, que utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN (Adler-Golden, 1999; Berk et al., 2002). Foi utilizada como altitude média de 1000 metros, sem o modelo de aerosol Kaufmann-Tanré, visibilidade de 100 km e modelo de multiespalhamento ISAACS.

2.2. Avaliação da Correção Atmosférica do Algoritmo FLAASH

O resultado da correção atmosférica foi comparado com outra imagem Landsat, da mesma cena, corrigida pelo algoritmo ATREM. Em cada imagem (FLAASH e ATREM) foram coletadas 10 assinaturas espectrais de áreas naturais – Mata de Galeria (MT), Cerrado Típico (CT), Cerrado Ralo (CR) e Campo Limpo/Sujo (CP) – e áreas antrópicas – Área Agrícola Plantada (PL), Área Agrícola Preparada (AP), Área Urbana (UB) e Água (AG). Estas amostras foram coletadas de forma irregular, considerando entre 1 pixel e 5 pixels, dentro do Distrito Federal (Figura 1). Foi gerada uma curva média para cada classe e plotada para proceder à comparação entre os algoritmos.

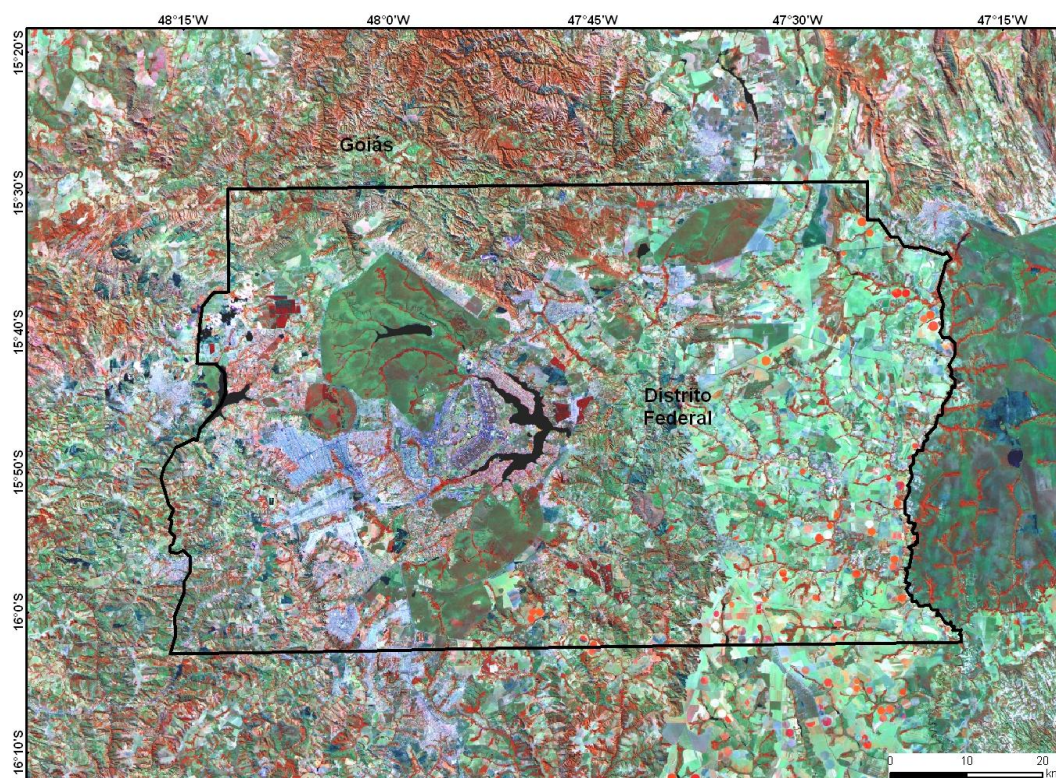


Figura 1 - Localização da área de estudo.

2.3. Correção Atmosférica para o Processamento Digital

Visando avaliar o efeito da correção atmosférica para o processamento digital, foi aplicado o teste t para avaliar a capacidade de separação entre as classes das áreas naturais (item 2.2), da imagem original (ND) e da imagem corrigida (FLAASH). Para a imagem corrigida foram utilizadas as mesmas 10 curvas (item 2.2) e para a imagem original foram coletadas 10 amostras referentes às mesmas regiões.

Foram comparadas as estatísticas das classes tomadas aos pares, de acordo com a seguinte hipótese:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

A hipótese trata que a média de uma amostra apresenta padrão similar a da outra. Contra esta hipótese apresenta-se a alternativa:

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Onde as duas amostras não apresentam médias iguais. Será especificado um nível de significância de 10% ($\alpha = 0,10$) e 5% ($\alpha = 0,05$), para t bicaudal.

3. Resultados e Discussão

3.1. Resultado da Correção Atmosférica e Avaliação do Algoritmo FLAASH

É possível observar alta correlação entre as curvas espectrais (FLAASH e ATREM), onde os valores de reflectância ATREM apresentaram-se um pouco superiores em todas as classes selecionadas (Figuras 1 e 2). Nas áreas naturais, é possível observar que a classe Mata de Galeria apresentou a menor variação entre os algoritmos, e a classe Campo Limpo/Sujo, as maiores variações (Figura 1).

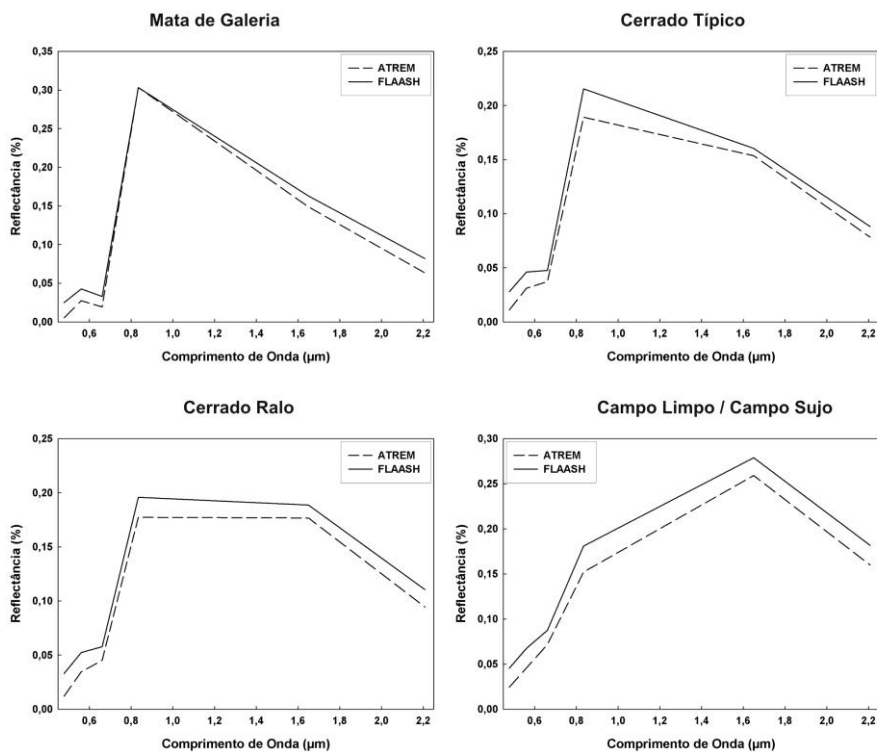


Figura 2 - Comparação entre correção atmosférica gerada pelo algoritmo FLAASH (linha preta) e pelo algoritmo ATREM (linha tracejada), para áreas naturais.

Verifica-se correlação superior a 0,97 entre os algoritmos dentro das próprias classes, diminuindo quando correlacionam entre as demais classes (Tabela 1), ou seja, diminuindo de acordo com a variação de cobertura. A classe Cerrado Ralo foi a que apresentou a maior correlação (0,988), já a menor foi obtida entre Mata de Galeria e Campo Limo/Sujo (0,310).

Tabela 1 - Matriz de correlação para áreas naturais.

	MT_Flaash	MT_Atrem	CT_flaash	CT_Atrem	CR_Flaash	CR_atrem	CP_Flaash	CP_Atrem
MT_Flaash	1,000							
MT_Atrem	0,973	1,000						
CT_flaash	0,933	0,947	1,000					
CT_Atrem	0,898	0,911	0,983	1,000				
CR_Flaash	0,814	0,834	0,946	0,977	1,000			
CR_atrem	0,798	0,814	0,937	0,964	0,988	1,000		
CP_Flaash	0,385	0,411	0,636	0,706	0,821	0,847	1,000	
CP_Atrem	0,310	0,344	0,579	0,654	0,782	0,808	0,982	1,000

Nas áreas antrópicas, também foi observado comportamento semelhante entre as curvas dos diferentes algoritmos, onde as curvas ATREM mostraram-se maiores que as obtidas no FLAASH. É possível visualizar que a classe Água apresentou a maior variação entre as curvas, e a Área Agrícola Plantada a menor (Figura 2). Confirmando o observado na Figura 2 a Água foi a que apresentou a menor correlação entre os algoritmos (0,804), mas ainda assim pode ser considerada alta (Tabela 2).

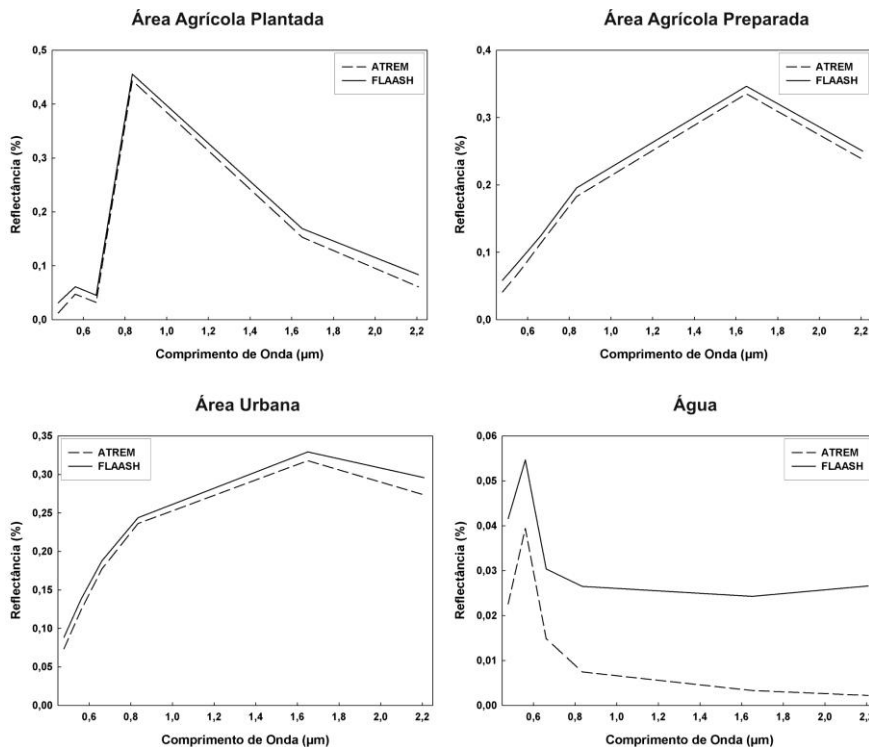


Figura 3 - Comparação entre correção atmosférica gerada pelo algoritmo FLAASH (linha preta) e pelo algoritmo ATREM (linha tracejada), para áreas antrópicas.

Tabela 2 - Matriz de correlação para áreas antrópicas.

	AG Flaash	AG Atrem	PL flaash	PL Atrem	PR Flaash	PR atrem	UB Flaash	UB Atrem
AG_Flaash	1,000							
AG_Atrem	0,804	1,000						
PL_flaash	-0,148	-0,256	1,000					
PL_Atrem	-0,161	-0,255	0,997	1,000				
PR_Flaash	-0,434	-0,608	0,086	0,081	1,000			
PR_atrem	-0,435	-0,603	0,081	0,075	0,998	1,000		
UB_Flaash	-0,336	-0,552	0,151	0,154	0,876	0,870	1,000	
UB_Atrem	-0,339	-0,544	0,141	0,135	0,842	0,848	0,831	1,000

O gráfico de dispersão com todas as amostras permite avaliar o desempenho entre os algoritmos para áreas naturais e antrópicas (Figura 3). Mesmo apresentado coeficientes de correlação superiores a 0,97, discrepâncias são evidenciadas para os dois grupos. Estas variações parecem ter ocorrido devido a diferenças nos códigos atmosféricos de transferência radiativa (Miura et al., 2008).

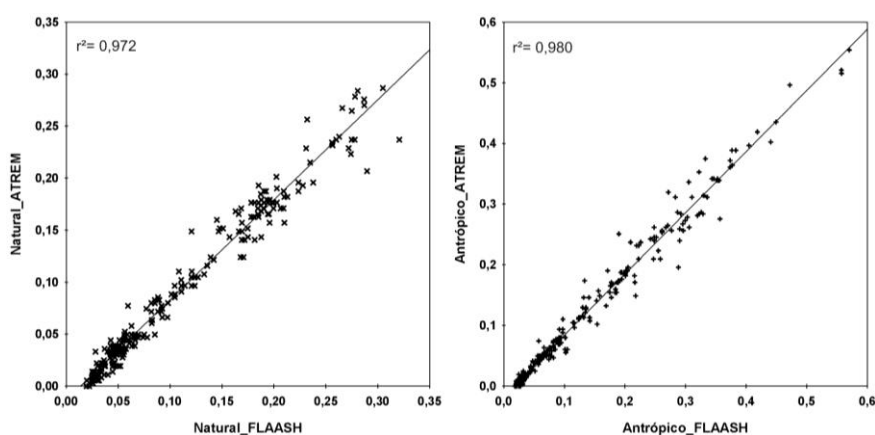


Figura 4 - Gráficos de dispersão entre algoritmo FLAASH e ATREM para áreas naturais (esquerda) e antrópicas (direita).

3.2. Resultado da Correção Atmosférica para o Processamento Digital

A estatística descritiva aponta que os valores médios, tanto de número digital (ND) quanto reflectancia (FLAASH), aumenta da classe MT para CP (Tabela 3). Este incremento é inversamente proporcional à diminuição da cobertura vegetal, principalmente arbórea.

Tabela 3 - Estatística descritiva para os dois grupos de dados: Número Digital (ND) e FLAASH.

ND							
	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Variância
MT	60	25	110	49,08	2,515	19,477	379,366
CT	60	34	81	51,57	1,735	13,438	180,589
CR	60	39	75	54,43	1,513	11,723	137,436
CP	60	49	106	65,73	2,116	16,390	268,640

FLAASH							
	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Variância
MT	60	0,0194	0,3208	0,0922	0,0110	0,0853	0,0073
CT	60	0,0245	0,2378	0,0976	0,0089	0,0691	0,0048
CR	60	0,0252	0,2092	0,1063	0,0085	0,0659	0,0043
CP	60	0,0396	0,3049	0,1403	0,0107	0,0825	0,0068

Os valores t crítico para $\alpha = 0,10$ e $\alpha = 0,05$ são, respectivamente, $\pm 1,6585$ e $\pm 1,9803$, para t bicaudal com graus de liberdade igual a 118. Os resultados do teste t ($\alpha = 0,05$) evidenciam que todas as combinações que envolvem a classe Campo Limpo/Sujo (CP) levam à rejeição de H_0 (Tabela 4). Isto significa que deve ser aceita H_1 , ou seja, existe diferença estatisticamente significativa para $\alpha = 0,05$, tanto para ND quanto para FLAASH. Para $\alpha = 0,10$, apenas a combinação MT_CR mostrou-se significativa e apenas para os dados em número digital.

Tabela 4 - Resultados do teste t , P e a significância de cada par avaliado, para os pares, tanto em Número Digital (ND) quanto em FLAASH.

	Par	t	P	Sig
ND	MT_CT	-0,813	0,418	ns
	MT_CR	-1,823	0,071	*
	MT_CP	-5,066	0,001	**
	CT_CR	-1,245	0,216	ns
	CT_CP	-5,177	0,001	**
	CR_CP	-4,344	0,001	**
FLAASH	MT_CT	-0,375	0,708	ns
	MT_CR	-1,013	0,313	ns
	MT_CP	-3,136	0,002	**
	CT_CR	-0,712	0,478	ns
	CT_CP	-3,076	0,003	**
	CR_CP	-2,491	0,014	**

* $\alpha = 0,10$; ** $\alpha = 0,05$; ns: não significativo

4. Conclusão

A correção atmosférica do sensor Landsat 7-ETM+ baseada no algoritmo FLAASH mostrou-se eficiente. Apesar dos valores da imagem corrigida pelo algoritmo ATREM terem sido um pouco maiores, observou-se correlações maiores de 0,97, para áreas naturais e antrópicas dentro do Bioma Cerrado. É possível que as variações entre os algoritmos tenham ocorrido devido a diferenças nos códigos atmosféricos de transferência radiativa.

Ao nível de significância de 5%, tanto os dados originais (ND) quanto os corrigidos apresentaram o mesmo potencial de separação de média entre as amostras. Ao nível de 10%, foi possível separar a combinação “Mata de Galeria-Cerrado Ralo” apenas nos dados originais (ND).

O teste t para comparação das médias das classes indicou que para o processamento digital não há necessidade de realizar os procedimentos de correção atmosférica. Este pré-processamento deve ser aplicado quando existe o objetivo de estudar as variações espectrais, por exemplo, obter uma série temporal consistente e homogênea.

Referências Bibliográficas

Adler-Golden, S.M.; Matthew, M.W.; Bernstein, L.S.; Levine, R.Y.; Berk, A.; Richtsmeier, S.C.; Acharya, P.K.; Anderson, G.P.; Felde, G.; Gardner, J.; Hike, M.; Jeong, L.S.; Pukall, B.; Mello, J.; Ratkowski, A.; Burke, H. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. SPIE Proc. Imaging Spectrometry, v. 3753, p. 61-69, 1999.

Berk, A.G.P.; Adler-Golden, S.M.; Ratkowski, A.J.; Felde, G.W.; Anderson, G.P.; Hoke, M.L.; Cooley, T.; Chetwynd, J.H.; Gardner, J.A.; Matthew, M.W.; Bernstein, L.S. Acharya, P.K.; Miller, D.; Lewis, P. Exploiting MODTRAN radiation transport atmospheric correction: the FLAASH algorithm. SPIE Proceeding, Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research, p. 798-803, 2002.

Kruse, F.A. Comparison of ATREM, ACORN, FLAASH atmospheric corrections using low-altitude AVIRIS data of Boulder, CO. 1-10, 2004.

Matthew, M.W.; Adler-Golden, S.M.; Berk, A. Atmospheric correction of spectral imagery: Evaluation of the FLAASH algorithm with AVIRIS data. 31st Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, 2002.

Miura, T.; Yoshioka, H.; Fujiwara, K.; Yamamoto, H. Inter-Comparison of ASTER and MODIS surface reflectance and vegetation index for synergistic applications to natural resources monitoring. *Sensors*, v. 8, p. 2480-2499, 2008.

Vermote, E.F.; Tanré, D.; Deuzé, J.L.; Herman, M.; Morcrette, J-J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.35, n.3, p. 675-686, 1997.