

X-6SCorr: Conversão semi-automática de números digitais de imagens orbitais para FRB de superfície baseada em meta-arquivo XML e código 6S

RESUMO

1. Introdução

Muitas pesquisas que vem sendo desenvolvidas no campo do sensoriamento remoto e áreas afins dependem da conversão dos valores de número digital (ND) para fator de reflectância bidirecional (FRB) de superfície (ρ_{sp}) que é uma unidade fisicamente coerente com a composição do alvo. No entanto, não há algum aplicativo livre, de domínio nacional (divulgado), que realize esta conversão de forma simplificada. Muitas etapas do procedimento atualmente adotado são morosas, computacionalmente exigentes e necessitam do preenchimento manual repetitivo de coeficientes.

Como muitos dados de entrada nas fórmulas para conversão são tabelados, ou simplesmente descritos nos meta-arquivos adquiridos juntamente com as imagens, grande parte do procedimento pode ser automatizado. Isto é especialmente importante no caso da necessidade da conversão em séries temporais. Nestes casos aumenta-se muito o tempo necessário para processamento e as chances de ocorrer falhas humanas no preenchimento dos coeficientes e termos computacionais.

Este trabalho busca então divulgar o X-6SCorr – Correção Atmosférica 6S baseada em meta-arquivo XML – um aplicativo que realiza as conversões dos ND para FRB aparente (ρ_{app}) e ρ_{sp} de forma semi-automática. O X-6SCorr foi desenvolvido especificamente para imagens adquiridas a partir da DGI (Divisão de Geração de Imagens – INPE), de forma que grande parte dos parâmetros necessários para conversão do ND (Nível Digital) para reflectância aparente e de superfície são reconhecidos automaticamente a partir do arquivo XML, adquirido conjuntamente com o arquivo Geotiff.

[O arquivo de metadados em formato XML produzido pela DGI possui informações sobre o tipo de sensor utilizado no imageamento, a banda do espectro eletromagnético, a data e condições de imageamento \(atitude e posição do pixel central\). O processo do X-6SCorr identifica as informações que são relevantes ao processo de correção atmosférica e utiliza automaticamente durante a conversão.](#)

Por hora, apenas o sensor TM do satélite Landsat 5 está disponível para processamento no X-6SCorr, por isso será notado neste trabalho como TM5. Posteriormente serão discutidos os motivos pelos quais ainda não foram incluídos outros sensores, bem como as perspectivas futuras para continuidade do projeto. As considerações teóricas sobre as conversões serão feitas, bem como as discussões em relação às etapas que não são possíveis de automatização.

2. X-6SCorr: Embasamento Teórico e Funcionamento

O X-6SCorr possui a seguinte estrutura (Figura 1).

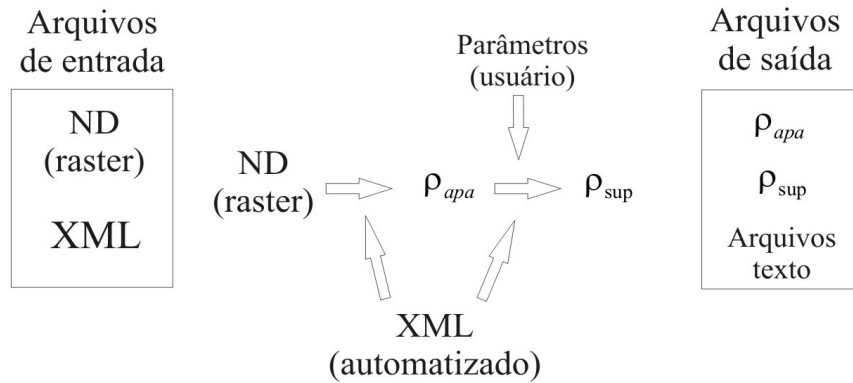


Figura 1. Estrutura do X-6SCorr.

Dados os arquivos de entrada raster (TIF) e o arquivo de metadados (XML), o ND é convertido automaticamente para ρ_{apa} a partir do XML. Já a conversão de ρ_{apa} para ρ_{sup} necessita, além das informações de metadados XML, de parâmetros intrínsecos a cada imagem, e devem ser fornecidos pelo usuário. A seguir estas etapas serão descritas.

2.1 Conversão ND para ρ_{apa}

O ND possui uma dependência com o sinal radiante provindo do alvo, no entanto, este não tem significado físico, é apenas uma representação computacional necessária para transmissão dos dados, não podendo ser correlacionado com nenhuma variável biofísica ou geofísica de interesse.

A conversão do ND para ρ_{apa} é feita no X-6SCorr de acordo com Markham e Barker (1986) onde inicialmente o ND é convertido para radiância espectral no sensor ¹ (Equação 1).

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \right) (Q_{cal} - Q_{cal\ min}) + LMIN_{\lambda}$$

Onde:

$LMAX_{\lambda}$ = radiância espectral máxima ($W I(m^2 sr \mu m)$) ;

$LMIN_{\lambda}$ = radiância espectral mínima ($W I(m^2 sr \mu m)$) ;

$Q_{cal\ max}$ = número digital máximo (ND);

$Q_{cal\ min}$ = número digital mínimo (ND);

Q_{cal} = número digital à ser convertido (ND).

Os valores de número digital mínimo e máximo dependem da resolução radiométrica do sensor, para o TM5 são respectivamente 0 e 255. Já os valores de radiância espectral mínima e máxima dependem das especificações do sensor e da data de aquisição da imagem. Para o X-6SCorr, os valores adotados estão disponíveis em Chander et al., (2009), que é um documento de domínio público em http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat_Calibration_Summary_RSE.pdf.

Nota-se que há uma mudança dos valores de $LMAX_{\lambda}$ para as bandas TM5 1 e 2 em 31/12/1991. O X-6SCorr reconhece automaticamente quais são os valores à serem

adotados segundo a data de aquisição da imagem, que é extraída automaticamente do arquivo de metadados.

Após a conversão do ND, a ρ_{λ} é convertida para ρ_{apa} (Equação 2).

$$\rho_{apa} = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{ESUN_{\lambda} \times \cos \theta_s}$$

Onde:

d = distância terra-sol (unidades astronômicas);

$ESUN_{\lambda}$ = irradiância solar média no topo da atmosfera ($W/m^2 \mu m$);

θ_s = ângulo solar zenital (graus).

No X-6SCorr, os valores de $ESUN_{\lambda}$ foram adquiridos em Chander et al., (2009), já d e θ_s são resolvidos analiticamente a partir da data, horário e local de aquisição da imagem.

2.1.1 Cálculo dos parâmetros astronômicos

O ângulo solar zenital é calculado utilizando a formulação apresentada na Equação 3, onde ϕ é a latitude, δ é a declinação solar e ω é o ângulo horário do instante do imageamento do pixel central.

$$\theta_{\text{ângulo solar zenital}} = \arccos(\sin(\delta) \cdot \sin(\phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\omega)) \quad (3)$$

A declinação solar é calculada através da aproximação apresentada na Equação 3 (Spencer, 1971), onde Γ é calculado através da Equação 4. Na Equação 4, d_n é a quantidade de dias passados desde 1º de janeiro até a data de aquisição da imagem.

$$\delta = 0,006918 - 0,399912 \cdot \cos(\Gamma) + 0,070257 \cdot \sin(\Gamma) - 0,006758 \cdot \cos(\Gamma) + 0,000907 \cdot \sin(\Gamma) - 0,002697 \cdot \cos(\Gamma) + 0,00148 \cdot \sin(\Gamma) \quad (3)$$

$$\Gamma = 2 \cdot \pi \cdot \frac{d_n - 1}{365} \quad (4)$$

Da mesma maneira, a razão da distância Terra-Sol é calculada através do método analítico apresentado na Equação 5.

$$(r_0/r)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cdot \cos(\Gamma) + 0,001280 \cdot \sin(\Gamma) + 0,000719 \cdot \cos(2\Gamma) + 0,000077 \cdot \sin(2\Gamma) \quad (5)$$

2.2 Conversão ρ_{apa} para ρ_{ap}

2.2.1 O código 6S

Por definição, a ρ_{apa} possui interferência dos efeitos atmosféricos, ou seja, para as aplicações onde é necessário a ρ_{ap} , tais valores ainda não são adequados. GÜRTLER, et al., (2005) apresentam uma planilha para esta conversão por meio do

método de subtração do objeto escuro (DOS – *dark object subtraction*), no entanto, este método trata apenas dos efeitos do espalhamento atmosférico de forma empírica, tanto na escolha subjetiva do alvo escuro, como no método do histograma mínimo. No X-6SCorr, o código computacional 6S (*second simulation of the satellite signal in the solar spectrum* – Vermote et al., 1997) foi adotado.

Este código é baseado em modelo de transferência radiativa e permite recuperar com precisão o sinal provindo do terreno (VERMOTE et al., 1997), desde que os parâmetros geométricos, espectrais e atmosféricos sejam oferecidos com precisão. Os processos de atenuação atmosférica por espalhamento e absorção da REM (radiação eletromagnética) são quantificados segundo os parâmetros fornecidos. Para maiores informações sobre as vantagens e limitações do código 6S, indica-se a leitura de Vermote et al., (1997).

Uma crítica frequentemente feita em relação ao uso deste método é que são necessários parâmetros atmosféricos do mesmo dia de aquisição da imagem (idealmente no mesmo instante). No entanto, existem alternativas: i) uso de modelos atmosféricos e parâmetros aproximados, que muitas vezes recaem no problema da subjetividade na escolha; ii) adoção de dados por fontes pontuais, como coleta de dados em campo e em estações meteorológicas, mas estes não caracterizam um sistema operacional e iii) a adoção de estimativas remotas fornecidas, por exemplo, pela série *MODIS Atmosphere* (<http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/>). Esta é uma alternativa interessante e já trabalhada por Oliveira et al., (2009), mas os dados são disponíveis segundo a data de lançamento dos satélites (TERRA - dezembro/1999 e AQUA abril/2002). No entanto, há uma longa série de dados meteorológicos disponibilizados em <http://dss.ucar.edu/datasets/ds090.0/matrix.html> derivados a partir de dados de análises globais NCEP. Embora tais dados muitas vezes são incompatíveis com a resolução espacial do TM5 e outros sensores semelhantes, a partir destes dados é possível definir a concentração de elementos na coluna atmosférica como o vapor d'água, ozônio e aerossóis (visibilidade em 550 nm) que já são capazes de definir as principais características atmosféricas de espalhamento e absorção da REM para o código 6S.

No entanto, esta é uma abordagem vista apenas em estudos experimentais, como no trabalho de Jiménez-Muñoz et al., (2010), que alcançou bons resultados utilizando esta abordagem. Visto que tais dados cobrem toda a série temporal Landsat (inclusive os dados MSS), a afirmativa de que não existem dados para correção atmosférica por meio do código 6S não é verdadeira, o que acontece na realidade é que este ramo ainda não é desenvolvido academicamente, e por conseguinte não atinge a comunidade usuária.

O arquivo executável do modelo 6S utilizado no X-6Scorr foi adaptado por Mauro Antônio Homem Antunes para imagens em formato *.raw* de 8 bits, em 4 de abril de 2001 (ANTUNES et al., 2003). É necessário que o usuário saiba que a adaptação para 8 bits faz com que no máximo 0,5 ND seja perdido na conversão de ND para ρ_{apq} , e mais 0,5 na conversão da ρ_{apq} para ρ_{ap} . Isto ocorre por causa do arredondamento intrínseco ao processo. Ou seja, se o usuário necessitar de uma precisão maior do que 1 ND, o X-6Scorr não pode ser utilizado. No entanto, apenas aplicações muito específicas, como a validação da resposta de sensores orbitais, que necessitam de precisão nesta magnitude, as quais são normalmente feitas com uma base de dados atmosféricos adquiridos em campo.

2.2.2 Parâmetros reconhecidos automaticamente no X-6Scorr

A aplicação do código 6S por meio do executável de Mauro Antônio Homem Antunes (ANTUNES et al., 2003) exige a entrada de dados geométricos, espectrais e atmosféricos conforme o exemplo (Figura 2).

Linha	Parâmetro	Descrição
1	7	(Condição geométrica Landsat TM);
2	3 21 13.4 -52.8173 -23.1146	(mês,dia,horário de aquisição (hora decimal em tempo universal) long.lat.;
3	1	(modelo atmosférico (padrão tropical))
4	1	(modelo de aerossol (padrão continental))
5	55	(visibilidade em km (concentração de aerossóis))
6	-0.2	(altitude em km, negativo para valores acima do nível do mar)
7	-1000	(identificação de um sensor a bordo de satélite)
8	25	(banda do Landsat TM)
9	-1	(imagem TM com reflectância escalonada entre 0 e 255)
10	278941	(número de bits do arquivo)

Figura 2. Exemplo da entrada dos parâmetros para aplicação do código 6S por meio do executável de Mauro Antônio Homem Antunes.

No X-6Scorr os parâmetros das linhas 1, 2, 7, 8, 9 e 10 são automaticamente reconhecidos a partir do XML. A condição geométrica é reconhecida pela identificação do satélite e sensor. Os parâmetros de data e horário são identificados e assumidos simplesmente. Já a latitude e longitude são assumidas para o centro da imagem, considerando o ponto médio dos limites extremos, existentes no XML. A banda espectral é reconhecida no XML e transposta para o código em sua linguagem (25 = banda 1, por exemplo). Além disso são necessários a identificação do arquivo raster em valores de ρ_{apq} (-1) e o número de pixels do arquivo, automaticamente reconhecidos.

2.2.3 Entrada de parâmetros atmosféricos no X-6Scorr

Os parâmetros das linhas 3, 4, 5 e 6 não são reconhecidos automaticamente, devendo ser fornecidos pelo usuário. A altitude pode ser adotada por um valor médio de toda a cena, ou um valor específico da área de interesse do usuário, e no X-6Scorr a entrada é em metros, sem o valor negativo (a conversão é feita internamente), para facilidade de manuseio. O X-6Scorr fornece uma interface gráfica para preenchimento desses parâmetros (Figura 3).

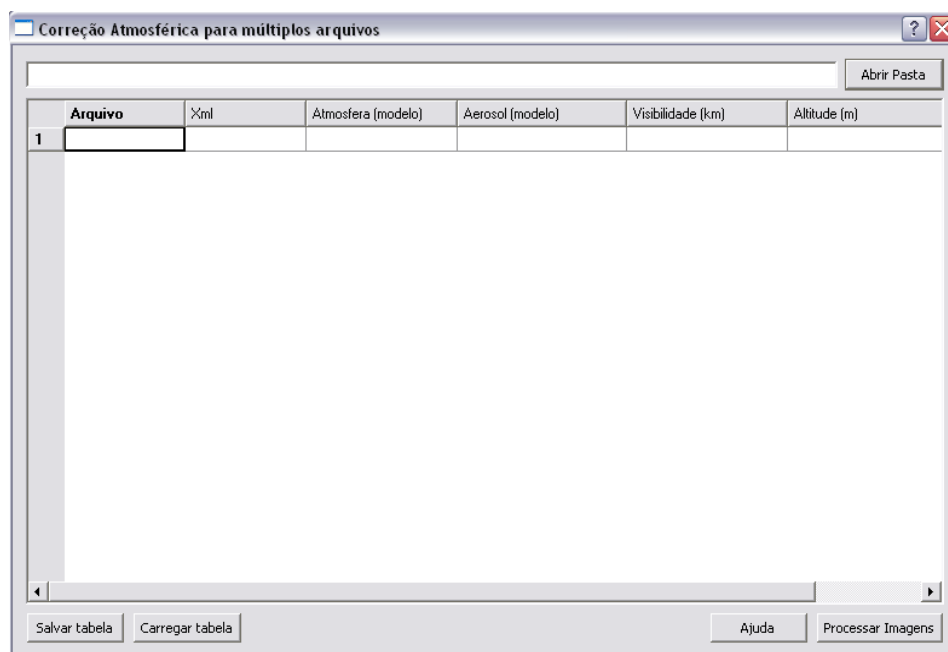


Figura 3. Interface gráfica do X-6Scorr.

Primeiramente escolhe-se um diretório no qual estão os arquivos raster e XML. Para que o X-6Scorr reconheça automaticamente cada banda e seu arquivo XML correspondente, eles devem possuir a mesma identificação. Após o reconhecimento dos arquivos, deve-se preencher os dados atmosféricos e a altitude desejados. Maiores informações sobre a operacionalidade do X-6Scorr podem ser obtidas na opção “Ajuda”.

g

3. Bibliotecas utilizadas no X-6Scorr Implementação

O X-6Scorr foi desenvolvido como *software* livre com principal foco no uso acadêmico. Para a leitura do arquivo de metadados em formato XML foi utilizada a biblioteca livre *tinyXML*. A interface gráfica foi desenvolvida utilizando a biblioteca livre Qt 4.3, que permitiu que o aplicativo funcionasse em plataformas *Windows* e *Linux*. A manipulação de formatos de arquivos matriciais utilizou a biblioteca GDAL (Geographic Abstraction Library), portanto o programa aceita a leitura das imagens em diversos formatos de arquivos.

4. Inclusão de outros sensores

Há duas necessidades básicas para o processamento de imagens orbitais no X-6Scorr, a disponibilidade do arquivo XML e a existência da opção de processamento dos dados no código 6S. Até o presente momento, além do TM5, o ETM+ também está nesta lista. No entanto, os valores de $L_{MAX_{\lambda}}$ do ETM+ variam em função da época do ano, e esta informação não está presente nos arquivos XML. Já os dados da série CBERS não possuem a opção de processamento no código 6S, mas isto é viável, pois depende apenas da inclusão no código de informações geométricas do satélite e das propriedades espectrais das bandas.

Assim que a questão dos diferentes ganhos do ETM+ for solucionada, será lançada uma nova versão do X-6Scorr com a inclusão deste sensor. Os sensores da série CBERS também poderão ser incluídos no aplicativo em versões futuras.

2.2.4 5. Considerações Finais

O ETM+, apesar de possuir os requisitos para processamento no X-6Scorr, possui curto intervalo temporal com dados sem defeitos severos de aquisição (1999-2003). Já a série CBERS ainda apresenta problemas radiométricos graves. Então apesar de inicialmente o X-6Scorr tratar apenas de dados TM5, admite-se que para avaliação de dados quantitativos em séries temporais (com dados gratuitos), o TM5 ainda é a melhor opção em muitos casos, podendo ser adequado para resolver muitas das aplicações dos usuários.

Dada a importância das conversões de ND para ρ_{sw} e ρ_{up} em estudos que relacionam o FRB com variáveis biofísicas e geofísicas, o X-6Scorr busca preencher a lacuna existente nos softwares nacionais livres que lidam com dados de sensoriamento remoto. O X-6Scorr é um software baseado em dados e códigos de domínio público, está disponível gratuitamente em <http://code.google.com/p/xatmcorr/> e ao ser utilizado, esta referência deve ser citada, bem como os autores do código 6S (Vermote et al., 1997) e a adaptação do código feita por Mauro Antônio Homem Antunes, a qual é citada em Antunes et al., (2003).

6. Referências Bibliográficas

Antunes, M. A. H.; Freire, R. M. B.; Botelho, A. S.; Toniolli, L. H. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o modelo 6S. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CBC, 2003. 6p. Disponível em: <www.cartografia.org.br/xxi_cbc/174-SR21.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2010.

Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. (2009). Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. **Remote Sensing of Environment** vol. 113, p.893-903, 2009.

GÜRTLER, S. et al. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat. Revista Brasileira de Cartografia, v. 57, n. 2, 2005.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; SOBRINO, JOSÉ A. MATTAR, C.; FRANCH, B. Atmospheric correction of optical imagery from MODIS and Reanalysis atmospheric products. [Remote Sensing of Environment](#). [v.114, n.10](#), p.2195-2210, 2010.

Markham, B. L. e Barker, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. **Earth Observation Satellite Co.**, Lanham, MD, Landsat Tech. Note 1, 1986.

OLIVEIRA, Luís Gonçalves Longo de ; [PONZONI](#) ; [MORAES, E. C.](#) . Conversão de dados radiométricos orbitais por diferentes metodologias de caracterização atmosférica. Revista Brasileira de Geofísica (Impresso), v. 27, p. 121-133, 2009

Vermote, E. F.; Tanre, D.; Deuze, J. L.; Herman, M.; Morcrette J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.

[Spencer J. W. Fourier series representation of the position of the Sun. Search 2, No. 5, 1971.](#)