

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RENILDO FELIPE DIOGO

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE CORREÇÃO DA
REFLECTÂNCIA DO TOPO DA ATMOSFERA PARA LANDSAT 8 OLI**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2016

RENILDO FELIPE DIOGO

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE CORREÇÃO DA
REFLECTÂNCIA DO TOPO DA ATMOSFERA PARA LANDSAT 8 OLI**

Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC 2), do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Campus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Agenor Alves Bueno

CAMPO MOURÃO

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE CORREÇÃO DA REFLECTÂNCIA DO TOPO DA ATMOSFERA PARA LANDSAT 8 OLI

por

Renildo Felipe Diogo

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em ____ de dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira

Prof. Dr. Paulo Agenor Alves Bueno

Prof. Dr. Radames Juliano Halmeman

Prof. Dr. Edivandro Vitor do Couto

*O Termo assinado encontra-se na coordenação de ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio e o incentivo em todos os momentos da minha vida. Em especial as minhas irmãs Thaila Camyle e Victoria Marcondes Oliveira.

Agradeço aos meus pais, por não apenas neste momento, mas em tantos outros que estiveram ao meu lado, apoiando, incentivando e me ensinando o melhor caminho a seguir pela vida.

Agradeço a minha mãe, que sempre me confiou os livros de ciência, ficção, as revistas da Super e National Geographic, sempre me ensinando e educando, me transformando em um pedaço dela.

Agradeço ao meu pai, que sempre me confiou o computador, foi o primeiro a me ensinar a mexer em um software de sensoriamento, me ensinou o que era geoprocessamento, me mostrando e demonstrando sobre a dedicação que eu devo ter. Por ter sempre sido meu companheiro de basquete, futebol americano, *longboard* e da vida.

Agradeço a instituição UTFPR e aos diversos colaboradores, que fizeram desta a minha morada, aos professores que dedicaram de seu tempo ao meu aprendizado.

Agradeço o Professor Dr. Maurício Cesar Menon, que após muita insistência me deu a primeira chance em projeto de pesquisa, me mostrando que sempre devo buscar o meu melhor e que devo superar as barreiras.

Agradeço o Professor Dr. José Hilário Delconte Ferreira, por todo o apoio neste projeto de pesquisa, todo o esforço e toda ajuda que o mesmo me deu para fazer deste projeto o melhor possível.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas que de forma direta ou indireta colaboraram para este projeto. Em especial para o Bruno Fernandes Scaramelli, Matthaeus Simonetti Guatura Masseran, Fábio Alexandre da Silva, Weslei Cristo, Felipe Augusto e Vanessa Cristo.

Uma Fábula para o Amanhã

Rachel Carson

RESUMO

DIOGO, Renildo. Avaliação de metodologias de correção da reflectância do topo da atmosfera para LANDSAT 8 OLI. 2016. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

Esta pesquisa apresenta uma avaliação de três metodologias de correção da reflectância do topo da atmosfera para o satélite Landsat 8 OLI e a existência de uma diferença entre as metodologias utilizadas. As metodologias utilizadas no estudo são Geosud ToA 16 bits, *Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System* (LEDAPS) e a metodologia proposta no *User Guide* do próprio satélite, foram aplicadas estas metodologias em 15 cenas, que foram escolhidas no globo, sendo distribuídas entre Paraná no Brasil, região de Campo Mourão, *Coconino County* no Arizona, EUA e na divisa da Mongólia e China, na região da cidade mongol de Gashuun Sukhait. Após a geração das cenas corrigidas, foi utilizado o índice vegetal *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI, para ser possível comparar estes dados, além da aplicação do NDVI na imagem bruta para fins de controle. Como ferramenta de comparação foi utilizado a Correlação de Pearson. Foi encontrado que existe uma correlação muito forte entre os NDVI da imagem bruta com o tratamento do Geosud; e NDVI do tratamento do LEDAPS com o algoritmo das fórmulas do *User Guide*, com correlações de 0,9 a 1 “muito forte” em 100% e 94% dos casos, respectivamente. Sendo possível dizer que a correção efetuada pela Geosud não seguia as outras duas metodologias, pois estas não se correlacionaram, assim como essa se correlacionou com a imagem bruta, ou seja, como se não houvesse sido efetuada uma correção.

Palavras-chave: Landsat 8 OLI. Correção da Reflectância. TOA. LEDAPS. USGS. NDVI. Correlação de Pearson.

ABSTRACT

DIOGO, Renildo. Evaluation of top of atmosphere reflectance correction methodologies for LANDSAT 8 OLI. 2016. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

This paper shows an evaluation of three top of atmosphere reflectance correction methodologies for the Landsat 8 OLI and the difference between the methodologies. The methodologies used in this paper are Geosud ToA 16 bits, Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS), and the mathematical formulas present in the Landsat 8 User Guide. These methodologies were applied in 15 different scenes, that were chosen in the globe, being distributed in Paraná, Brazil, Campo Mourão region, Coconino County Arizona, USA and in the Mongolian and Chinese landmark, Gashuun Sukhait's Mongolian city region. After the generation of the correct scenes, was used the vegetation index Normalized Difference Vegetation Index – NDVI, to be able to compare these data, beyond NDVI's application in the raw image for control purposes. Pearson's correlation was used as a comparison tool. Was found that a strong correlation exists between the raw image with Geosud 16 NDVI's; and LEDAPS with User Guide algorithm formulas NDVI, the correlations from 0.9 to 1 "very strong" in 100% and 94%, respectively. It is possible to say that Geosud's correction does not follow the other two methodologies, because there are not correlated, as it correlated with the raw image, in other words, as if no correction had been made.

Palavras-chave: Landsat 8 OLI. Reflectance Correction. TOA. LEDAPS. USGS. NDVI. Pearson's Correlation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Locais que as imagens foram adquiridas com suas respectivas datas....	21
Tabela 2 – Todos os resultados de Máximo, Mínimo, Média e Mediana de todas as cenas em que o índice de vegetação NDVI foi aplicado, o índice varia de -1 a +1...	25
Tabela 3 – Valores de reflectância para os sensores das bandas 1 (verde), banda 2 (vermelha), banda 3 (azul) e banda 4 (infravermelho próximo-NIR), todos os valores envolvendo reflectância são maiores que 0.....	27
Tabela 4 – Valores de ρ correspondentes a matriz de correlação e a interpretação de cada valor.	28
Tabela 5 – Dados de correlação da cena de órbita 223 e linha 077 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 14 de Julho de 2014.....	28
Tabela 6 – Dados de correlação da cena de órbita 223 e linha 077 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 20 de novembro de 2016	28
Tabela 7 – Dados de correlação da cena de órbita 223 e linha 077 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 26 de outubro de 2016.	29
Tabela 8 – Dados de correlação da cena de órbita 223 e linha 077 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 30 de Abril de 2016.	29
Tabela 9 – Dados de correlação da cena de órbita 223 e linha 077 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 03 de Julho de 2016.....	29
Tabela 10 – Dados de correlação da cena de órbita 037 e linha 036 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 25 de Maio de 2015.....	29
Tabela 11 - Dados de correlação da cena de órbita 037 e linha 036 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 12 de Julho de 2016.....	29
Tabela 12 - Dados de correlação da cena de órbita 037 e linha 036 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 08 de Agosto de 2014.	30
Tabela 13 - Dados de correlação da cena de órbita 037 e linha 036 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 14 de Outubro de 2016.	30
Tabela 14 - Dados de correlação da cena de órbita 037 e linha 036 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 12 de Setembro de 2015.....	30
Tabela 15 - Dados de correlação da cena de órbita 130 e linha 031 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 10 de Outubro de 2015.	30

Tabela 16 - Dados de correlação da cena de órbita 130 e linha 031 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 26 de Outubro de 2015.	30
Tabela 17 - Dados de correlação da cena de órbita 130 e linha 031 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 18 de Março de 2016.	31
Tabela 18 - Dados de correlação da cena de órbita 130 e linha 031 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 05 de Maio de 2016.....	31
Tabela 19 - Dados de correlação da cena de órbita 130 e linha 031 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 04 de Agosto de 2014.	31
Tabela 20 – Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_16 e NDVI_OLI.....	31
Tabela 21 - Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_Alg e NDVI_OLI.....	31
Tabela 22 - Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_TOA e NDVI_OLI.....	31
Tabela 23 - Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_16 e NDVI_Alg.....	32
Tabela 24 - Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_16 e NDVI_TOA	32
Tabela 25 - Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_Alg e NDVI_TOA	32
Tabela 26 – Revisão bibliográfica de artigos científicos que trabalharam com dados do Satélite Landsat 8 OLI.	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.2 LANDSAT ECOSYSTEM DISTURBANCE ADAPTATIVE PROCESSING SYSTEM (SENSU SCHMIDT ET AL., 2013).....	16
3.3 LANDSAT USERGUIDE (SENSU UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY 2015A)	17
3.1 APLICAÇÃO APRESENTADA PELA LITERATURA.....	19
4 METODOLOGIA	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A correção atmosférica é essencial para as análises de imagens de satélite, devido ao fato que a interação entre os gases e as partículas presentes na atmosfera com o fluxo de energia eletromagnética vinda do sol prejudica a passagem das ondas eletromagnéticas através da atmosfera, sendo assim causando interferências. Essas interferências ocorrem devido a três tipos de interações atmosféricas na energia reemitida por um alvo, quando este visualizado do espaço, estas alterações são conhecidas como espalhamento, absorção e reflectância.

Existem três formas de espalhamentos Rayleigh, Mei e Não-seletivo que podem ocorrer pela interação de molécula de gás (Rayleigh), material particulado (Mei) e vapor d'água (não-seletivo) (Jensen, 2009). Todo espelhamento ocorre pela absorção e remissão aleatória de radiação por átomos ou moléculas presentes na atmosfera.

A absorção de energia radiante por partículas e a conversão para outras formas de energia é conhecida como **absorção**. Isso pode ocorrer tanto na atmosfera quanto na superfície. A reflectância é a alteração do percurso da luz, essa alteração se dá através da presença de um corpo refletor, como topo de nuvens e corpos d'água.

Estas interferências tendem a prejudicar, no momento que o sensor de satélite capta a energia retransmitida, gerando uma alteração nos valores no momento da análise da cena captada, devido as interferências de zonas vizinhas, rios largos, grandes lagos e locais próximos com alta concentração de nuvens, comprometendo assim os dados obtidos pelos sensores dos satélites (Hadjimitsis, Clayton, Retalis, 2004; Jensen, 2009).

O objetivo dos diferentes métodos de correção atmosférica para as imagens de satélite é eliminar ou minimizar estas influências externas. Para a minimização das influências são utilizados métodos de correção. Os parâmetros para as correções são obtidas através de testes com o mesmo sensor do satélite em solo, calibração *underfly* e calibração de dados cruzados com outros sensores, exemplo Landsat 7 ETM+ (Markham et al., 2014; Mishra et al., 2014). Com isso, os dados obtidos, conhecidos como padrões, são utilizados na formulação de equações matemáticas para a calibração do sensor à bordo do satélite, assim como para a correção de reflectância do topo da atmosfera, reflectância da superfície e correção atmosférica.

Os dados de correção ficam disponibilizados em um arquivo específico conhecido como metadata, onde cada arquivo de cena tem o seu próprio arquivo específico, esses dados são utilizados como base pelos mais diversos métodos de correções existentes. A enorme variedade de diferentes métodos de correção de interferências, das mais simples como o plugin Geosud TOA, a mais complexas como a do LEDAPS, FLAASH, *Dark Object*, 6S, 6SV, 5S entre outros, faz com que existam questionamentos entre as diversas metodologias existentes, no intuito de entender sua melhor aplicação.

Os diferentes tipos de interferências podem ser separados em reflectância do topo da atmosfera, reflectância da superfície e vibração do satélite. A primeira correção a ser feita é a da reflectância do topo da atmosfera, sendo esta o mais importante passo, pois é o início de qualquer outra correção a ser realizada.

Este trabalho tem como objetivo comparar metodologias de correção automática da reflectância do topo da atmosfera, o primeiro passo de toda correção, Geosud TOA, LEDAPS, apenas o primeiro passo, e a metodologia existente no manual do satélite Landsat 8 OLI.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar se as diferentes metodologias existentes para a correção da reflectância do topo da atmosfera (TOA) para o satélite Landsat 8, produzem resultados que sejam comparáveis entre si.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma revisão bibliográfica das metodologias existentes;
- Realizar uma revisão bibliográfica dos parâmetros utilizados para a correção;
- Identificar as diferenças entre as metodologias;
- Aplicar as metodologias Geosud TOA, LEDAPS e as fórmulas do *User Guide* nas cenas e comparar os resultados obtidos;
- Aplicar o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) para todas as metodologias e comparar os resultados.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É necessário entender que existem interações entre energia e matéria na atmosfera, e estas interações alteram o fluxo de energia que entre na atmosfera terrestre (JENSEN, 2009; CHANDER; MARKHAM; HELDER; 2009; JU et al., 2012). Jensen (2009) expõe as interferências da atmosfera na Figura 1.

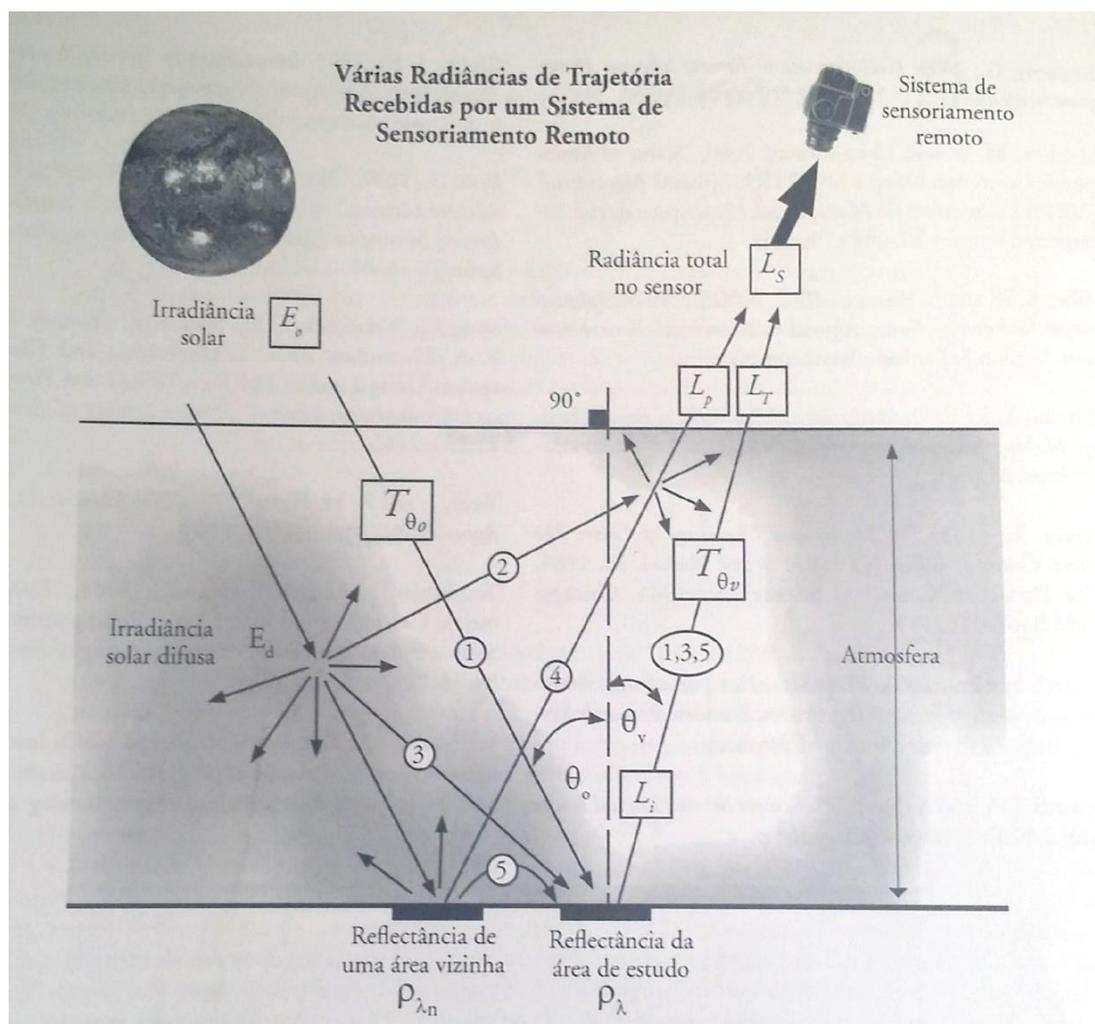


Figura 1 – Exemplificação das interferências da atmosfera no fluxo energético.
Fonte: Jensen, p. 61, 2009.

Seguindo a explicação de Jensen (2009) para a figura 1, por um lado as radiâncias (LT) das trajetórias 1, 3 e 5 contêm informações intrínsecas importantes sobre o alvo de interesse. Por outro lado, a radiância de trajetória (LP) das trajetórias 2 e 4 incluem irradiância solar difusa ou radiância de áreas vizinhas no terreno. Essa radiância de trajetória geralmente introduz ruído radiométrico indesejável nos dados de sensoriamento remoto e dificulta o processo de interpretação de imagens.

Entre as diversas interações na atmosfera, se tem os aerossóis que detêm de um papel essencial no balanço da radiação que adentra a atmosfera terrestre pela absorção ou por uma forma de espalhamento da energia solar, e desse modo afetando significativamente a expressão dos níveis de fotossíntese e proteína (Yan e Roy, 2014). Jensen (2009) lembra que diferentes fluxos de energia radiante derivadas de várias fontes podem penetrar no alvo e com isso introduzir ruído no processo de obtenção de dados pelo sensor.

No contexto da análise digital de dados obtidos remotamente, o pré-processamento da imagem é geralmente caracterizado por dois tipos de correção de dados: (1) pré-processamento radiométrico, no qual aborda as variações das intensidades dos píxeis (número digital, *DN* sigla em inglês); e (2) correção geométrica, no qual aborda os possíveis erros relativos as posições dos píxeis, devido principalmente as variações dos terrenos (topografia) e também a geometria do sensor (Agapiou et al., 2011). Hadjimitsis et al. (2009) afirma que o passo mais incerto na correção radiométrica é a remoção dos efeitos atmosféricos, Agapiou et al. (2011), acrescenta que a correção radiométrica é considerada uma técnica mais difícil de ser aplicada que a correção geométrica, pelo fato da distribuição e da intensidade dos efeitos atmosféricos frequentemente estarem distribuídos inadequadamente. A correção radiométrica é de suma importância e não podem ser negligenciadas no pré-processamento da imagem (Richards e Jia, 2005; Janzen, Fredeem e Weathe 2006; Themistocleus et al., 2013).

Na literatura é possível encontrar diversas formas de correção para os efeitos causados pela atmosfera terrestre, como descrito por Hadjimitsis et al.(2009) os métodos vão desde os mais simples, exemplo *Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System* (LEDAPS) (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015b) e o *Geosud TOA reflectance* (Geosud, 2016) que fazem basicamente a conversão de número digital e a correção da reflectância do topo da atmosfera, e também os mais sofisticados, como por exemplo o 6S, 6SV, FLAASH e *dark object*, que se utilizam de recursos mais complexos para a realização da correção da atmosfera.

Segundo Hadjimitsis et al. (2004), os algoritmos/métodos podem ser classificados em duas categorias:

- Categoria A: Correção Absoluta (correções que levam a reflectância da superfície). Esta categoria pode ser subdividida em duas subcategorias: correções

atmosféricas baseadas nas imagens (por exemplo, *Darkest Pixel*, método de matriz de covariância) e correções que utilizam de dados independentes da condição óptica da atmosfera (incluindo medições *in situ* ou registros históricos) utilizando algoritmos baseados em dados físicos;

- Categoria B: Correção relativa (correções que não produzem valores para a reflectância da superfície).

Segundo a Geosud (2016) o que é feito como início do pós-processamento da imagem é a conversão de número digital (DN) para reflectância de Topo da Atmosfera (TOA), também conhecida como reflectância aparente. Segundo Schmidt et al. (2013) o software *Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System* (LEDAPS) produz a reflectância do topo da atmosfera (TOA) dos sensores *Landsat Thematic Mapper* (TM) e *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+) a partir do valor numérico digital (DN) nível 1 e aplica métodos de correção atmosférica para gerar um produto de reflectância da superfície. Enquanto que o *Landsat 8 User Guide* (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015a) descreve como pode ser realizada a conversão e a correção do DN para reflectância do topo da atmosfera. A metodologia GEOSUD TOA, não é mencionada na literatura.

3.2 LANDSAT ECOSYSTEM DISTURBANCE ADAPTATIVE PROCESSING SYSTEM (*sensu* SCHMIDT et al., 2013)

O LEDAPS é escrito em seis módulos (Figura 2) para executar os seguintes passos chave:

- 1 Converter de DN para TOA reflectância;
- 2 Detectar pixels de nuvem baseado no TOA reflectância;
- 3 Correção para reflectância da superfície a partir do TOA reflectância e dados auxiliares.

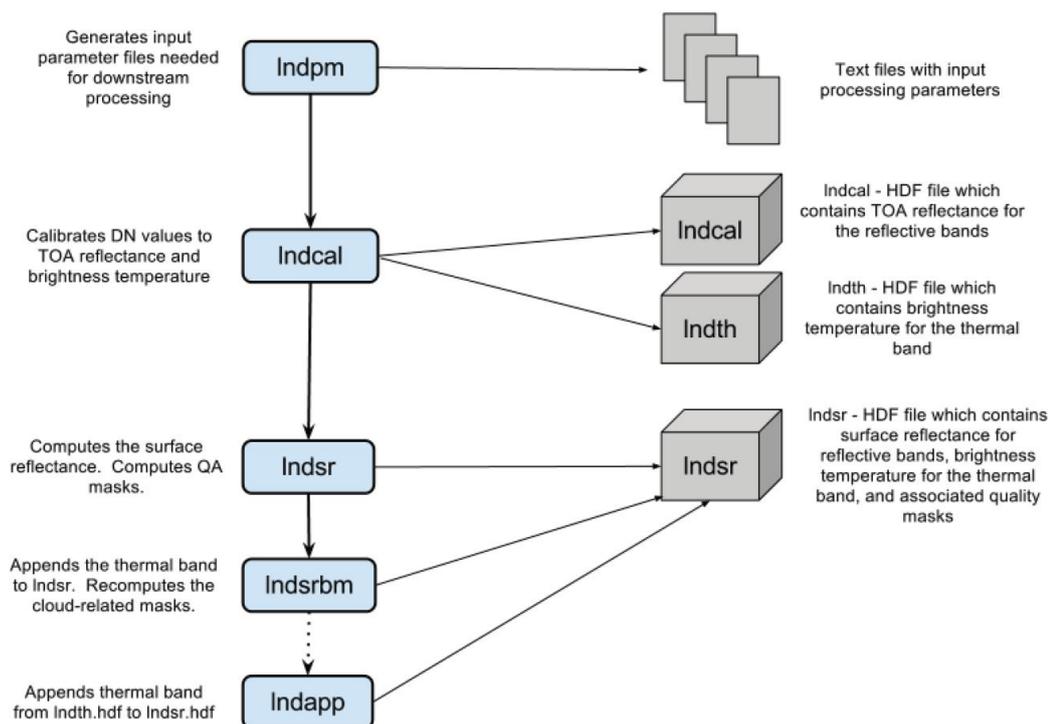


Figura 2 - Fluxograma demonstrativo de como o algoritmo trabalha
 Fonte: Schmidt et al. (2013).

O LEDAPS é utilizado para a correção da reflectância do topo da atmosfera por Chander et al., 2009; Gray e Song, 2012; Ju et al., 2012; Ke et al., 2015.

3.3 LANDSAT USERGUIDE (*sensu* UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY 2015a)

Como primeiro passo para a correção da reflectância do topo da atmosfera seguindo o United States Geological Survey (2015a), é necessário dimensionar os dados utilizando a Equação 1:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Onde:

L_λ = Radiância espectral ($W/(m^2 * sr * \mu m)$)

M_L = Fator escalar de multiplicação por banda (RADIANCE_MULT_BAND_n disponível na metadata).

A_L = Fator escalar de soma por banda (RADIANCE_ADD_BAND_n disponível na metadata).

Q_{cal} = Valor do píxel nível 1 em DN.

Os dados são convertidos para radiância espectral, passando de valores de 32 bits para 16 bits, compondo um produto conhecido por ser nível 1.

O segundo passo é similar com a conversão para radiância, Equação 2. Os valores de nível 1 em 16-bits podem ser convertidos para reflectância do topo da atmosfera (TOA):

$$\rho\lambda' = M_\rho * Q_{cal} + A_\rho \quad (2)$$

No qual:

$\rho\lambda'$ = reflectância espectral planetária do topo da atmosfera, sem correção do ângulo solar.

M_ρ = Fator escalar de multiplicação por banda (REFLECTANCE_MULT_BAND_n disponível na metadata).

A_ρ = Fator escalar de soma por banda (REFLECTANCE_ADD_BAND_n disponível na metadata).

Q_{cal} = Valor do píxel nível 1 em DN.

É possível observar que $\rho\lambda'$ não é a verdadeira TOA reflectância, devido ao fato de não conter a correção para o ângulo de elevação solar. Este fator de correção é executado na Equação 3:

$$\rho_\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta)} \quad (3)$$

Aonde temos:

ρ_λ = Reflectância do Topo da Atmosfera;

θ = Elevação do ângulo solar (disponível na metadata ou calculado).

Basicamente todas as correções de reflectância do topo da atmosfera encontradas utilizam como base as fórmulas matemáticas desenvolvidas exclusivamente para o Landsat 8 (Schmidt et al. 2013; Geosud, 2016).

3.1 APLICAÇÃO APRESENTADA PELA LITERATURA

A aplicação da correção da reflectância do topo da atmosfera está sempre associada com a correção da reflectância da superfície terrestre, é possível encontrar artigos que tratam sobre a umidade do solo com diferentes correções, por exemplo, Amani et al. (2016) que se utiliza da metodologia FLAASH para realizar a correção tanto da reflectância do topo da atmosfera quanto da reflectância da superfície para realizar o estudo da umidade do solo. Fu & Weng (2016a) e Fu & Weng (2016b), se utilizaram do *Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System – LEDAPS*, para corrigir a cena e com isso pré-processar a imagem para a realização de estudos sobre a urbanização de região metropolitana de Atlanta – Georgia. Luo et al. (2015), fez um estudo no qual o objetivo era conseguir uma melhoria no estudo de algoritmo para monitoramento de material particulado PM_{10} em área urbana, para a correção da reflectância do topo da atmosfera foi utilizado uma fórmula (Equação 4), próxima a apresentada no *User Guide* (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY 2015a)

$$\rho_{TOA(\lambda)}^{1/4} \frac{\pi L_{TOA(\lambda)} d^2}{ESUN_{\lambda \mu_s}} \quad (4)$$

Temos que:

$\rho_{\text{TOA}(\lambda)}^{1/4}$ = reflectância do topo da atmosfera.

$L_{\text{TOA}(\lambda)}$ = radiância absorvida pelo satélite.

D = distância astronômica entre o Sol e a Terra.

$ESUN_{\lambda}$ = radiância solar no topo da atmosfera.

μ_s = cosseno do ângulo solar zenital.

Roy et al. (2016) também utilizou a Equação 4 para realizar a correção da reflectância do topo da atmosfera. Peña & Brenning (2015) e Dube & Mutanga (2015) utilizaram de mecanismos mais complexos para a realização da correção da atmosfera como *Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes - FLAASH*. Ke et al. (2015), Peña & Brenning (2015) e Dube & Mutanga (2015), Roy et al. (2016), utilizaram índices de vegetação para atingir seus objetivos. Ke et al. (2015) aplicou três diferentes correções FLAASH, 6SV e *Dark Object Subtraction - DOS* e posteriormente o NDVI para validar os resultados. Ju et al. (2012) explica que metodologias de correção atmosférica mesmo que com os mesmos dados de radiação, mas com diferença entre parâmetros atmosféricos, podem produzir diferentes resultados para a estimativa da reflectância da superfície, assim como para o NDVI.

Zhu et al. (2016) apenas menciona a realização da correção de reflectância para o topo da atmosfera, acrescentando que os índices vegetais (VI's) como *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* e *Enhanced Vegetation Index (EVI)*, muito utilizados para analisar as tendências das alterações da vegetação, devido à alta correlação com a quantidade de clorofila presente na planta, área foliar e a capacidade de fotossíntese. Slonecker, Jones & Pellerin (2016), desenvolveram um trabalho com relação a matéria orgânica colorida dissolvida na água, utilizando do LEDAPS para corrigir a cena.

4 METODOLOGIA

Para a execução do trabalho foram selecionadas imagens de forma que as mesmas estejam espalhadas no globo, sendo dispostas em Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste (Tabela 1 e Figura 3) englobando todas as possíveis diferenças de paisagem, clima e composição atmosférica. Todas as imagens foram baixadas do website *EarthExplorer* (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015b), sendo selecionadas as opções de imagem bruta e imagem com a reflectância para o topo da atmosfera já feita pelo *Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System* (LEDAPS). As imagens selecionadas não poderiam possuir uma cobertura de nuvens maior que 1% e que tivessem sido obtidas durante o dia.

Tabela 1 - Locais onde imagens foram adquiridas e suas respectivas datas

Identificação da cena	Localização	Data	Hora	Órbita	Linha
LC80370362014220LGN00	Arizona - EUA	08/08/2014	18:03:38.7885306Z	037	036
LC80370362015255LGN00	Arizona - EUA	12/09/2015	18:03:31.4163589Z	037	036
LC80370362015287LGN00	Arizona - EUA	14/10/2015	18:03:36.9993579Z	037	036
LC80370362016146LGN00	Arizona - EUA	25/05/2016	18:03:14.5347400Z	037	036
LC80370362016194LGN00	Arizona - EUA	12/07/2016	18:03:33.000640Z	037	036
LC81300312014216LGN00	Mongólia - China	04/08/2014	03:36:22.9677991Z	130	031
LC81300312015283LGN00	Mongólia - China	10/10/2015	03:36:23.9010711Z	130	031
LC81300312015299LGN00	Mongólia - China	26/10/2015	03:36:28.4125169Z	130	031
LC81300312016078LGN00	Mongólia - China	18/03/2016	03:36:11.4101499Z	130	031
LC81300312016126LGN00	Mongólia - China	05/05/2016	03:35:59.7478010Z	130	031
LC82230772014195LGN00	Paraná - Brasil	14/07/2014	13:29:20.8814754Z	223	077
LC82230772015214LGN00	Paraná - Brasil	02/08/2015	13:29:05.9894161Z	233	077
LC82230772015294LGN00	Paraná - Brasil	21/10/2015	13:29:32.3013362Z	223	077
LC82230772016121LGN00	Paraná - Brasil	30/04/2016	13:29:04.6664570Z	223	077
LC82230772016185LGN00	Paraná - Brasil	03/07/2016	13:29:20.8000670Z	223	077

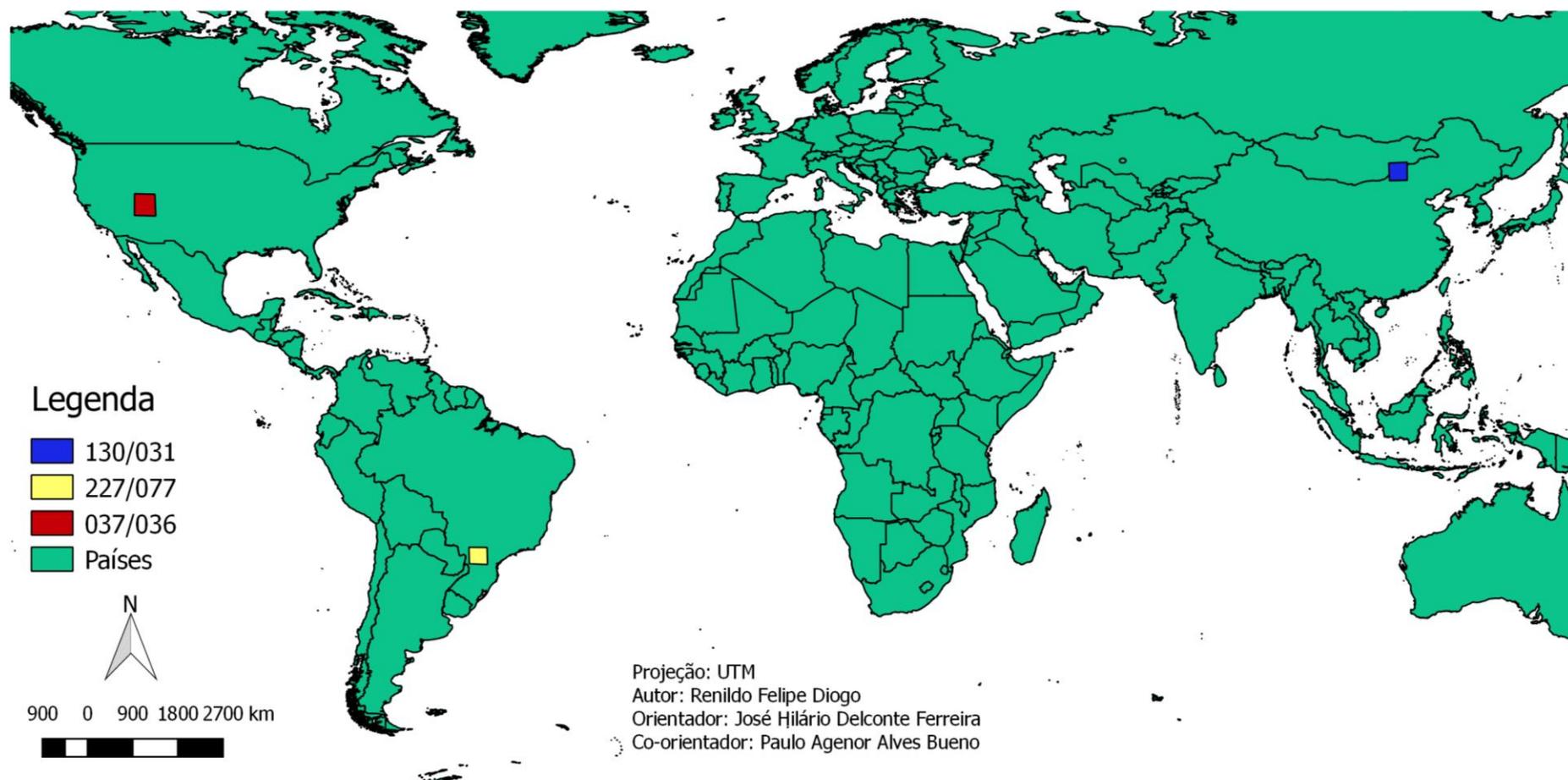


Figura 3 – Mapa de localização das cenas utilizadas no estudo.

Foram executadas diferentes metodologias de correção de reflectância para o topo da atmosfera, estas a extensão Geosud TOA do QGIS, na versão do QGIS 2.8.3. Em seguida os dados foram exportados para a extensão GEOTiff, e importados para o software Spring 5.3. A segunda correção atmosférica, foi feita seguindo o UserGuider (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015) no software Spring 5.3. Com o objetivo de tornar os dados comparáveis, foi aplicado o índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), Equação 5, em cada imagem tratada com as diferentes metodologias de correção da reflectância do topo da atmosfera, assim como na imagem bruta para fins de controle.

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \quad (5)$$

No qual:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*;

NIR = Infravermelho próximo;

Red = Vermelho.

Para determinar se foram gerados resultados comparáveis, foi utilizado o método estatístico de correlação de Pearson do próprio software Spring. A utilização de estatística descritiva pela definição apresentada por Falco (2008) é justificada pelo fato de abranger coleta, organização, classificação, apresentação, interpretação e análise de dados referentes ao fenômeno através de gráficos e tabelas, além de calcular medidas que permitam descrever o fenômeno.

O coeficiente de correlação linear pode ser apresentado como uma medida de correlação, pois tem como objetivo indicar o nível de intensidade que ocorre na correlação entre as variáveis (Correa, 2003), computando e imprimindo a matriz de coeficiente de correlação r de Pearson e covariâncias para todos os pares de variáveis em uma lista ou para cada par de variáveis, como evidencia a Equação 6:

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum (x_i)(y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] * [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (6)$$

No qual:

r = coeficiente de Pearson

n = número de observações

x_i = variável independente

y_i = variável dependente

O valor do coeficiente de correlação r tende a variar de -1 a +1, ou seja, está limitado no intervalo [-1, +1] (Correa, 2003). Quando r possui valor +1 há correlação perfeita positiva entre as variáveis. Quando r é igual a -1 há uma correlação perfeita negativa entre as variáveis, e quando r for zero não há correlação entre as variáveis, ou ainda, a correlação não é linear, caso exista. No software Spring o coeficiente de correlação é calculado conforme a Equação 7 (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, 2016):

$$r = \frac{\Lambda_{ab}}{\sqrt{\sigma_a^2 \sigma_b^2}} \quad (7)$$

O cálculo do coeficiente de correlação é explicado como a divisão do valor de covariância pela raiz quadrada do produto dos desvios dos conjuntos de dados **a** e **b** (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, 2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada cena foi individualmente pré-processada com cada uma das três metodologias para correção da reflectância do topo da atmosfera, posteriormente foi aplicado o índice de vegetação NDVI (Tabela 2), as siglas para NDVI_16, NDVI_ALG, NDVI_TOA e NDVI_OLI, significam Geosud Toa 16 bits, metodologia do *User Guide* do Landsat 8 OLI, Toa feito pelo LEDAPS e imagem bruta sem tratamento, respectivamente.

Tabela 2 – Resultados de Máximo, Mínimo, Média e Mediana de todas as cenas em que o índice de vegetação NDVI foi aplicado, onde o índice varia de -1 a +1.

ANO	CENA (órbita_linha_dia)	METODOLOGIA	MÁXIMO	MÍNIMO	Média	Mediana
2016	223_077_185	NDVI_16	0,929	-1,000	0,334	0,333
		NDVI_ALG	3334,280	-624,003	0,333	0,331
		NDVI_TOA	3334,240	-623,988	0,333	0,331
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2014	223_077_195	NDVI_16	0,936	-1,000	0,403	0,493
		NDVI_ALG	250,999	-1249,030	0,402	0,491
		NDVI_TOA	251,000	-1249,020	0,402	0,491
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2015	223_077_294	NDVI_16	0,876	-0,878	0,320	0,299
		NDVI_ALG	369,370	-345,827	0,319	0,298
		NDVI_TOA	369,369	-345,826	0,319	0,298
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2015	223_077_214	NDVI_16	0,925	-0,925	0,386	0,466
		NDVI_ALG	589,237	-9999,210	0,384	0,465
		NDVI_TOA	589,245	-9995,410	0,384	0,465
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2016	223_077_121	NDVI_16	0,942	-1,000	0,455	0,610
		NDVI_ALG	201,000	-262,158	0,454	0,608
		NDVI_TOA	201,001	-262,159	0,454	0,608
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2016	037_036_146	NDVI_16	0,931	-0,750	0,181	0,189
		NDVI_ALG	4998,830	-31,212	0,180	0,188
		NDVI_TOA	4998,680	-31,212	0,180	0,188
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2016	037_036_194	NDVI_16	0,976	-1,000	0,179	0,174
		NDVI_ALG	525,317	-48,847	0,179	0,174
		NDVI_TOA	525,317	-48,847	0,179	0,174
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2014	037_036_220	NDVI_16	0,963	-1,000	0,185	0,189

Continua

ANO	CENA (órbita_linha_dia)	METODOLOGIA	MÁXIMO	MÍNIMO	Média	Mediana
		NDVI_ALG	3,40282 x 10 ³⁸	-3,40282 x 10 ³⁸	0,000	0,000
		NDVI_TOA	157,731	-122,951	0,184	0,189
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2015	037_036_287	NDVI_16	0,965	-1,000	0,200	0,202
		NDVI_ALG	715,292	-332,332	0,199	0,202
		NDVI_TOA	715,285	-332,332	0,199	0,202
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2015	037_036_255	NDVI_16	0,867	-1,000	0,200	0,206
		NDVI_ALG	1999,020	-667,673	0,199	0,205
		NDVI_TOA	1999,000	-667,667	0,199	0,205
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2015	130_031_283	NDVI_16	0,916	-0,936	0,079	0,100
		NDVI_ALG	10004,100	-383,611	0,079	0,099
		NDVI_TOA	9998,380	383,613	0,083	0,102
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2015	130_031_299	NDVI_16	0,936	-0,921	0,070	0,092
		NDVI_ALG	1665,630	-693,995	0,070	0,092
		NDVI_TOA	1665,630	-623,998	0,697	0,092
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2014	130_031_216	NDVI_16	0,865	-0,911	0,091	0,091
		NDVI_ALG	10000,900	-10002,900	-2,131	-2,524
		NDVI_TOA	14,337	-12,312	0,091	0,091
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2016	130_031_126	NDVI_16	0,808	-0,789	0,068	0,087
		NDVI_ALG	72,428	-23,883	0,068	0,087
		NDVI_TOA	72,429	-23,883	0,068	0,087
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000
2016	130_031_078	NDVI_16	0,784	-0,714	0,057	0,075
		NDVI_ALG	71,993	-148,059	0,057	0,075
		NDVI_TOA	71,993	-148,059	0,057	0,075
		NDVI_OLI	1,000	-1,000	0,000	0,000

Alguns resultados apresentados estão fora do padrão do índice NDVI, que deveria apresentar uma variação de -1 a +1. As metodologias NDVI_Alg e NDVI_TOA, a maior discrepância entre os valores ocorreu nas cenas do LEDAPS, assim como também no algoritmo elaborado contendo as fórmulas matemáticas do *User Guide* (U. S. Geological Survey, 2015b), apresentaram valores de NDVI acima de +1 e abaixo de -1. Contudo, os valores de média e mediana ficaram dentro do padrão do índice, o que demonstra que os valores que aparecem como máximo e mínimo, fora de padrão, não representam uma parcela considerável dos resultados da cena como um todo.

A existência de números fora da curva normal do NDVI, isto é, valores acima de +1 e abaixo de -1, deve-se ao fato de que no momento da aplicação da correção

da reflectância do topo da atmosférica, são gerados valores espelhados próximos, i. e., valores muito próximos e opostos podem gerar valores muito altos. Para demonstrar tal possibilidade, tomemos o seguinte exemplo de resolução do índice NDVI da Equação 5, com o NIR = -50,999999 e Red = 50,999988:

$$NDVI = \frac{(-50,999999-50,999988)}{(-50,999999+50,999988)} \rightarrow NDVI = \frac{-101,999987}{-0,000011} \therefore NDVI = 9.272.726 \quad (8)$$

Portanto os valores de NDVI se mostram totalmente dependentes dos resultados entregues pelas correções de reflectância do topo da atmosfera. Sendo possível demonstrar que caso os valores forem próximos, o resultado do NDVI não fica fora da curva normal. Em adição a isso, os valores de reflectância não poderiam estar negativos, pois teoricamente não poderia existir valores de reflectância negativos, que aparecem em decorrência da aplicação da correção atmosférica realizada. Agapiou et al. (2011) demonstra em seus resultados valores de reflectância para 4 bandas. Na Tabela 3 é possível visualizar que os valores de reflectância sempre estão iguais ou acima de zero, pois o sensor captou ou não alguma energia no local amostrado:

Tabela 3 – Valores de reflectância para os sensores das bandas 1 (verde), banda 2 (vermelha), banda 3 (azul) e banda 4 (infravermelho próximo-NIR), todos os valores envolvendo reflectância são maiores que 0, os valores de reflectância são para água.

Campanha	Banda 1 (%)	Banda 2 (%)	Banda 3 (%)	Banda 4 (%)
1	1.08	2.20	0.70	0.05
2	1.48	2.89	1.08	0.09
3	1.76	3.70	1.39	0.10
4	1.35	3.12	1.14	0.09
5	1.58	3.58	1.28	0.11
6	1.72	3.53	1.24	0.10
7	1.56	3.22	1.10	0.11
8	2.73	4.88	1.52	0.12
9	1.61	2.95	0.80	0.05
10	1.57	2.86	0.82	0.06
11	1.49	2.82	0.78	0.07
12	2.15	3.87	1.17	0.10
13	1.78	3.31	1.05	0.11
14	0.96	1.88	0.54	0.05
15	1.56	2.70	0.93	0.07
16	2.36	3.90	1.62	0.13
Média	1.67	3.21	1.07	0.09
Max.	2.73	4.88	1.62	0.13
Min.	0.96	1.88	0.54	0.05

Fonte: adaptado de Agapiou et al. (2011)

A fim de determinar a relação entre cada uma das metodologias e se estas são de certa forma comparáveis, foi utilizada a ferramenta de **matriz de covariância** do software Spring. O grau de correlação foi determinado conforme Tabela 4, pois todos os resultados para o índice NDVI deveriam ter grau de correlação 1, porque teoricamente todos partem da mesma metodologia, A única exceção se daria ao NDVI_OLI, levando em consideração que o mesmo é referente a imagem sem tratamento, ou seja, correlacionar-se com a imagem sem tratamento demonstraria que a imagem não foi tratada para a reflectância do topo da atmosfera.

Tabela 4 – Valores de ρ correspondentes a matriz de correlação e a interpretação de cada valor.

Valor de ρ (+ ou -)	Interpretação
0,00 – 0,29	Uma correlação muito fraca
0,30 – 0,49	Uma correlação fraca
0,50 - 0,69	Uma correlação média
0,70 – 0,89	Uma correlação forte
0,90 – 1,00	Uma correlação muito forte

FONTE: adaptado de Correa (2003)

Os resultados obtidos por meio desta ferramenta para a cena 223-077 estão dispostos nas tabelas 5 a 9, a cena 037-036 nas tabelas 10 a 14 e a cena 130-031 nas tabelas 15 a 19. Os índices que se correlacionam foram organizados para que seja evidenciada a correlação entre pares, conforme tabelas de 20 a 25.

Tabela 5 – Dados de correlação da cena de órbita 223 e linha 077 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 14 de Julho de 2014

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,937002	0,611457	0,611458
NDVI_16	0,937002	1	0,651301	0,651302
NDVI_ALG	0,611457	0,651301	1	1
NDVI_TOA	0,611458	0,651302	1	1

Tabela 6 – Dados de correlação da cena de órbita 223 e linha 077 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 20 de novembro de 2016

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,993697	0,843053	0,843053
NDVI_16	0,993697	1	0,846924	0,846925

NDVI_ALG	0,843053	0,846924	1	1
NDVI_TOA	0,843053	0,846925	1	1

Tabela 7 – Dados de correlação da cena de órbita 223 e linha 077 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 26 de outubro de 2016.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,943605	0,104359	0,104397
NDVI_16	0,943605	1	0,112199	0,11224
NDVI_ALG	0,104359	0,112199	1	1
NDVI_TOA	0,104397	0,11224	1	1

Tabela 8 – Dados de correlação da cena de órbita 223 e linha 077 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 30 de Abril de 2016.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,956778	0,917218	0,917218
NDVI_16	0,956778	1	0,956458	0,956458
NDVI_ALG	0,917218	0,956458	1	1
NDVI_TOA	0,917218	0,956458	1	1

223-077-121

Tabela 9 – Dados de correlação da cena de órbita 223 e linha 077 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 03 de Julho de 2016.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,954886	0,256632	0,256633
NDVI_16	0,954886	1	0,265385	0,265385
NDVI_ALG	0,256632	0,265385	1	1
NDVI_TOA	0,256633	0,265385	1	1

Tabela 10 – Dados de correlação da cena de órbita 037 e linha 036 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 25 de Maio de 2015.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,980447	0,132903	0,132906
NDVI_16	0,980447	1	0,138019	0,138022
NDVI_ALG	0,132903	0,138019	1	1
NDVI_TOA	0,132906	0,138022	1	1

Tabela 11 - Dados de correlação da cena de órbita 037 e linha 036 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 12 de Julho de 2016.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,981449	0,791271	0,791271
NDVI_16	0,981449	1	0,803059	0,803059

NDVI_ALG	0,791271	0,803059	1	1
NDVI_TOA	0,791271	0,803059	1	1

Tabela 12 - Dados de correlação da cena de órbita 037 e linha 036 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 08 de Agosto de 2014.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,957037	0,893705	0,893713
NDVI_16	0,957037	1	0,926048	0,926066
NDVI_ALG	0,893705	0,926048	1	0,999994
NDVI_TOA	0,893713	0,926066	0,999994	1

Tabela 13 - Dados de correlação da cena de órbita 037 e linha 036 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 14 de Outubro de 2016.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,939368	0,57435	0,574352
NDVI_16	0,939368	1	0,601985	0,601987
NDVI_ALG	0,57435	0,601985	1	1
NDVI_TOA	0,574352	0,601987	1	1

Tabela 14 - Dados de correlação da cena de órbita 037 e linha 036 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 12 de Setembro de 2015.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,958083	0,317775	0,317857
NDVI_16	0,958083	1	0,331107	0,331192
NDVI_ALG	0,317775	0,331107	1	0,999998
NDVI_TOA	0,317857	0,331192	0,999998	1

Tabela 15 - Dados de correlação da cena de órbita 130 e linha 031 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 10 de Outubro de 2015.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,9278	0,030732	0,014269
NDVI_16	0,9278	1	0,020615	0,001031
NDVI_ALG	0,030732	0,020615	1	0,999357
NDVI_TOA	0,014269	0,001031	0,999357	1

Tabela 16 - Dados de correlação da cena de órbita 130 e linha 031 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 26 de Outubro de 2015.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,915582	0,110131	0,11013
NDVI_16	0,915582	1	0,122102	0,122101

NDVI_ALG	0,110131	0,122102	1	1
NDVI_TOA	0,11013	0,122101	1	1

Tabela 17 - Dados de correlação da cena de órbita 130 e linha 031 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 18 de Março de 2016.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,920244	0,495168	0,495168
NDVI_16	0,920244	1	0,397358	0,397358
NDVI_ALG	0,495168	0,397358	1	1
NDVI_TOA	0,495168	0,397358	1	1

Tabela 18 - Dados de correlação da cena de órbita 130 e linha 031 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 05 de Maio de 2016.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,944105	0,885976	0,885976
NDVI_16	0,944105	1	0,84478	0,844779
NDVI_ALG	0,885976	0,84478	1	1
NDVI_TOA	0,885976	0,844779	1	1

Tabela 19 - Dados de correlação da cena de órbita 130 e linha 031 do satélite Landsat 8 OLI, com data de 04 de Agosto de 2014.

Matriz de Covariância: Amostra = amos1				
	NDVI_OLI	NDVI_16	NDVI_ALG	NDVI_TOA
NDVI_OLI	1	0,993799	0,993946	0,87695
NDVI_16	0,993799	1	0,994609	0,882255
NDVI_ALG	0,993946	0,994609	1	0,878851
NDVI_TOA	0,87695	0,882255	0,878851	1

Tabela 20 – Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_16 e NDVI_OLI

Correlação	NDVI_16 X NDVI_OLI	%
0,0 – 0,29	0	0
0,3 – 0,49	0	0
0,5 – 0,69	0	0
0,7 – 0,89	0	0
0,9 - 1	15	100

Tabela 21 - Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_Alg e NDVI_OLI

Correlação	NDVI_Alg X NDVI_OLI	%
0,0 – 0,29	5	34
0,3 – 0,49	2	13
0,5 – 0,69	2	13
0,7 – 0,89	4	27
0,9 – 1	2	13

Tabela 22 - Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_TOA e NDVI_OLI

Correlação	NDVI_TOA X NDVI_OLI	%
0,0 – 0,29	5	34
0,3 – 0,49	2	13

0,5 – 0,69	2	13
0,7 – 0,89	5	34
0,9 - 1	1	6

Tabela 23 - Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_16 e NDVI_Alg

Correlação	NDVI_16 X NDVI_Alg	%
0,0 – 0,29	5	34
0,3 – 0,49	2	13
0,5 – 0,69	2	13
0,7 – 0,89	3	20
0,9 - 1	3	20

Tabela 24 - Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_16 e NDVI_TOA

Correlação	NDVI_16 X NDVI_TOA	%
0,0 – 0,29	5	34
0,3 – 0,49	2	13
0,5 – 0,69	2	13
0,7 – 0,89	4	27
0,9 – 1	2	13

Tabela 25 - Número de ocorrências entre todas as correlações de todas as cenas entre os NDVI_Alg e NDVI_TOA

Correlação	NDVI_Alg X NDVI_TOA	%
0,0 – 0,29	0	0
0,3 – 0,49	0	0
0,5 – 0,69	0	0
0,7 – 0,89	1	6
0,9 - 1	14	94

Os resultados demonstram que existe uma correlação muito forte entre os NDVI_16/NDVI_OLI e NDVI_Alg/NDVI_TOA que possuem correlações de 0,9 a 1 em 100% e 94% dos casos, respectivamente. As correlações entre NDVI_Alg/NDVI_OLI, NDVI_TOA/NDVI_OLI, NDVI_16/NDVI_Alg e NDVI_16/NDVI_TOA obtiveram correlação de 0 a 0,29 em 34% dos casos, além de ficarem com correlação abaixo de 0,9 a 1 em 87%, 94%, 80% e 87% dos casos, respectivamente.

Segundo Agapiou et al. (2011), as cenas corrigidas, tendem a ter valores de NDVI diferentes àquelas sem correção, com cerca de 25% de diferença, ou seja, tendem a ter valores diferentes. Sendo assim, a correção proposta pela Geosud, NDVI_16, não apresentou nenhuma diferença significativa para a imagem sem correção. Portanto, sendo possível afirmar que não existiu uma correção, como apontado pela matriz de correlação com ρ de 0,9 a 1 em 100% dos casos.

Baseando-se nos resultados estatísticos obtidos, é possível afirmar que a não utilização da metodologia do GeoSud TOA para correção da reflectância do topo da atmosfera nos dados brutos e a utilização da mesma para correção é praticamente a mesma coisa. Portanto, sendo possível afirmar que a metodologia do Geosud TOA não se utiliza de um método apropriado para realizar a correção.

Em contrapartida aos valores do NDVI₁₆, as correções feitas seguindo as fórmulas propostas pela USGS, equações de 1 a 3, e a correção do LEDAPS, conseqüentemente houve alteração/correção dos valores de reflectância, pois os valores dificilmente se correlacionaram aos valores do NDVI da imagem bruta. Além do mais, os valores de NDVI_{Alg} e NDVI_{TOA} são correlacionáveis, o que significa que os resultados de um e do outro podem ser comparáveis.

O levantamento feito na literatura, onde alguns artigos foram utilizados para se obter a informação da utilização ou não de quais métodos são utilizados para a correção da reflectância do topo da atmosfera, tabela 26. Para a busca destes artigos foram utilizados palavras-chaves como TOA e Landsat 8.

Foram utilizados 31 artigos, distribuídos nas revistas na tabela 27, neste levantamento, os artigos utilizados deveriam aplicar algum método seguinte e gerar resultados válidos. Alguns autores utilizam 6S, 6SV, Dark Object ou FLAASH como um pré-processamento, ou seja, como uma correção completa da atmosfera, sem uma aplicação específica para a reflectância do topo da atmosfera. A maioria dos artigos é da revista *Remote Sensing of Environment*, onde foi possível encontrar dois problemas, a não apresentação do método de correção e um artigo que não deixou claro se havia feito TOA.

Tabela 26 – Revisão bibliográfica de artigos científicos que trabalharam com dados do Satélite Landsat 8 OLI.

Método	Número de Artigos
Não deixa claro se fez a correção	2
Utilizou da metodologia do <i>User Guide</i>	12
Não deixa claro qual método utilizou	7
LEDAPS	6
FLAASH – ENVI	4
6S	1

Tabela 27 – Distribuição dos artigos revisados e as revistas que estes artigos foram

publicados.

Revista	Não deixa claro se fez a correção	Utilizou da metodologia do <i>User Guide</i>	Não deixa claro qual método utilizou	LEDAPS	FLAASH-ENVI	6S
<i>Catena</i>	1					
<i>Remote Sensing of Environment</i>	1	9	6	4	2	1
<i>International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation</i>		1	1		2	
<i>Marine Pollution Bulletin</i>				1		
<i>ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing</i>		2				
<i>Atmospheric Research</i>		1				

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A existência de uma deficiência na correção da reflectância do topo da atmosfera pelo Geosud é uma realidade, devido os valores gerados pela correção não alcançarem uma correlação aceitável com as outras correções efetuadas, e a mesma ter-se correlacionado em um grau muito alto aos valores da imagem bruta. Devido à isso, qualquer imagem pré-processada com a metodologia proposta pela Geosud, não será comparável à qualquer outro estudo, devido a mesma não correlação com as outras metodologias de pré-processamento testadas. Os autores recomendam que o plugin Geosud Toa, seja evitado.

A metodologia proposta pelo LEDAPS é fiel às fórmulas de pré-processamento disponibilizadas para o satélite Landsat 8 OLI, sendo possível ser comparada àqueles estudos que possuem seu pré-processamento baseado somente nas fórmulas e vice-versa. Uma solução para os valores de reflectância negativos encontrados na utilização destes métodos seria a utilização de um filtro, substituindo previamente à aplicação do NDVI, os valores de reflectância negativos para zero.

Existem diversos métodos para correções atmosféricas completas, contudo estes métodos são empíricos, sendo dependentes do usuário/intérprete para realizar as correções, neste trabalho buscou-se trazer métodos automáticos e semi-automáticos. É importante frisar que, independentemente do método utilizado para a correção da reflectância da atmosfera, deve-se sempre expor qual método foi utilizado e se existiram alterações do usuário na utilização do método. Pois foi possível notar que nem todos os métodos geram resultados comparáveis. O que anularia qualquer comparação de estudos envolvendo índices/*index*.

REFERÊNCIAS

AGAPIOU, Athos; HADJIMITSIS, Diofantos; PAPOUTSA, Christiana; ALEXAKIS, Dimitrios; PAPADAVID, George. The Importance of Accounting for Atmospheric Effects in the Application of NDVI and Interpretation of Satellite Imagery Supporting Archaeological and Nea Paphos Sites in Cyprus. **Remote Sensing**. v. 3, n. 12, p. 2605-2629, dez. 2011.

AMANI, M.; PARSIAN, S.; MirMAZLOUMI, S. M.; AIENEH, O. Two new soil moisture indices based on the NIR-red triangle space of Landsat-8 data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 50, p. 176-186, abr. 2016. doi: 10.1016/j.jag.2016.03.018

CHANDER, Gyanesh; MARKHAM, Brian. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 41, n. 11, p. 2674-2677, nov. 2003.

CHANDER, Gyanesh; MARKHAM, Brian L.; HELDER, Dennis L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**. 113, p. 893-903, 2009. doi: 10.1016/j.rse.2009.01.007

CORREA, S. Probabilidade e estatística. **Belo Horizonte: PUC Minas Virtuais**, p. 116, PUC Minas: 2003.

DUBE, T.; MUTANGA, O. Investigating the robustness of the new Landsat-8 Operational Land Imager derived texture metrics in estimating plantation forest aboveground biomass in resource constrained areas. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 108, jun. 2015. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2015.06.002

FALCO, J. G. **Estatística aplicada**. Cuiabá: EdUFMT; Curitiba: UFPR, 2008.

FISHER, A.; FLOOD, N.; DANAHER, T. Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia. **Remote Sensing of Environment**, v. 175, p. 167–182, 2016.

FU, P.; WENG, Q. A time series analysis of urbanization induced land use and land cover change and its impact on land surface temperature with Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 175, p. 205–214, jan. 2016a.

FU, P.; WENG, Q. Consistent land surface temperature data generation from irregularly spaced Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 184, p. 175–187, jun. 2016b.

GEOSUD. **Plugin: Geosud Toa Reflectance**. Disponível em <<https://plugins.qgis.org/plugins/geosudRefToa/>>. Acesso em: nov. 2015.

GRAY, Josh; SONG, Conghe. Mapping leaf area index using spatial, spectral, and temporal information from multiple sensors. **Remote Sensing of Environment**. 119, 2012. doi: 10.1016/j.rse.2011.12.016

GODINHO, S.; GUIOMAR, N.; GIL, A. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Using a stochastic gradient boosting algorithm to analyse the effectiveness of Landsat 8 data for montado land cover mapping : Application in southern Portugal. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 49, p. 151–162, 2016.1

HADJIMITSIS, D. G.; CLAYTON, C. R. I.; RETALIS, A. The Use of Selected Pseudo-invariant targets for the Application of Atmospheric Correction in Multi-temporal Studies Using Satellite Remotely Sensed Imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 11, p. 192-200, jan. 2009.

HADJIMITSIS, D. G.; CLAYTON, C. R. I.; RETALIS, A. On the darkest pixel atmospheric correction algorithm: A revised procedure applied over satellite remotely sensed images intended for environmental applications. v. 5239, p. 464–471, 2004.

HOLDEN, C. E.; WOODCOCK, C. E. An analysis of Landsat 7 and Landsat 8 underflight data and the implications for time series investigations. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 16–36, 2015.

HOUBORG, R. et al. Joint leaf chlorophyll content and leaf area index retrieval from Landsat data using a regularized model inversion system (REGFLEC). **Remote Sensing of Environment**, v. 159, p. 203–221, 2015.

HOUBORG, R.; MCCABE, M. F.; GAO, F. A Spatio-Temporal Enhancement Method for medium resolution LAI (STEM-LAI). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 47, p. 15–29, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, Estatísticas. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/estatistica.html>> Acesso em: 20 de ago. 2016.

JANZEN, D. T.; FREDEEM, A. L.; WHEATE, R. D. Radiometric Correction Techniques and Accuracy Assessment for Landsat TM Data in Remote Forested Regions. **Canadian Journal of Remote Sensing**. v. 32, n. 5, p. 330-340, 2006.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2 ed. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JU, J.; ROY, D. P.; VERMOTE, E.; MASEK, J.; KOVALSKYY, V. Continental-scale validation of MODIS-based and LEDAPS Landsat ETM+ atmospheric correction methods. **Remote Sensing of Environment**. 122, 2012. doi: 10.1016/j.rse.2011.12.025

KE, Y.; IM, J.; LEE, J.; GONG, H.; RYU, Y. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. **Remote Sensing of Environment**. 164, 298-313, 2015. doi: 10.1016/j.rse.2015.04.004

LEVIN, N.; PHINN, S. Illuminating the capabilities of Landsat 8 for mapping night lights. **Remote Sensing of Environment**, v. 182, p. 27–38, 2016.

LUO, N.; WONG, M. S.; ZHAO, W.; YAN, X.; XIAO, F. Improved aerosol retrieval algorithm using Landsat images and its application for PM10 monitoring over urban areas. **Atmospheric Research**, v. 153, p. 264–275, 2015.

MARKHAM, B. et al. Landsat-8 operational land imager radiometric calibration and stability. **Remote Sensing**, v. 6, n. 12, p. 12275–12308, 2014.

MISHRA, N. et al. Radiometric cross calibration of landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and landsat 7 enhanced thematic mapper plus (ETM+). **Remote Sensing**, v. 6, n. 12, p. 12619–12638, 2014.

MISHRA, N. et al. Remote Sensing of Environment Continuous calibration improvement in solar reflective bands : Landsat 5 through Landsat 8. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 7–15, 2016.

MUELLER, N. et al. Water observations from space: Mapping surface water from 25years of Landsat imagery across Australia. **Remote Sensing of Environment**, v. 174, p. 341–352, 2016.

OKIN, G. S.; GU, J. The impact of atmospheric conditions and instrument noise on atmospheric correction and spectral mixture analysis of multispectral imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 164, p. 130–141, 2015.

PEÑA, M. A.; BRENNING, A.; Assessing fruit-tree crop classification from Landsat-8 time series for the Maipo Valley, Chile. **Remote Sensing of Environment**. v. 171, p. 234-244, nov. 2015. doi.: 10.1016/j.rse.2015.10.029

RICHARDS, John A.; JIA, Xiuping. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. 4 ed. Berlin: Springer-Verlag, 2005.

ROY, D. P.; KOVALSKY, V.; ZHANG, H. K.; VERMOTE, E. F.; YAN, L.; KUMAR, S. S.; EGOROV, A. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 57-70, nov. 2016.

SENAY, G. B. et al. Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 171–185, 2015.

SCHMIDT, Gail; JENKERSON, Calli; MASEK, Jeffrey; VERMOTE, Eric; GAO, Feng. Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS) Algorithm Description. **United States Geological Survey**. p. 1-27, 2013. Disponível em < <http://pubs.usgs.gov/of/2013/1057/>>

SCHULMANN, T.; KATURJI, M.; ZAWAR-REZA, P. Seeing through shadow: Modelling surface irradiance for topographic correction of Landsat ETM+ data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 99, p. 14–24, 2015.

SLONECKER, E. T.; JONES, D. K.; PELLERIN, B. A. The new Landsat 8 potential for remote sensing of colored dissolved organic matter (CDOM). **Marine Pollution Bulletin**, v. 107, n. 2, p. 518–527, 2015.

TARANTINO, C. et al. Detection of changes in semi-natural grasslands by cross correlation analysis with WorldView-2 images and new Landsat 8 data. **Remote Sensing of Environment**, v. 175, p. 65–72, 2016.

THEMISTOCLEOUS, K.; HADJIMITSIS, D. G. Development of an image based integrated method for determining and mapping aerosol optical thickness (AOT) over urban areas using the darkest pixel atmospheric correction method, RT equation and GIS: A case study of the Limassol area in Cyprus. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 86, p. 1–10, 2013.

TULBURE, M. G. et al. Remote Sensing of Environment Surface water extent dynamics from three decades of seasonally continuous Landsat time series at subcontinental scale in a semi-arid region. **Remote Sensing of Environment**, v. 178, p. 142–157, 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. 2015a. Disponível em <<http://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>> Acesso em set. 2015

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **EarthExplorer**. 2015b. Disponível em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: set. 2015.

VANHELLEMONT, Q.; RUDDICK, K. Advantages of high quality SWIR bands for ocean colour processing: Examples from Landsat-8. **Remote Sensing of Environment**, v. 161, p. 89–106, 2015.

VERMOTE, E. et al. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 46–56, 2015.

VUOLO, F.; MATTIUZZI, M.; ATZBERGER, C. Comparison of the Landsat Surface Reflectance Climate Data Record (CDR) and manually atmospherically corrected data in a semi-arid European study area. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 42, p. 1–10, 2015.

WANG, X. et al. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**, v. 137, p. 256–268, 2016a.

WANG, Z. et al. Remote Sensing of Environment Early spring post-fire snow albedo dynamics in high latitude boreal forests using Landsat-8 OLI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 71–83, 2016b.

XING, Q.; HU, C. Remote Sensing of Environment Mapping macroalgal blooms in the Yellow Sea and East China Sea using HJ-1 and Landsat data : Application of a virtual baseline reflectance height technique. **Remote Sensing of Environment**, v. 178, p. 113–126, 2016.

YAN, L.; ROY, D. P. Remote Sensing of Environment Automated crop field extraction from multi-temporal Web Enabled Landsat Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 144, p. 42–64, 2014.

ZHU, Z.; YINGCHUN, F.; WOODCOCK, C. E.; OLOFSSON, P.; VOGELMANN, J. E., HOLDEN, C.; WANG, M.; DAI, S.; YU, Y. Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7 and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000-2014). **Remote Sensing of Environment**. v. 185, p. 243-257, nov. 2016.