

## Distribuição espacial e temporal de nuvens e sombras na Região Amazônica: Uma análise a partir dos metadados do produto MOD13A2

Nilson Clementino Ferreira<sup>1,2</sup>  
Laerte Guimarães Ferreira<sup>2</sup>  
Fábio Carneiro Lobo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – CEFETGO  
Rua 75, no 46, Centro - 74055-110 - Goiânia - GO, Brasil  
ncferreira@brturbo.com, geofcloblo@hotmail.com

<sup>2</sup> Lab. De Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG  
Instituto de Estudos Sócio-Ambientais – IESA  
Universidade Federal de Goiás – UFG  
Campus Samambaia – Caixa Postal 131  
Goiânia, GO, 74.001-970  
laerte@iesa.ufg.br - <http://www.ufg.br/lapig>

**Abstract.** The extensive and persistent occurrence of clouds and associated shadows over the Amazon basin are the major constraints on the use of optical orbital remote sensing data for the systematic and operational monitoring of its vegetative cover. In this study, the temporal and spatial distribution of clouds and shadows over the entire Amazon region were assessed through the analysis of two full hydrologic years of the quality assurance layer (metadata) which accompanies the MOD13A2 product. Our results, although preliminary and not conclusive, indicate that the period from June through September is the most appropriate regarding the use of visible and NIR remote sensing data. On the hand, the most adverse atmospheric conditions were found for the period between November and March, which should be avoided regarding passive orbital observations.

**Palavras-chave:** remote sensing of tropical areas, clouds, change detection, sensoriamento remoto de áreas tropicais, nuvens, detecção de mudanças.

### 1. Introdução

Neblina, fumaça, poeira e nuvens, devido as suas características físicas, são obstáculos muitas vezes intransponíveis para a radiação eletromagnética nas regiões do visível e infravermelho próximo. Tais condições são particularmente prejudiciais para o monitoramento de regiões tropicais através do sensoriamento remoto óptico passivo.

Quanto aos aerossóis e gases em geral, os efeitos destes sobre a radiação eletromagnética podem ser minimizados, com relativa facilidade e eficiência, através do uso de modelos de transferência radiativa (Vermote et al., 1997). Por outro lado, a presença de nuvens não pode ser eliminada ou minimizada através de algoritmos.

Em função da localização geográfica, presença de grande quantidade de biomassa e presença de redes hidrográficas extremamente densas, as regiões que contém florestas tropicais apresentam altas taxas de evaporação e evapotranspiração e conseqüentemente elevada condensação de vapores d'água na atmosfera. Assim sendo, essas regiões apresentam grandes quantidades de nuvens na maior parte do ano. Especificamente em relação a Amazônia Legal, a cobertura de nuvens é uma questão a ser considerada em qualquer trabalho de sensoriamento remoto óptico passivo, e freqüentemente implica na descontinuidade temporal na obtenção de dados .

Em fato, para estas regiões, o monitoramento orbital passivo, de forma sistemática e operacional, só é possível a partir do uso de sofisticados algoritmos para a detecção de pixels contaminados por nuvens, os quais por sua vez são mascarados (i.e. eliminados) no processo de interpretação e análise dos dados.

Entre estes algoritmos, destacam-se aqueles desenvolvidos pelo grupo de ciências atmosféricas do sensor MODIS, os quais, além da máscara de nuvens, também geram informações quanto as propriedades do topo das nuvens (temperatura, pressão e emissividade efetiva), fase termodinâmica das nuvens, e parâmetros ópticos e microfísicos de nuvens (espessura óptica, raio efetivo de partículas) (Platnick et al., 2003). Uma característica importante destes algoritmos, é que os mesmos foram concebidos para operar sobre todos os ecossistemas do planeta, sob uma grande variedade de condições atmosféricas.

Em relação à máscara de nuvens produzida por estes algoritmos, esta utiliza uma variedade de testes de detecção de nuvens que indica o nível de confiança com que o sensor MODIS está observando uma área com o céu limpo. A máscara de nuvens é produzida globalmente dia e noite, com uma resolução espacial de 1 km, utilizando 20 das 36 bandas espectrais do MODIS, visando assim maximizar a confiabilidade da detecção de nuvens.

Como a cobertura de nuvens pode ocupar um pixel todo ou somente parte dele, o algoritmo foi desenvolvido para permitir a verificação da variação de confiança de que o pixel esteja com céu limpo. Ou seja, o algoritmo determina a probabilidade de um pixel estar contaminado por nuvem. O produto de nuvens do MODIS (MOD06) é formado por pixels de 48 bits. As informações sobre a máscara nuvens (MOD35) estão nos dois primeiros bits e são as seguintes: céu confiantemente limpo, céu provavelmente limpo, céu provavelmente nublado e céu confiantemente nublado.

O algoritmo leva em consideração os vários domínios ambientais de acordo com o tipo de superfície e iluminação solar, incluindo solo, água, neve, gelo deserto e costa oceânica, tanto durante o dia como durante a noite. Uma vez que o pixel é associado à um domínio particular, uma série de limiares e testes tentam detectar a presença de nuvens ou aerossol opticamente espesso. Cada teste de detecção retorna um nível de confiança variando de 0 a 1 (0 – baixa confiança de céu limpo e 1 – alta confiança de céu limpo).

Depois de determinado o nível de confiança de céu limpo para cada pixel, tem-se os seguintes valores de probabilidades (**Tabela 1**):

Tabela 1 – Nível de confiança de um pixel não estar sendo obstruído por nuvens

Probabilidade	Descrição
$\geq 0,99$	Céu confiantemente limpo
0,95	Céu provavelmente limpo
0,66	Céu provavelmente nublado
$< 0,66$	Céu nublado

## 2. A Utilização de Produtos MODIS na Região Amazônica

Vários produtos MODIS podem ser utilizados na região amazônica, entre os quais se destacam os índices de vegetação, identificados pelo código MOD13. As opções das diferentes resoluções temporais e espaciais disponíveis estão identificadas a seguir:

- MOD13Q1: 16-dias, 250m;
- MOD13A1: 16-dias, 500m;
- MOD13A2: 16-dias, 1 km;

Independentemente da opção temporal/espacial, um produto MOD13 traz consigo dois tipos de índices de vegetação: o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*). Um arquivo MOD13 traz ainda, além dos índices de vegetação, mais nove arquivos, divididos em dois grupos: ‘Metadados’ e ‘Imagens de Reflectâncias’ (utilizadas na obtenção dos índices). Os metadados são arquivos de 16 bits que descrevem, pixel a pixel, a qualidade dos índices, incluindo entre o conjunto de informações, a ocorrência de pixels contaminados, total ou parcialmente, por nuvens (**Tabela 2**).

O método de geração dos índices de vegetação do MOD13 aplica um algoritmo que opera pixel a pixel na imagem de reflectância e considera múltiplas observações em um período de 16 dias. Devido à sobreposição de órbitas e múltiplas observações em um único dia, um máximo de 64 observações podem ser obtidas. Destas, são, automaticamente eliminadas as observações contaminadas com nuvens, quando possível (pois todas as observações podem estar contaminadas por nuvens), e as observações de visada oblíqua. Após esta “filtragem”, apenas 5 a 10 observações são consideradas aceitáveis para continuarem no processo. Alternativamente, o algoritmo de composição seleciona o pixel mais próximo possível do nadir, minimizando-se assim eventuais distorções espaciais e radiométricas, ou com o menor grau de contaminação por aerossóis (van Leeuwen et al, 1999; Huete et al, 2002).

Mesmo com todo esse esforço computacional para o processamento dessa composição, no caso da Amazônia Legal, a presença de nuvens e sombras é praticamente inevitável em vários meses do ano, como será visto a seguir.

## 3. Materiais e Métodos

O presente trabalho teve início com a seleção dos arquivos do produto MOD13A2, de resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 1000 metros. Foram selecionados todos os arquivos que cobrem a área total da Amazônia Legal, num total de 11 *tiles* (**Figura 1**), para o período de agosto de 2002 a agosto de 2004 (i.e. dois ciclos hidrológicos completos). Em seguida, foi realizado o mosaico dessas imagens mês a mês, utilizando-se o programa MRT (*MODIS Reprojection Tools*).

As informações sobre ocorrência de nuvens, bem como sombras, foram obtidas, pixel a pixel, a partir da análise do arquivo de metadados que acompanha a imagem NDVI (*bitfields* 10 e 14 respectivamente). O processamento da imagem de metadados foi realizado em um ambiente de sistemas de informações geográficas, tendo sido utilizado o programa *ArcView* 3.2 e a extensão *Spatial Analyst*.

Figura 1 – Tiles selecionados para o período de agosto de 2002 a agosto de 2004

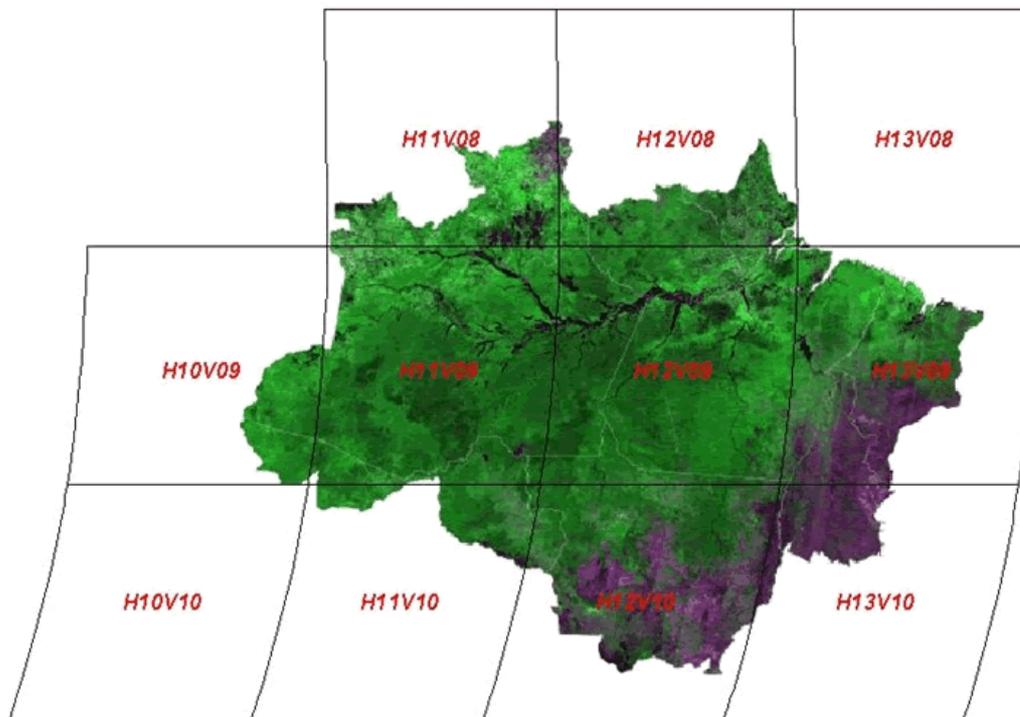


Tabela 2 – Descrição dos *bitfields* dos metadados dos produtos MOD13

BIT FIELD (POSIÇÃO)																
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Qualidade geral do índice de vegetação		Qualidade quanto ao uso do índice de vegetação				Quantidade de aerossóis		Presença de correção atmosférica por adjacência	Presença de correção atmosférica pelo método de BRDF	Presença de nuvens	Tipo da aplicação de máscara solo/água		Presença de neve/gelo	Presença de sombra	Método usado para obtenção do pixel do índice de vegetação (BRDF - CV-MVC)	
2 bits		4 bits				2 bits		1 bit	1 bit	1 bit	2 bits		1 bit	1 bit	1 bit	
00 -ótima qualidade 01- checar o QA 10-nuvens 11-IV não produzido		0000-qualidade perfeita 0001-alta qualidade 0010-boa qualidade 0011-qualidade aceitável 0100-qualidade provável 0101-qualidade intermediária 0110-abaixo qualidade intermediária 0111-qualidade ordinária 1000-abaixo qualidade ordinária 1001-qualidade questionável 1010-acima qualidade 'marginal' 1011-qualidade 'marginal' 1100-baixa qualidade 1101-sem correção atmosférica 1110-qualidade muito baixa - não usar 1111-índice não produzido				00 -climatologia 01-baixo 10-médio 11-alto		0-não 1-sim	0-não 1-sim	0-não 1-sim	00-área oceânica 01-região costeira 10-terras alagadas 11-terra		0-não 1-sim	0-não 1-sim	0-BRDF 1-MVC	

#### 4. Análise dos Dados e Resultados

A **figura 2** mostra a ocorrência e distribuição de nuvens e sombra para toda a Amazônia legal no período de janeiro a dezembro de 2003. Por outro lado, a área ocupada (em %) por nuvens e sombras para os dois ciclos hidrológicos considerados neste estudo (i.e. agosto de 2002 a julho de 2004) é mostrada nos histogramas da (**Figura 3**).

Figura 2 – Dinâmica da cobertura de nuvens e sombras na Amazônia em 2003

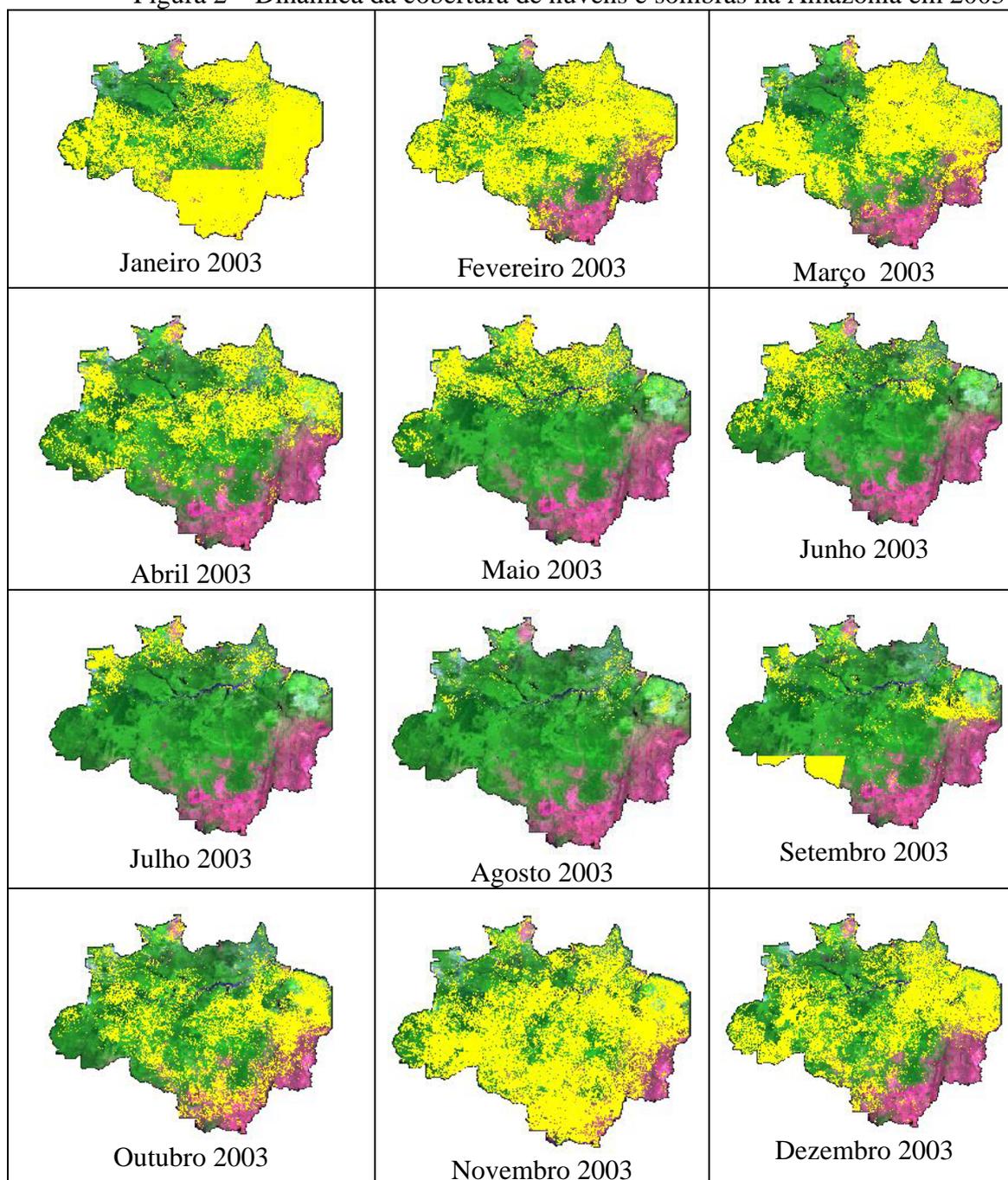
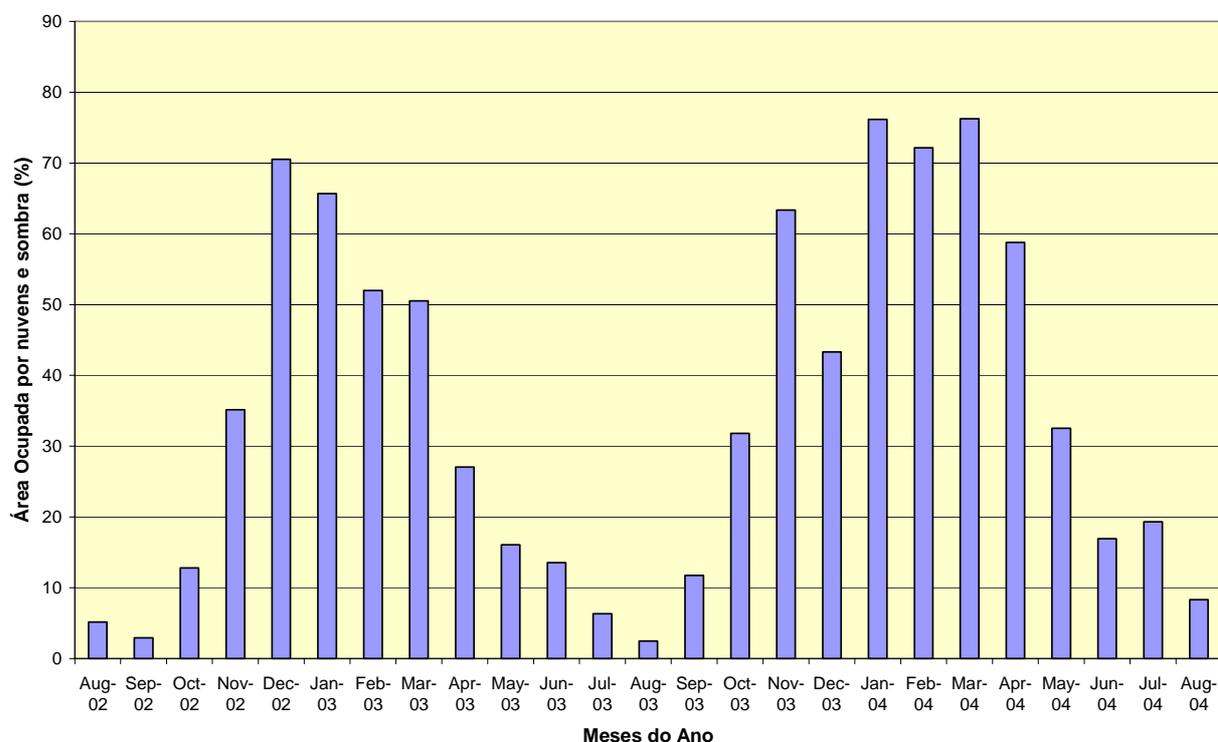


Figura 3 – Histogramas da área ocupada (em %) por nuvens e sombras para os dois ciclos hidrológicos na Amazônia Legal



Para o período entre agosto de 2002 e julho de 2003, as menores ocorrências de nuvens e sombras são observadas para os meses de julho, setembro e agosto, as quais correspondem aproximadamente a 6, 5 e 3% da área total da Amazônia legal. Para o período entre agosto de 2003 e julho de 2004, o mês de agosto é o único com cobertura de nuvens inferior a 10% (~ 2.5%). Ainda assim, e de forma coerente ao observado para o primeiro ciclo hidrológico, os meses de junho, julho e setembro apresentam coberturas de nuvens e sombras bem abaixo da média observada para o período como um todo (i.e. 17, 19 e 11%, respectivamente).

Em fato, ainda que o segundo ciclo hidrológico (i.e. agosto de 2003 a julho de 2004) apresente, para todos os meses considerados (com exceção dos meses de dezembro de 2002 e agosto de 2003), uma maior ocorrência de nuvens e sombras, pode se observar a partir dos histogramas mostrados na **Figura 3** uma alta correlação de dados ( $r = 0.81$ ), bem como um padrão temporal na distribuição destas ocorrências bastante semelhante.

Da mesma forma, é interessante observar a baixa ocorrência de nuvens e sombras para o mês de agosto de 2004 (~ 8%), o que corrobora a tendência indicada nos dois ciclos hidrológicos completos analisados e ilustrada nas **Figuras 2 e 3**. i.e. para a região Amazônica, o período mais apropriado à obtenção de dados orbitais passivos na região do visível e infravermelho próximo corresponde aos meses de junho a setembro. Por outro lado, o período compreendido entre novembro e março, apresenta em média cobertura de nuvens e sombra de 55 e 66%, para o primeiro e o segundo ciclo hidrológico, respectivamente.

## 5. Considerações Finais

Uma das principais limitações ao uso de dados de sensoriamento remoto orbital passivo para o monitoramento sistemático da cobertura vegetal na região Amazônica é ocorrência persistente e extensa de nuvens e sombras.

Especificamente em relação à detecção de desmatamentos, uma questão de ordem operacional diz respeito à frequência do monitoramento (i.e. diário, quinzenal, mensal ou sazonal). Esta questão assume particular importância quando contrapomos a disponibilidade quase diária de dados orbitais (ex. dados MODIS) à apenas quatro meses por ano com cobertura média de nuvens e sombras inferior a 10% da área total da Amazônia legal.

Por outro lado, é importante enfatizar que os algoritmos para a detecção de nuvens, apesar do grau de sofisticação e “redundância”, não são ainda capazes de gerarem máscaras de nuvens suficientemente robustas de tal forma a eliminarem por completo os pixels contaminados. Em fato, a maior causa individual de erros de comissão (i.e. falsas detecções) se deve à inclusão de pixels contaminados nas análises de desmatamentos. No âmbito do Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos, ainda que a análise dos metadados do produto MOD13Q1 preceda a comparação de imagens índices de vegetação com vistas à detecção de desmatamentos, a maior parte dos erros de comissão verificada se deve a persistência de pixels contaminados.

Neste sentido, e apesar do seu caráter parcial e preliminar, os resultados apresentados neste trabalho sugerem que o período entre novembro e março deva ser evitado quanto a observações através de dados ópticos passivos.

## Referências

- Huete, A. R.; Didan, K.; Miura, T.; Rodríguez, E.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices (Special Issue). *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 195-213, 2002.
- Platnick, S.; King, M. D.; Ackerman, S. A.; Menzel, W. P.; Baum, B. A.; Riédi, J. C.; Frey, R. A. The MODIS cloud products: Algorithms and examples from Terra. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 41, p. 459-473, 2003.
- 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 Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, p. 675-686, 1997.
- van Leeuwen, W. J. D.; Huete, A. R.; Laing, T. W. MODIS vegetation index compositing approach: A prototype with AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, v. 69, p. 264-280, 1999.