

SENSOR MODIS: CARACTERÍSTICAS GERAIS E APLICAÇÕES

**Marcelo Lopes Latorre¹, Liana Oighenstein Anderson²,
Yosio Edemir Shimabukuro², Osmar Abílio de Carvalho Júnior²**

¹IEAv Instituto de Estudos Avançados - CTA - Centro Técnico Aeroespacial
Rodovia dos Tamoios, Km 5,5, São José dos Campos, SP, Brasil.

latorre@ieav.cta.br

²INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
caixa postal 1515, 12201-970, São José dos Campos - SP, Brasil.

{liana,yosio,osmar}@itid.inpe.br

Recebido 23 de outubro de 2002; revisado 2 de fevereiro de 2003; aceito 20 de fevereiro de 2003

RESUMO – O presente trabalho tem como propósito realizar uma abordagem geral sobre um dos principais sensores, denominado MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), desenvolvido pela NASA, com o objetivo de determinar como a Terra está mudando e quais as conseqüências para a vida neste planeta, desenvolvendo um entendimento de seu funcionamento como um sistema único e interligado. Seus produtos permitirão um monitoramento de longa duração da superfície, necessários para o entendimento de mudanças globais. Neste propósito, realiza-se uma descrição sobre este sensor e por fim, uma síntese dos principais produtos gerados por ele e suas aplicações.

Palavras-Chave – sensoriamento remoto, sensor MODIS, processamento de imagem.

ABSTRACT – The present work has as purpose to accomplish a general description on one of main sensor, denominated MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), developed by NASA, with the objective of determining how the Earth is changing and which the consequences for the life in this planet, developing an understanding of its functioning as an only and interlinked system. Its products will allow a long term monitoring of long duration of the surface, necessary for the understanding of global changes. In this purpose, it is presented a description of its

systems and finally, a synthesis of the main products generated by this sensor and its applications.

Keywords – remote sensing, MODIS sensor, image processing.

INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, houve um aumento do interesse na compreensão dos fatores que determinam as mudanças climáticas. Este interesse foi gerado, em parte, devido às evidências de que estas alterações estivessem sendo aceleradas pela intervenção humana, acarretando com isto, no aquecimento global, aumento no nível médio dos oceanos, redução da biodiversidade, entre outros. Estudos têm demonstrado que os constituintes atmosféricos (nuvens, os gases e os aerossóis) afetam profundamente os oceanos e a superfície terrestre, os quais, por sua vez, acabam por afetar a atmosfera (NASA, 2002). Estas relações de natureza cíclica e altamente interdependente devem ser estudadas considerando a Terra como um ecossistema integrado. Assim, a comunidade científica (liderada pela *National Aeronautics and Space Administration* – NASA/E.U.A) voltou-se para a construção de modelos de dinâmica global da Terra (atmosférica, oceânica e terrestre), tentando com isto, predizer, com a devida antecedência, as possíveis alterações nos ecossistemas. No entanto, a modelagem das dinâmicas globais necessita de uma grande gama de informações devendo ser coletadas diariamente por um longo período de tempo, de maneira a representar cada região da superfície terrestre, oceanos e atmosfera. Desta forma, foram desenvolvidos novos instrumentos para a coleta destes dados, tendo como exemplo, o próprio sensor MODIS (NASA, 2002).

ESE (“EARTH SCIENCE ENTERPRISES”)

O comitê espacial Norte Americano – (NASA), mantém um programa de longa duração de pesquisas de observação da superfície terrestre, oceanos e atmosfera, e suas interações, incluídas nas medições do “*Earth Observing System*” (EOS), financiado pelo programa da NASA “*Earth Science Enterprises*” (ESE). O objetivo principal da ESE é determinar como a Terra está mudando e quais as conseqüências para a vida neste planeta, desenvolvendo um entendimento de seu funcionamento como um sistema único e interligado. Os produtos referentes a Terra permitem um monitoramento de longa duração da superfície, necessários para o entendimento de mudanças globais (Justice *et al.*, 2002a).

No projeto EOS, estão previstos os lançamentos de diversos satélites, e o primeiro, o satélite TERRA, foi lançado em dezembro de 1999, começando a coletar dados em fevereiro de 2000. O segundo satélite lançado foi o AQUA, em maio de 2002. Atualmente, existem três outros satélites do projeto EOS em órbita, e mais 15 estão previstos para serem lançados nos próximos quatro anos. Juntas, estas plataformas espaciais vão ajudar os cientistas a desvendar os processos climáticos e de mudanças ambientais, bem como seus impactos.

O principal instrumento desenvolvido para estes satélites foi o MODIS, por apresentar, segundo Barker *et al.* (1992), inúmeras características, entre elas:

- Ampla cobertura espacial e espectral;
- Continuidade nas tomadas de medidas, em regiões espectrais mais finas, que as disponíveis em outros sistemas sensores até o momento, vindo a complementar estas informações. Como exemplo, o conjunto de dados

adquiridos pelo *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), usado para a meteorologia e monitoramento da temperatura da superfície do mar, gelo e vegetação; e pelo *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS), usado para monitorar a biomassa oceânica e os seus padrões de circulação; e

- Ser a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução das pesquisas de mudanças globais.

SENSOR MODIS/ SATÉLITE TERRA

CARACTERÍSTICAS GERAIS

O MODIS é um dos cinco instrumentos do satélite TERRA, formalmente conhecido como EOS-AM. Os outros sensores a bordo deste satélite são: CERES, ASTER, MISR e MOPITT. O sensor MODIS foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para estes objetivos e uma cobertura global quase diária (a cada 1-2 dias) (Justice *et al.*, 2002a) (**Tabela 1**).

As 36 bandas espectrais estão localizadas (**Tabelas 2 e 3**) em comprimentos de onda, que finalizam observar as propriedades das nuvens; a dinâmica e as propriedades da vegetação na cobertura terrestre; e a temperatura da superfície dos oceanos no mundo (Salomonson e Toll, 1991). Foram projetadas para evitar as bandas de absorção atmosférica, além de outras feições (linha de Fraunhofer) (Salomonson e Barker, 1992; Strahler *et al.*, 1999).

Tabela 1 – Especificações técnicas do sensor MODIS

| | |
|-------------------------------|---|
| Órbita | 705 Km, síncrona com o Sol, polar. 10:30 a.m descendente; 1:30 p.m ascendente. |
| Alcance Espectral | 0.4-14.4 μm |
| Cobertura Espectral | $\pm 55^\circ$, 2330 km em fileira (“scans” contínuos em nadir no equador) |
| Resolução Espacial | 250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir |
| Precisão Radiométrica | 5% Absoluto, $<3\mu\text{m}$; 1% Absoluto, $>3\mu\text{m}$; 2% de reflectância |
| Cobertura de repetição | Diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30° |
| Quantização | 12 bits |
| Taxa de Dados | 6.2 Mbps (média), 10.8 Mbps (dia), 2.5 Mbps (noite) |
| Força | 162.5 W (média para uma órbita), 168.5 W (pico) |

Adaptada de Barker *et al.* (1992, p. 3-4) e Justice *et al.* (2002a, p.4).

Observa-se que, as primeiras 19 bandas são da porção refletida do espectro eletromagnético (405 nm a 2155 nm), onde as bandas 1-7 são direcionadas para as aplicações terrestres; as bandas 8-16 para as observações oceânicas; e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36 (**Tabela 3**), a exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro (3660nm a 14385nm) (Barker *et al.*, 1992).

Conseqüentemente, o MODIS tende a aperfeiçoar sistemas como o AVHRR, uma vez que, possui a capacidade de rastrear um amplo conjunto de sinais vitais da Terra, melhor do que qualquer outro (King *et al.*, 1992). Como exemplo, cita-se a capacidade deste sensor em medir o percentual da superfície do planeta coberto por nuvens em quase todos os dias. Esta ampla cobertura espacial irá permitir ao sensor, juntamente com o *Multi-angle Imaging Spectroradiometer*

(MISR¹) e o *Cloud and Earth's Radiant Energy System* (CERES²), determinar o impacto das nuvens e aerossóis no balanço energético da Terra (Strahler *et al.*, 1999).

Tabela 2 – Especificações das bandas 1 a 19 do sensor MODIS

| Uso Primário | Banda | Larg. de Banda (nm) | Rad. Espectral | Resol. Espacial | SNR ⁽³⁾ |
|---|-------|---------------------|----------------|-----------------|--------------------|
| Superfície terrestre/nuvem | 1 | 620-670 | 21,8 | 250 | 128 |
| | | | | 1000 | |
| | | | | 1000 | |
| | | | | 1000 | |
| | 2 | 841-875 | 24,7 | 250 | 201 |
| | | | | 1000 | |
| Propriedades da superfície /nuvem | 3 | 459-479 | 35,3 | 500 | 243 |
| | 4 | 545-565 | 29 | 500 | 228 |
| | 5 | 1230-1250 | 5,4 | 500 | 74 |
| | 6 | 1628-1652 | 7,3 | 500 | 275 |
| | 7 | 2105-2155 | 1 | 500 | 110 |
| Cor dos Oceanos/Fitoplâncton/Bioquímica | 8 | 405-420 | 44,9 | 1000 | 880 |
| | 9 | 438-448 | 41,9 | 1000 | 838 |
| | 10 | 483-493 | 32,1 | 1000 | 802 |
| | 11 | 526-536 | 27,9 | 1000 | 754 |
| | 12 | 546-556 | 21 | 1000 | 750 |
| | 13 | 662-672 | 9,5 | 1000 | 910 |
| | 14 | 673-683 | 8,7 | 1000 | 1087 |
| | 15 | 743-753 | 10,2 | 1000 | 586 |
| Vapor d'água Atmosférico | 16 | 862-877 | 6,2 | 1000 | 516 |
| | 17 | 890-920 | 10 | 1000 | 167 |
| | 18 | 931-941 | 3,6 | 1000 | 57 |
| | 19 | 915-965 | 15 | 1000 | 250 |

¹ MISR—Um dos cinco sensores que compõem o satélite Terra, juntamente com o MODIS, com a finalidade coletar medidas sobre as propriedades das nuvens, uso da mudança cobertura da terra.

² CERES-Sensor que compõem o satélite Terra, com a finalidade de coletar medidas de fluxo de energia e radiação (atmosfera).

³SNR – “Signal-to-noise ratio”.

Tabela 3 – Especificações das bandas 20 a 36 do sensor MODIS

| Uso Primário | Banda | Larg. de Banda(nm) | Rad. Espectral | Resol. Espacial | NE Δ T ⁽⁴⁾ |
|-------------------------------|-------|--------------------|----------------|-----------------|------------------------------|
| Temperatura nuvens/superfície | 20 | 3660-3840 | 0,45 | 1000 | 0,05 |
| | 21 | 3929-3989 | 2,38 | 1000 | 2 |
| | 22 | 3929-3989 | 0,67 | 1000 | 0,07 |
| | 23 | 4020-4080 | 0,79 | 1000 | 0,07 |
| Temperatura Atmosférica | 24 | 4433-4498 | 0,17 | 1000 | 0,25 |
| | 25 | 4482-4549 | 0,59 | 1000 | 0,25 |
| Cirrus | 26 | 1360-1390 | 6 | 1000 | 150 ⁽⁵⁾ |
| Vapor d' água | 27 | 6535-6895 | 1,16 | 1000 | 0,25 |
| | 28 | 7175-7475 | 2,18 | 1000 | 0,25 |
| | 29 | 8400-8700 | 9,58 | 1000 | 0,05 |
| Ozônio | 30 | 9580-9880 | 3,69 | 1000 | 0,25 |
| Temperatura nuvens/superfície | 31 | 10780-11280 | 9,55 | 1000 | 0,05 |
| | 32 | 11770-12270 | 8,94 | 1000 | 0,05 |
| Altitude Topo da nuvem | 33 | 13185-13485 | 4,52 | 1000 | 0,25 |
| | 34 | 13485-13785 | 3,76 | 1000 | 0,25 |
| | 35 | 13785-14085 | 3,11 | 1000 | 0,25 |
| | 36 | 14085-14385 | 2,08 | 1000 | 0,35 |

⁴NEDT – “Noise-equivalent temperature difference” é a medida de desempenho de um sensor termal (Barker *et al.*, 1992).

⁵SNR – “Signal-to-noise ratio”.

Adaptada de Barker *et al.* (1992, p. 3-4) e Lillesand e Kiefer (1994, p. 516).

GEOMETRIA DOS INSTRUMENTOS MODIS

O sensor MODIS é constituído de um instrumento eletro-óptico de varredura mecânica (*Whiskbroom*) que utiliza o movimento do satélite para fornecer um imageamento na direção de vôo (*along track*) (**Figura 1**). A radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida da superfície terrestre é direcionada para um telescópio pela rotação de um espelho de duas faces. Meia revolução do espelho leva aproximadamente 1,477 seg, produzindo o movimento de imageamento *across-track*. A energia é então, focada para os diferentes detectores cobertos por estreitos filtros espectrais.

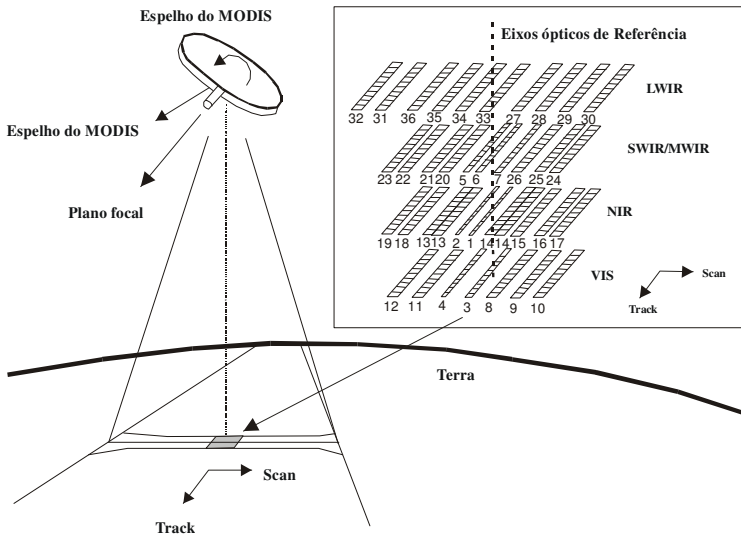


Figura 1 - Apresentação geral da geometria de imageamento do sensor MODIS.

Fonte: Adaptada de Wolfe *et al.* (2002, p.32).

O MODIS imagea, simultaneamente, em cada banda, 10 fileiras de *pixels* para os detectores de 1Km; 20 para os detectores de 500m; e 40 para os detectores de 250m de resolução espacial. Cada fileira, por sua vez, corresponde

a uma simples linha imageada dos dados MODIS, a qual é nominalmente composta de 1354, 2708 e 5416 observações dos dados de 1km, 500m e 250m, respectivamente (Wolfe *et al.*, 2002).

Os detectores do MODIS são agrupados em quatro planos focais (Salomonson *et al.*, 1989): Infravermelho Termal (LWIR- *Long Wave Infrared*); Infravermelho Médio (SWIR/MWIR-*Short/Medium Wave Infrared*), Infravermelho Próximo (NIR- *Near Infrared*) e Visível (VIS – *Visible*). Estes são distribuídos nos planos focais na direção de voo, de modo a obter a mesma localização da Terra ao ser amostrada em diferentes bandas e horários (**Figura 2**).

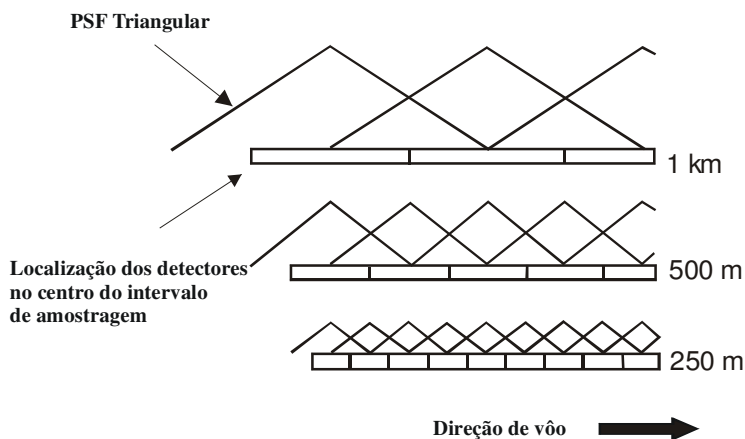


Figura 2–Esquema do alinhamento dos detectores para as três resoluções espaciais do MODIS. Fonte: Adaptada de Wolfe *et al.* (2002, p.34).

A **Figura 3** ilustra a cobertura típica de três imageamentos consecutivos da superfície terrestre. Os imageamentos são alongados devido à sua geometria de imageamento e à curvatura da Terra, de modo que a largura de varredura

seja de aproximadamente 2340 Km. Devido à velocidade angular do espelho e de deslocamento do satélite, estes sistemas fornecem um imageamento com uma capacidade de superposição variando de 10 a 50%. Quanto ao seu campo de visada (IFOV), este pode aumentar de 2 a 4,8 vezes em relação à posição nadir, ou seja, nas direções *Track* e *Scan*, respectivamente.

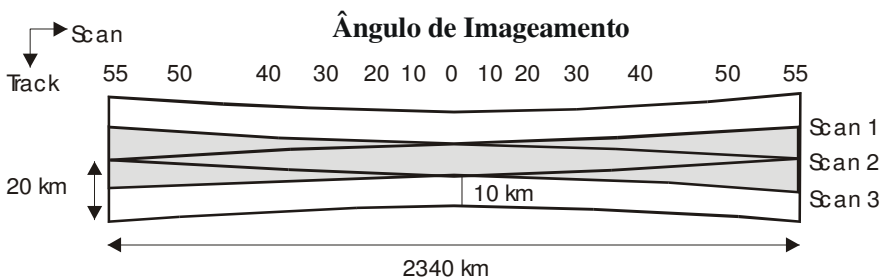


Figura 3 – A projeção no solo de três imageamentos consecutivos do Sensor MODIS. Fonte: Adaptada de Wolfe *et al.* (2002, p.34).

GEOREFERENCIAMENTO DO SENSOR MODIS

A georeferenciamento do MODIS foi estabelecida através do uso de uma técnica paramétrica, onde pontos de controle foram aplicados, somente, para remover as direções tendenciosas. Sua orientação em relação a Terra é obtida através de sensores à bordo do satélite. Sua altitude é medida por um giro inercial e por um sensor “*star-tracking*”, onde a posição é medida por um TDRSS (*Tracking Data Relay Satellite System*) a bordo de um sistema de navegação (TONS) (Teles *et al.*, 1995).

Os produtos georeferenciados do MODIS apresentam as coordenadas geodésicas, altitude, ângulos zenitais solar e azimutal para cada amostra de 1

km do sensor. Estes dados são fornecidos como parte do banco de dados das radiâncias calibradas no nível 1B e os dados do nível 2, para permitir um processamento posterior, ou seja, estes dados serão, subseqüentemente usados para reamostrar espacialmente e compor temporariamente os produtos MODIS em grades georeferenciadas.

Segundo Wolfe *et al.* (2002), alguns progressos na precisão do georeferenciamento do MODIS têm sido obtidos através do ajuste de parâmetros internos do sensor, com planejamentos futuros para remover os erros sistemáticos de medidas de orientação externa.

Os cálculos de georeferenciamento do MODIS são realizados a partir de uma banda hipotética ideal conhecida como banda 0. Esta banda é modelada como sendo localizada no meio dos quatro planos focais do MODIS e usada como uma referência, a partir da qual as posições de qualquer banda são calculadas aplicando os *offsets* apropriados.

NÍVEIS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS

Como nos demais instrumentos a bordo do satélite TERRA, os dados MODIS são transferidos para estações terrestres em *White Sands*, Novo México, através de um sistema denominado *Tracking and Data Relay Satellite System* (TDRSS). Estes são então, enviados para os dados de pesquisa EOS e os sistemas de operações (EDOS) no *Goddard Space Flight Center*. Neste centro começam os processamentos dos dados propriamente dito. São divididos em cinco níveis (0 a 4), que irão variar em função do grau de processamento realizado. Vale ressaltar que, após o processamento do nível zero pelo sistema operacional, o centro de arquivos denominado *Goddard Space Flight Center*

Earth Sciences Distributed Active Archive Center (GES DAAC) irá produzir os níveis 1A e 1B e os produtos de geolocalização. Os produtos de níveis mais elevados são, inicialmente, produzidos pelo Sistema de Processamento Adaptativo do sensor MODIS (*MODIS Adaptive Processing System* - MODAPS), e então distribuídos entre três outros centros de DAACs (Justice *et al.*, 2002a). Resumindo, todos os produtos MODIS são gerados, segundo Justice *et al.* (2002a) em um determinado nível hierárquico, que são:

- **Nível 0** – este nível retrata a imagem em seu estado bruto, sem tratamento de espécie alguma. Não é disponível ao usuário, não constando, portanto, das listas de produtos padrões do sensor MODIS.
- **Nível 1 (1A):** contém uma base de dados de 36 canais do MODIS, utilizado como dado de entrada para geolocalização, calibração e processamento. Indicadores de qualidade são adicionados aos dados para indicar a perda ou *pixels* ruins. Medidas no visível, infravermelho próximo e médio são feitas apenas durante o dia, enquanto que as medidas na faixa do infravermelho termal são feitas tanto de dia, quanto de noite.
- **Nível 1 (1B):** os produtos contém os dados de calibração e geolocalização para as 36 bandas geradas pelo nível 1 A. As radiâncias são em $W/(m^2 \cdot \mu m \cdot sr)$. Em adição, o BRDF (reflectância bidirecional) pode ser determinado para bandas reflectivas solares (1-19, 26) através do conhecimento da irradiação solar (por exemplo, determinação de dados MODIS e a geometria de iluminação do alvo). Dados adicionais

são fornecidos, incluindo as estimativas de qualidade, de erro e dados de calibração.

- **Nível 2:** os produtos deste nível são derivados de radiâncias calibradas de prévios produtos MODIS. Os produtos conhecidos como nível 2G (L2G) são gerados a partir de um conjunto de dados de um simples dia do nível 2, reorganizados e armazenados em uma grade baseada na Terra (*earth-based grid*), preservando todas as amostras dos dados originais do nível 2. Cabe salientar que, a menor quantidade de dados processados em um determinado período é definida nos níveis 1 e 2 como granular (*granule*) e correspondem à aproximadamente 5 min. de imageamento. O MODIS imagea 288 “grânulos” a cada 24 h, sendo sua cobertura equivalente a uma área aproximada de 2340 Km (*across-track*) por 2030 Km (*along-track*).
- **Nível 3:** neste nível os produtos são espacialmente reamostrados e temporariamente compostos para produzir uma simples estimativa das variáveis geofísicas para cada grade de localização. As escalas de tempo dos produtos destes níveis variam de um simples dia para um ano inteiro.
- **Nível 4:** os produtos deste nível são gerados pela incorporação dos dados MODIS em modelos para se estimar as variáveis geofísicas.

Complementando, a menor unidade de processamento referente aos níveis 2G, 3 e 4, é definida como um “Tijolo”, a qual corresponde a uma área geocodificada de 1200 X 1200 Km. A **Tabela 4** ilustra a definição dos níveis de processamento existentes para alguns dos diversos produtos do sensor MODIS.

VALIDAÇÃO E A GARANTIA DE QUALIDADE (“QUALITY ASSURANCE”) DOS DADOS DO SENSOR MODIS

O “EOS Data Information System” (EOSDIS) é designado para o suporte computacional de todas as atividades de pesquisa do EOS, incluindo o processamento, a distribuição e arquivamento dos seus dados, além do intercâmbio de informações e resultados entre as comunidades científicas (Justice *et al.*, 2002a).

Tabela 4 – Exemplo de níveis de processamento dos produtos gerados pelo sensor MODIS.

| NÍVEIS | 2/2G | 3 | 4 |
|----------|-----------------------------|--|--------------------|
| PRODUTOS | Cobertura de Neve; | Cobertura de Neve; | Evapotranspiração; |
| | Reflectância da Superfície; | Reflectância da Superfície; | FPAR. |
| | Anomalias Termiais; | Anomalias Termiais; | |
| | Temp. da superfície; | Temp. da superfície; | |
| | Grade angular de dados | Albedo/Índice de Vegetação; | |
| | | Reflectância bi-direcional; IAF Mudança da Cobertura Terrestre/Cobertura Terrestre | |

Fonte: Adaptada de Roy *et al.* (2002, p.64).

O *EOSDIS Core System* (ECS) é o setor responsável pelo acompanhamento de todos estes objetivos, ou seja, pelo fornecimento da arquitetura computacional necessária para que estas metas sejam atingidas. A qualidade de seus dados será mantida através de instrumentos de calibração e caracterização, além das atividades de validação e garantia de qualidade dos produtos (QA).

GARANTIA DE QUALIDADE

Seu objetivo é identificar e suspeitar de dados de baixa qualidade, antes que estes sejam disponibilizados para o público. A técnica dos resultados da garantia de qualidade está na coordenação da armazenagem destes para todos os produtos MODIS (MODLAND), bem como a capacidade em inferir quais os produtos de baixa qualidade, retirando-os dos arquivos.

O ECS é o responsável por armazenar os resultados da QA de cada *pixel*, bem como os metadados de cada “grânulo” dos dados MODIS.

A QA de cada *pixel* é obtida pelo processamento de um determinado “software”, através do monitoramento da estabilidade computacional do código, examinando os dados de entrada, suas associações e a documentação do histórico do processamento deste código. A QA dos metadados resume a aplicação dos procedimentos de produção e pós - produção desta garantia. A **Tabela 5** mostra um exemplo de informação armazenada para cada *pixel* em todos os produtos MODIS e resumida em cada “grânulo” do MODLAND.

Tabela 5 – Exemplo de informação armazenada de cada *pixel* dos produtos MODIS.

| Código por “Pixel” da QA | Significado |
|--------------------------|---|
| 0 | “Pixel” produzido com boa qualidade, não sendo necessária um exame mais detalhado da QA. |
| 1 | “Pixel” produzido com uma qualidade não definida, sendo necessária um exame mais detalhado da QA. |
| 10 | “Pixel” não produzido devido aos efeitos das nuvens. |
| 11 | “Pixel” não produzido por outras razões, além dos efeitos das nuvens. |

Fonte: Adaptada de Justice *et al.* (1998, p.1243).

VALIDAÇÃO DOS PRODUTOS MODIS

A validação primária dos produtos do MODLAND está na avaliação de seus produtos de nível 2 a 4. Para tanto, é usado uma variedade de métodos, que incluem:

- Comparações com dados coletados em campo sobre um conjunto definido de testes de validação;
- Comparações com dados e produtos de outros sensores;
- Análise de tendências nos dados; e
- Análise dos resultados dos modelos de processos dirigidos para os produtos.

PRODUTOS GERADOS PELO SENSOR MODIS E SUAS APLICAÇÕES

A importante aplicação na informação precisa da cobertura global da superfície está na inferência de parâmetros, que influenciem, tanto nos processos biofísicos, quanto nas trocas de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre (Townshend *et al.*, 1991). Estes parâmetros têm por finalidade identificar tipos de cobertura terrestre para a parametrização através das informações espectrais, temporais, espaciais e direcionais contidas nos sensores, citando como exemplo, o próprio MODIS.

Neste sentido, o objetivo dos produtos gerados por estes sistemas (MODIS) está, basicamente, na quantificação e detecção das mudanças da cobertura terrestre, e nos processos naturais e antropomórficos, auxiliando assim, nos diversos modelos regionais e globais existentes (Strahler *et al.*, 1999).

Para tanto, um resumo dos produtos voltados para os estudos da porção continental da superfície terrestre, gerados pelo MODIS (MODLAND) pode ser verificado na **Tabela 6**, os quais serão descritos a seguir. Cabe salientar que, estes produtos são armazenados em um formato *Hierarchy Data Format* (HDF), o qual permite uma implementação transparente de acesso aos dados, através de um conjunto de ferramentas específicas. Segundo Justice *et al.* (2002a), estes arquivos são autodescritivos, tornando mais fácil o entendimento de sua estrutura e conteúdo.

PRODUTOS RELACIONADOS AO BALANÇO ENERGÉTICO

O MOD 9 é um produto MODIS de reflectância de superfície, e é computado a partir dos níveis 1 A, nas bandas (1 a 7) de estudo da superfície terrestre (com os comprimentos de onda centrados em 648 nm, 858 nm, 470 nm, 555 nm, 1240 nm, 1640 nm, and 2130 nm, respectivamente). Este produto é uma estimativa da reflectância espectral de superfície para cada uma das bandas (Justice *et al.*, 1998).

Os procedimentos de correção foram criados a partir de um modelo desenvolvido por Tanré *et al.* (1986; 1990), denominado “*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum Radiative Code*” (6S), o qual foi simplificado para uma aplicação mais operacional. Este produto é um dado de entrada para a obtenção de diversos outros da superfície terrestre, tais como: BRDF/albedo, FPAR/LAI e índices de vegetação.

Tabela 6 – Produtos da superfície terrestre gerados pelo sensor MODIS

| ESDT | PRODUTOS |
|--|--|
| PRODUTOS RELACIONADOS AO BALANÇO ENERGÉTICO | |
| MOD 09 | Reflectância de superfície |
| MOD 11 | Temperatura da superfície da Terra e emissividade |
| MOD 43 | BRDF/Albedo |
| MOD 10 E 29 | Cobertura de neve e extensão de gelo na superfície do mar |
| PRODUTOS VOLTADOS À VEGETAÇÃO | |
| MOD 13 | Grades de índices de vegetação (Máximo NDVI e MVI integrado) |
| MOD 15 | Índice de área foliar (LAI) e FPAR |
| MOD 17 | Fotossíntese líquida e produtividade primária |
| PRODUTOS VOLTADOS À COBERTURA TERRESTRE | |
| MOD 12 | Cobertura da terra e mudança na cobertura da terra |
| MOD 14 | Anomalias termais, fogo e queima de biomassa |
| MOD 44 | Conversão da cobertura vegetal |

Fonte: Adaptada de Justice *et al.* (2002a, p.4).

Em adição às estimativas da reflectância da superfície, este produto vem acompanhado pelas informações de cada *pixel*, garantindo a integridade de seus dados através da QA:

- Integridade da estimativa da reflectância da superfície;
- O sucesso da conclusão do esquema de correção;

- Presença de nuvens (claro, nublado, parcialmente nublado, fechado);
- Presença de nuvens Cirrus (sem cirrus, baixa, média e alta);
- Fonte de informações de aerossóis: climatologia;
- Presença de aerossol (baixo, médio e alto);
- Fonte de informação de vapor d'água: climatologia;
- Fonte de informação de ozônio: Climatologia;
- Se o *pixel* é terra ou água.

Os produtos MOD 10 e 29 são parâmetros chaves para o balanço de energia global, refletindo muito da radiação solar incidente de volta ao espaço. Alguns algoritmos estão sendo desenvolvidos para o mapeamento global da cobertura de gelo, bem como a temperatura nas superfícies congeladas dos mares, usando os dados MODIS de 500 m e 1Km de resolução (Justice *et al.*, 1998).

O MOD 11 é uma das variáveis chaves, necessárias para se descrever os processos da superfície terrestre, sendo extremamente requisitados para diversos estudos climáticos, hidrológicos, ecológicos e biológicos (Running *et al.*, 1994). Cita-se, como exemplo de processos hidrológicos, a evapotranspiração, que é altamente sensível às flutuações da temperatura da superfície.

Esta variável utiliza os dados dos níveis 2 e 3 com o algoritmo *Land Surface Temperature* (LST) e a emissividade recuperados dos dados do AQUA/MODIS, com resoluções espaciais de 1 Km e 5 Km da superfície terrestre em condições atmosféricas adequadas (céu limpo). O algoritmo LST é utilizado para recompor *pixels* com emissividades conhecidas nas bandas 31 e 32. A base física dia /

noite do algoritmo LST é utilizada simultaneamente para recompor bandas de emissividade e temperatura junto com dados observacionais das bandas 20 a 23 e 31 a 33 sobre todos os tipos de cobertura terrestre.

O MOD 43 diz respeito aos parâmetros da distribuição da função da reflectância bidirecional (BDRF)/ALBEDO. A reflectância da superfície terrestre é altamente anisotrópica. Seu valor, quando observado do espaço dependerá de duas variáveis: o ângulo de visada do sensor e o de iluminação solar. Isto se deve, principalmente, aos efeitos direcionais da transferência radiativa no interior de dosséis ou solos, além dos efeitos geométricos, tais como o de sombreamento, causados pela estrutura tridimensional da vegetação e outras superfícies.

Destaca-se ainda a anisotropia de propriedades ópticas dos constituintes da cena, por exemplo, partículas de solo e folhas. Esta anisotropia é caracterizada pelo BDRF da superfície terrestre (Justice *et al.*, 1998).

No processamento de dados em Sensoriamento Remoto, o conhecimento do BDRF, permite normalizar as observações, variando os ângulos de visada e iluminação para uma determinada geometria padrão. Com respeito à superfície e a modelagem da vegetação, os parâmetros que descrevem o BRDF são direcionados para o LAI e a estrutura da superfície ou vegetação.

O albedo é importante na modelagem de diversos sistemas climáticos da Terra, sendo definido como a fração de energia descendente que é refletida de volta à atmosfera pela superfície.

Sobre superfícies vegetativas, o albedo é fortemente influenciado pelas propriedades estruturais ópticas da vegetação, podendo, inclusive ser útil no

monitoramento destas. Estes parâmetros serão fornecidos através de coeficientes para funções matemáticas que descrevem a BRDF para cada *pixel* das sete bandas para estudo da superfície da Terra, e fornece medidas de albedo derivadas simultaneamente da BRDF para as bandas 1-7. Ambos são calculados a partir de série temporal de 16 dias das observações multiangulares da reflectância corrigida do efeito atmosférico, com a resolução de 1 Km.

PRODUTOS DIRECIONADOS À VEGETAÇÃO

O MOD 13 apresenta os produtos relativos aos índices de vegetação. O MODIS possui dois índices de vegetação, o índice da diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação melhorado (EVI), que são produzidos globalmente com 1 Km e 500 m de resolução e composições no período de 16 dias. Enquanto o NDVI é sensível à clorofila, o EVI é mais sensível a variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar (LAI), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (Huete *et al.*, 2002). Estes dois índices se complementam em estudos globais da vegetação e fornecem informações sobre detecção de mudanças vegetais e parâmetros biofísicos do dossel.

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) é uma relação entre medidas espectrais (reflectância - ρ) de duas bandas, a do infravermelho próximo (800-1100 nm) e a do vermelho (600-700 nm), e visa eliminar diferenças sazonais do ângulo do Sol e minimiza os efeitos da atenuação atmosférica, observados para dados multitemporais. Os valores obtidos com o NDVI são contidos em uma mesma escala de valores, entre -1 e 1, utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{V}}) / (\rho_{\text{IVP}} + \rho_{\text{V}}) \quad (1)$$

Uma peculiaridade atribuída ao NDVI é a rápida saturação, o que o torna insensível ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento.

O índice de vegetação melhorado (EVI) foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, além do monitoramento da vegetação através de uma ligação do sinal de fundo do dossel e a redução das influências atmosféricas. O EVI pode ser calculado através da seguinte equação (Justice *et al.*, 1998):

$$\text{EVI} = 2,5 (\text{NIR} - \text{Vermelho}) / (\text{L} + \text{NIR} + \text{C1 vermelho} - \text{C2 azul}) \quad (2)$$

Onde L é fator de ajuste para o solo; e C1 e C2 são coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera. Os valores dos coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: L=1, C1=6, C2=7.5 e o fator de ganho G= 2.5 - 5 (Huete *et al.*, 1997; Justice *et al.*, 1998).

Estes produtos fornecem comparações consistentes de dados temporais e espaciais das condições da vegetação global, de modo a monitorar a atividade fotossintética da vegetação em suporte a detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia. Desta forma, os principais objetivos são:

- Gerar índices de vegetação em imageamentos sem nuvens;
- Maximizar a cobertura temporal na resolução espacial mais fina possível;
- Padronizar dados de acordo com a posição sol-sensor-alvo;
- Assegurar a qualidade e a consistência dos dados;
- Descrever e reconstituir dados de variações fenológicas;

- Discriminar com precisão variações interanuais na vegetação.

Cabe ressaltar que, mapas descrevendo variações espaciais e temporais da atividade da vegetação são derivados a cada 8, 16 e 30 dias (intervalos mensais) para um monitoramento preciso da sazonalidade, sendo que, seus produtos são reamostrados para fornecer o seguinte:

- Dados livres de nuvens, atmosféricamente corrigidos; e
- Mapas de vegetação ajustados ao nadir, com resoluções de 250 m, 1 Km e 25 Km.

Para tanto, são disponibilizados da seguinte maneira:

- 250 m NDVI (16 dias);
- 1 km NDVI e EVI (16 dias e mensal);
- 25 km NDVI e EVI (16 dias e mensal).

O MOD 15 é o LAI (*Leaf Area Index*) e a Fração da Radiação Absorvida pela Vegetação Fotossinteticamente Ativa (FPAR), fornecidos diariamente ou em uma base de 8 dias. O LAI representa uma importante propriedade estrutural do dossel da vegetação, medindo a área de folhas por unidade de área de terreno. O FPAR mede as proporções da radiação disponível nos comprimentos de onda que a vegetação fotossinteticamente ativa absorve (400 a 700 nm).

Estas são as variáveis biofísicas que descrevem a estrutura do dossel e estão relacionados a processos funcionais de taxas de energia e troca de massa. Para tanto, têm sido utilizadas exhaustivamente, como parâmetros derivados de dados de satélite para o cálculo de fotossíntese, evapotranspiração e produtividade primária líquida (Myneni *et al.*, 2002).

O MOD 17 é um produto do nível 4, consistindo da medição de oito dias da fotossíntese líquida e produtividade primária líquida. A produtividade líquida anual é a integração dos produtos de fotossíntese líquida ao longo de um ano. Este produto fornece uma medida precisa do crescimento da vegetação terrestre e sua produtividade. O uso teórico é para definir o fluxo dinâmico do carbono na sazonalidade da superfície terrestre para o modelamento climático. Os fluxos são computados especificamente para cada tipo de vegetação. A utilidade prática é a estimativa de rendimento de colheita, a produtividade de florestas e alguns outros produtos significativos do crescimento da vegetação (NASA, 2002).

PRODUTOS DIRECIONADOS À COBERTURA TERRESTRE

No MOD 12, três produtos contêm parâmetros de tipos de cobertura da terra e mudança no uso, que é produzido com uma resolução espacial de 1 Km, com base em dados trimestrais, iniciado 18 meses após o lançamento das plataformas TERRA e AQUA. A principal classificação da cobertura terrestre a ser empregada, baseia-se no esquema de classificação do Programa Geosfera-Biosfera Internacional (Justice *et al.*, 1998). A definição estrutural e os processos de desenvolvimento são descritos no *Algorithm Theoretical Basis Document* (ATBD) (Strahler *et al.*, 1996).

Segundo Justice *et al.* (1998), a mudança de cobertura terrestre será documentada através de duas aproximações. A primeira utilizará os dados de resolução mais fina (250 m) como forma de alertar sobre a ocorrência de possíveis mudanças da cobertura terrestre. Seu algoritmo pretende detectar alterações abruptas da superfície, induzidas por atividades humanas, tais como: a urbanização e abertura de clareiras.

A segunda empregará os dados de resolução mais ampla (1 km) utilizando técnicas mais direcionadas a estes tipos de dados, como é o caso do vetor mudança (Lambin e Strahler, 1994a, 1994b). Como exemplo de trabalho mais recente, cita-se: Hansen *et al.* (1998); Zhan *et al.* (2000) e Chan *et al.* (2000). Seus resultados têm mostrado a viabilidade da utilização destes dados na identificação de mudanças da cobertura terrestre, embora as técnicas (Vetor Mudança) empregadas, tenham demonstrado a necessidade de refinamentos.

O MOD 14 diz respeito aos produtos de anomalias termais, como exemplo, os processos de queimadas. Estes são fatores significantes e contínuos na ecologia de savanas, florestas boreais e tundras. As informações das queimadas podem ser utilizadas para conduzir modelos regionais de emissões e transporte de gases traços e química atmosférica. Alguns de seus importantes impactos incluem: a mudança do estado físico da vegetação, a liberação de gases de efeito estufa e de gases reativos durante a queima da biomassa; e outros particulados, ocasionando mudanças nas trocas de energia e água entre a superfície e a atmosfera, bem como alterações na comunidade vegetal devido as alterações no solo, como temperatura e mistura de componentes (NASA, 2002).

Desta forma, o MOD 14 tem como característica a inclusão da ocorrência do fogo e o cálculo da energia de cada foco, além de composições de 8 e 30 dias de suas ocorrências. Os produtos do nível 2 incluem vários parâmetros relacionados ao fogo, incluindo a ocorrência de anomalias termais, agrupadas em diferentes classes de temperatura, baseada na energia emitida pela queimada. Estes parâmetros são recuperados diariamente com uma resolução de 1 Km. Estes produtos utilizam dois canais especiais (21 e 22 - 4 μm) para o fogo, um

(canal 21) que satura na temperatura de 500° K e o outro (canal 22) que satura a 331°K. Desde que este canal de baixa saturação seja menos ruidoso e possua um erro de quantização menor, a T₄ é definida, sempre que possível por este. No entanto, quando este canal 22 satura, ou perde os dados, a T₄ passa a ser definida por um canal de saturação mais elevada, canal 31 (11 μm) que satura a 400°K. A banda do infravermelho próximo de resolução de 250m (0,86 μm), é também, usada para identificar superfícies altamente reflectivas que são, provavelmente, as causadoras dos falsos alarmes de queimadas. Durante a noite, os produtos de queimadas podem ainda, utilizar os canais de 1.65 e 2.15 μm (Justice *et al.*, 2002b).

A estratégia de identificação de focos de incêndios é baseada tanto na detecção absoluta, quanto na relativa das queimadas, podendo ser resumida através da combinação dos diversos testes realizados por estes autores (Justice *et al.*, 2002b) e descritos, de modo que, um *pixel* seja classificado como uma queimada durante o dia, se as seguintes condições forem satisfeitas:

$$\{T_4 > \text{média}(T_4) + 3\text{desvios_padrões}(T_4) \text{ ou } T_4 > 330^\circ\text{K}\} \text{ e,}$$

$$\{T_4 - T_{11} > \text{mediana}(T_4 - T_{11}) + 3\text{desvios_padrões}(T_4 - T_{11}) \text{ ou } T_4 - T_{11} > 25^\circ\text{K}\} \text{ ou,}$$

$$T_4 > 360^\circ\text{K}$$

Para o algoritmo utilizado para os cálculos noturnos, tem-se:

$$\{T_4 > \text{média}(T_4) + 3\text{desvios_padrões}(T_4) \text{ ou } T_4 > 315^\circ\text{K}\} \text{ e}$$

$$\{T_4 - T_{11} > \text{mediana}(T_4 - T_{11}) + 3\text{desvios_padrões}(T_4 - T_{11}) \text{ ou } T_4 - T_{11} > 10^\circ\text{K}\} \text{ ou}$$

$$T_4 > 330^\circ\text{K}$$

Finalizando, quando ocorrer à possibilidade de falsas detecções para observações durante o dia, o *pixel* é rejeitado se os canais de resolução de 250

m apresentarem uma reflectância acima de 30% ou se encontrar dentro de uma posição de 40° da reflexão especular (Justice *et al.*, 2002b).

O MOD 44 utiliza dados das bandas com resolução espacial de 250 m, e os produtos da conversão da cobertura vegetal com o objetivo de mostrar a distribuição global da ocorrência de mudanças desta superfície. Quando a evidência é suficiente, o tipo de mudança é classificado, por exemplo, a conversão de florestas em áreas agrícolas. A distribuição destas mudanças é representada em uma resolução de 250 m e como uma grade resumida de 10 Km (Justice *et al.*, 2002a). Esta é gerada em intervalos de três meses. Um produto interanual também é produzido, mostrando a mudança da cobertura vegetal no ano anterior. As composições para um período acima de 1 mês, utilizam uma base de dados multitemporais em grade de 1 Km, como entrada para algoritmos de caracterização de mudança e classificação.

Estes tipos de cobertura da superfície terrestres incluem: categorias de vegetações naturais separadas pelas formas de vida; três classes de cobertura terrestre mosaicadas; e três não vegetadas. As classes das coberturas vegetais são obtidas a partir de uma base de dados de 32 dias, utilizando-se algoritmos de classificação a partir de árvore de decisão e redes neurais. Para reduzir o custo computacional e aumentar a flexibilidade, as classificações são feitas em nível continental. Resumindo, o parâmetro de 1 Km de resolução para a mudança do uso da terra foi projetado para quantificar as mudanças progressivas da superfície terrestre (Justice *et al.*, 2002a).

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BARKER, J.L., HARDEN, M.K., ANUTA, E. A., SMID, J. E., HOUGHT, D. (1992). MODIS Spectral Sensivity Study: Requirements and Characterization. October, 84p.
- CHAN, J.C.W.; DE FRIES, R.S.; ZHAN, X.; HUANG, C.; TOWNSHEND, J. R. G. (2000). Texture feature cover change detection at 250m resolution an application of machine learning feature superficial. In: IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Honolulu, *Proceedings* p.3060-3063.
- HANSEN, M.C.; DE FRIES, R.S.; DIMICELI, C.; HUANG, C.; SOHLBERG, R.; ZHAN, X., TOWNSHEND, J. R. G. (1998). Red and infrared space partitioning for detection land cover change. In: IEEE 1998 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Seattle, Washington. *Proceedings*. V, 2512-2514
- HUETE, A. R., LIU, H. Q., BATCHILY K., LEEUWEN W. (1997). A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3):440-451.
- HUETE, A., DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 83:195–213.
- JUSTICE, C O.; VERMOTE, E., TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, P. D.; HALL, D.K, SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4):1228-1247.
- JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G., VERMOTE, E. F., MASUOKA, E., WOLFE, R. E., SALEOUS, N., ROY, D. P., MORISETTE, J. T. (2002a). An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sens. Environ.* 83: 3 –15.

- JUSTICE, C. O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J.T.; ROY, D.P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. (2002b). The MODIS fire products. *Remote Sens. Environ.* 83:244-262.
- KING, M., KAUFMAN, Y; MENZEL, W., TANRÉ, D. (1992). Remote Sensing of cloud, aerosol, and water vapor properties from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 30(1):1-27.
- LAMBIN, E. F.; STRAHLER, A. H. (1994a). Change vector analysis in multitemporal space: a tool to detect and categorize land cover change processes using high temporal resolution satellite data. *Remote Sens. Environ.* 48:231-244.
- LAMBIN, E. F.; STRAHLER, A. H. (1994b). Indicators of land cover change for change vector analysis in multitemporal space at coarse spatial scales. *International Journal of Remote Sensing*, v. 15, n. 10, p. 2099-2119.
- LILLESAND T.M., KIEFER R. W. (1994). *Remote Sensing and image interpretation*, 3 ed. Pul. Wiley.
- MYNENI, R. B.; HOFFMAN, S.; KNYAZIKHIN, Y.; PRIVETTE, J. L.; GLASSY, J.; TIAN, Y.; WANG, Y.; SONG, X.; ZHANG, Y.; SMITH, G. R.; LOTSH, A.; FRIEDL, M.; MORRISETTE, J. T.; VOTAVA, P.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. (2002). Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Remote Sens. Environ.* 83: 214–231.
- NASA, (2002). MODIS web. <[Http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/MODIS/index.html](http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/MODIS/index.html)> Acesso em 20 dezembro 2002.
- ROY, D., BORAK, J, DEVADIGA, S., WOLFE, R., ZHENG, M., DESCLOITRES, J. (2002). The MODIS land product quality assessment approach *Remote Sensing of Environment*, 83:62-76.
- RUNNING, S. W.; JUSTICE, C. W.; SALOMONSON, V.; HALL, D.; BARKER, J.; KAUFMAN, Y.; STRAHLER, A.; MULLER, J. P.; VANDERBILT, V.; WAN, Z.M.;

- TEILLET, P.; CARNEGIE, D. (1994). Terrestrial Remote Sensing Science and Algorithms planned for EOS/MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 15(17), 3587-3620.
- SALOMONSON, V. V., & TOLL, D. L. (1991). Execution phase (C/D) spectral band characteristics of the EOS moderate resolution imaging spectrometer-nadir (MODIS-N) facility instrument. *Advances in Space Research*, 11(3), 231-236.
- SALOMONSON, V. V., BARNES, W. L., MAYMON, P. W., MONTGOMERY, H. E., & OSTROW, H. (1989). MODIS: Advanced facility instrument for studies of the earth as a system. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 27(2), 145-153.
- SALOMONSON, V. V.; BARKER, J. L. (1992). EOS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: phase C/D status and comments on calibration and georeferencing approaches, 15th Annual AAS Guidance and Control Conference, Paper AAS 92-004, Keystone, CO, Feb. 8-12.
- STRAHLER, A.; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; LAMBIN, E.; MOODY, A. (1999). MODIS Land Cover and Land-Cover Change products algorithm theoretical basis document (ATBD). Version 5.0, Center for Remote Sensing, Department of Geography, Boston University, May, 72p.
- STRAHLER, A.; TOWNSHEND, J.R.G.; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; HYMAN, A.; MOODY, A.; LAMBIN, E. (1996). MODIS land cover product algorithm theoretical basis document (ATBD). Version 4.1, NASA, EOS-MTPE, Documentation, 102p.
- TANRÉ D., DEROO C., DUHAUT P., HERMAN M., MORCRETTE J.J., PERBOS J., DESCHAMPS P.Y., Description of a computer code to Simulate the Satellite Signal in the Solar Spectrum, *Int. J. Remote Sens.*, vol.11, pp 659-668, 1990
- TANRE, D.; DEROO, C.; DEHAUT, P.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J.J.; PERBOS, J.; DESCHAMPS, P.Y. (1986). Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum.

User's Guide, L.O.A, Lille, 149p.

TELES, J.; SAMII, M. V.; DOLL, C. E. (1995). Overview of TDRSS. *Advances in Space Research*, 16:1267-1276.

TOWNSHEND, J. R. G., JUSTICE, C., LI, W.; GURNEY, C.; MCMANUS, J. (1991). Global land cover classification by remote sensing: Present capabilities and future possibilities. *Remote Sens. Environ.* 35:243–255.

WOLFE, R. E., NISHIHAMA, M., FLEIG, A. J., KUYPER, J. A., ROY, D. P., STOREY, J. C., PATT, F. S. (2002). Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. *Remote Sens. Environ.* 83: 31– 49.

ZHAN, X.; DE FRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G.; DIMICELIX, C. M.; HANSEN, M.; DEFRIES, R. S.; HUANG, C. (2000). The 250 m global land cover change product from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometers os NASA's Earth Observation System. *International Journal of Remote Sensing*. 21:1433-1460.