



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-10131-RPQ/752

SENSOR MODIS: UMA ABORDAGEM GERAL

Liana Oighenstein Anderson
Marcelo Lopes Latorre
Yosio Edemir Shimabukuro
Egídio Arai
Osmar Abílio de Carvalho Júnior

SENSOR MODIS

1 – INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os cientistas têm reconstituído os sinais de mudanças no clima da Terra, através de estudos de rochas antigas, geleiras, padrões no crescimento dos anéis das árvores, dados históricos de clima, e dados de satélite. Sabe-se que o clima da Terra mudou diversas vezes no decorrer da história. Mudanças na inclinação do eixo da Terra, correntes oceânicas e erupções vulcânicas influenciaram o clima e a vida no planeta. Hoje, os cientistas vêm acumulando evidências de que as atividades industriais e agropecuárias estão acelerando mudanças de ocorrência naturais no clima, contribuindo com a expansão de áreas desertificadas, aumento no nível dos oceanos, diminuição da camada de ozônio, chuva ácida e perda da biodiversidade.

Para responder a estas questões, é necessário que se estude o planeta Terra como um sistema integrado, devido às relações entre a vida, os oceanos e a atmosfera estarem intrinsecamente ligadas. Nuvens, gases e partículas de aerossóis na atmosfera afetam os oceanos e a terra. Por exemplo, a vida das plantas marinhas depende do precioso pó de ferro que os ventos trazem das regiões áridas e depositam no oceano. Mudanças que ocorrem na terra podem também influenciar a atmosfera. Estudos em todo o mundo mostram que o asfalto e o concreto de áreas urbanas podem absorver e re-irradiar energia suficiente para a atmosfera, de forma a disparar tempestades. Os cientistas predizem que um desmatamento massivo nas florestas tropicais poderia acarretar em uma diminuição das chuvas tropicais, já que as árvores e outras vegetações participam no ciclo hidrológico, através da liberação de vapor de água na atmosfera. Um diagrama esquemático dos sistemas terrestres e suas interações pode ser observado na Figura 1, envolvendo o sistema físico climático, ciclos biogeoquímicos, forças externas, e efeitos das atividades humanas.

A comunidade científica, para tanto, (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, prever, com a devida antecedência, as possíveis alterações nestes ecossistemas. Mas, para que os cientistas pudessem começar a entender e modelar as dinâmicas globais, surgiu a necessidade de gerar informações a respeito das dinâmicas dos ecossistemas e interferências humanas nestes ciclos, com uma maior precisão e uma maior repetitividade. Assim, de modo a diferenciar as tendências a curto e longo prazo, bem como distinguir fenômenos regionais de globais, estes dados deveriam ser coletados a cada dia e por um longo período de tempo, de maneira a

representar cada região da superfície terrestre, os oceanos e a atmosfera. Adicionalmente, estes dados deveriam ser coletados em um amplo espectro de energia eletromagnética (ultravioleta a microondas). Baseado nesta necessidade foram desenvolvidos novos instrumentos para a coleta destes dados, tendo como exemplo, o próprio sensor MODIS.

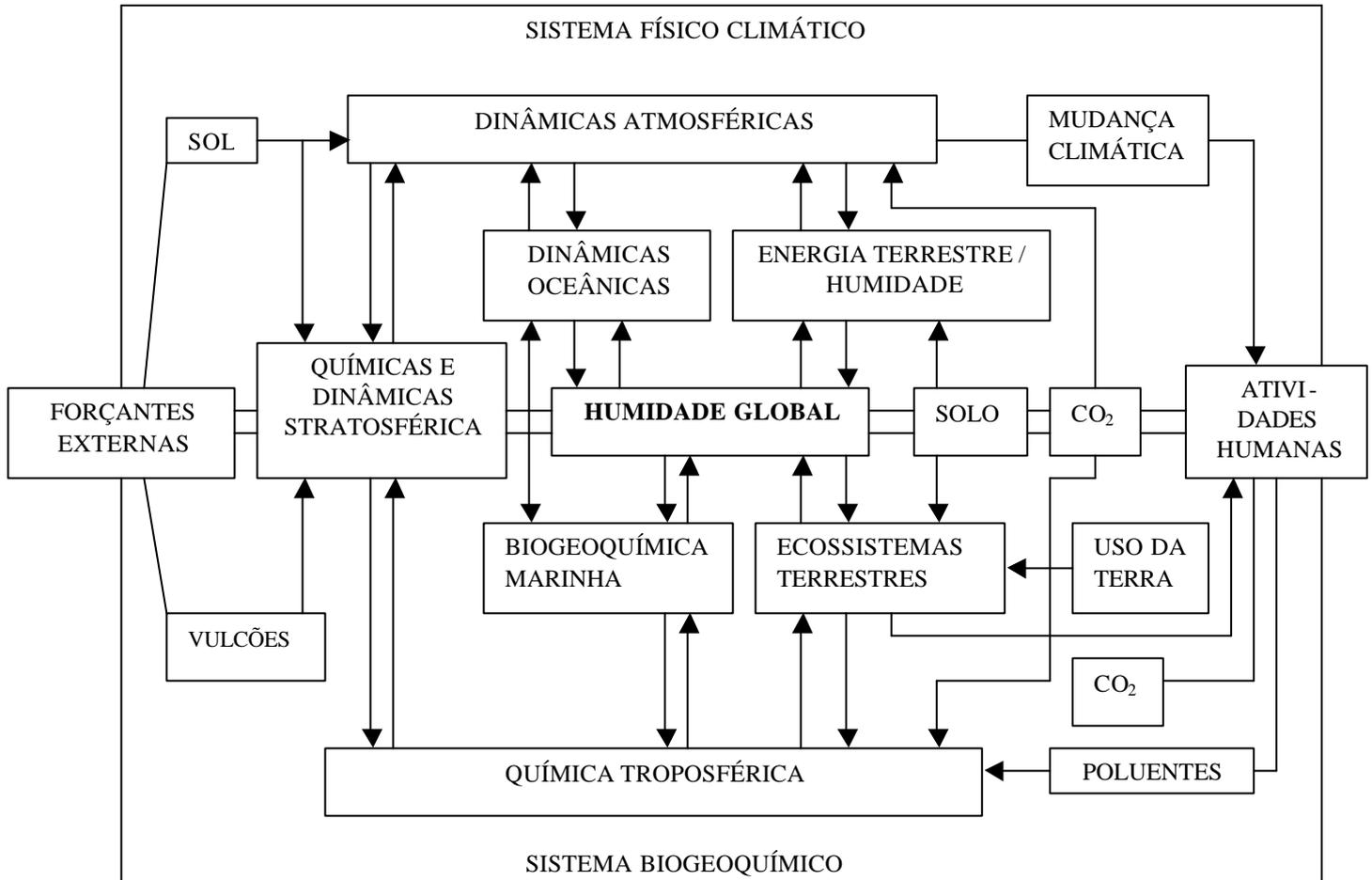


FIGURA 1. Diagrama esquemático dos sistemas terrestres e suas interações, englobando o sistema físico climático, ciclos biogeoquímicos, forçantes externas, e os efeitos das atividades humanas.

FONTE: Adaptada de *Earth System Science: Overview*, NASA (1986).

2 – ESE (EARTH SCIENCE ENTERPRISES)

O comitê espacial Norte Americano 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. Estes dados adquiridos em todo o planeta permitem um monitoramento de longa duração da superfície, necessários para o entendimento de mudanças globais (Justice *et al.*, 2002a).

Neste 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, com o horário de passagem as 10:30 hs. da manhã. Este satélite possui cinco sensores: MODIS, MISR, ASTER, CERES e MOPITT. Um mosaico formado por imagens coletadas pelo sensor MODIS, o principal sensor a bordo do satélite Terra, pode ser observado na Figura 2.

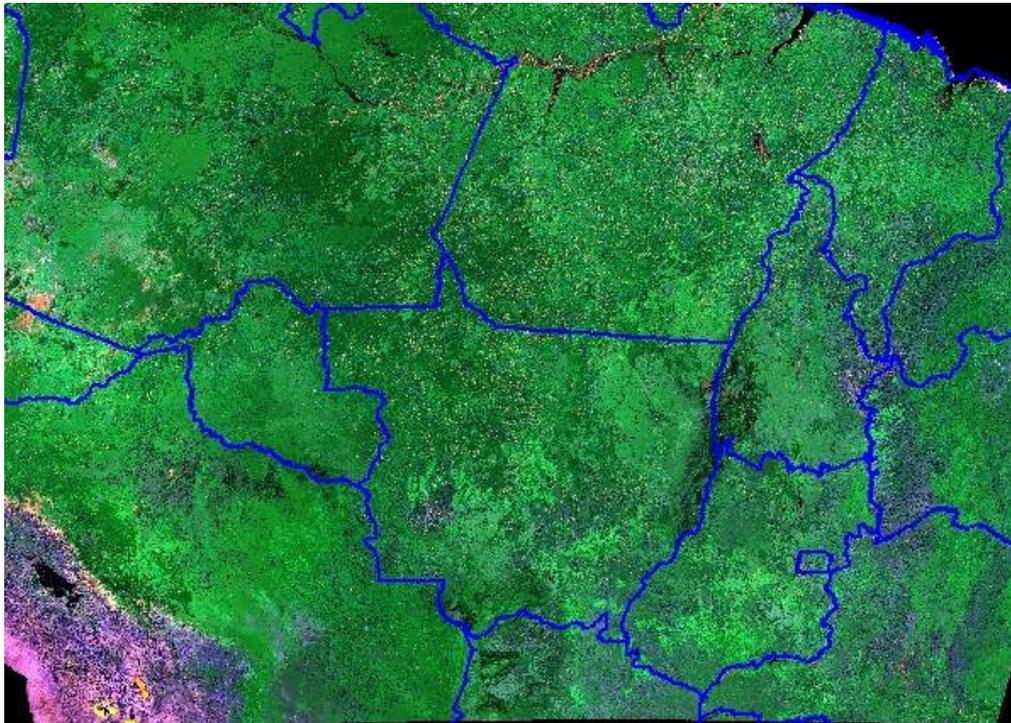


FIGURA 2. Mosaico de imagens MODIS abrangendo parte das regiões Norte, Centro-oeste e Nordeste, obtidas em fevereiro de 2002.

O lançamento do EOS AM-1 marcou o início do entendimento e monitoramento da radiação solar, atmosfera, oceanos e dos continentes, a partir de uma única plataforma espacial. As prioridades científicas da EOS são de prover observações globais e entendimento científico de (NASA, 1986):

- mudanças na cobertura da terra e produtividade global, incluindo tendências e modelos em escalas regional, biodiversidade e produtividade primária global;

- predição de clima sazonal a interanual, que melhora os cálculos do tempo e da extensão geográfica de anomalias climáticas;
- perigos naturais, incluindo a caracterização de desastres e redução de riscos, como, queimadas, vulcanismos, inundações e estiagens;
- estudo da variabilidade climática a longo prazo, para ajudar os cientistas identificar os mecanismos e fatores que determinam as variações climáticas, incluindo os impactos das alterações humanas; e
- estudo do ozônio atmosférico, para auxiliar os cientistas a detectar mudanças, suas causas e conseqüências.

O segundo satélite lançado foi o AQUA, em maio de 2002, com o horário de passagem as 13:30 hs. da tarde, portando os sensores: MODIS, AMSU, HBS, AMSR-E e CERES. Atualmente existem três outros satélites do projeto EOS em órbita, e mais 15 estão previstos para serem lançados nos próximos quatro anos. Juntos, estas plataformas espaciais vão ajudar os cientistas a desvendar os processos climáticos e de mudanças ambientais bem como seus impactos. Uma das metas da NASA é a de testar novas tecnologias, e com o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), o principal sensor, com 36 bandas espectrais e uma resolução radiométrica de 12 bits inicia-se este novo projeto. Este sensor possui um maior número de bandas espectrais que os outros imageadores de baixa - média resolução espacial já lançados.

2.1– Sensor MODIS/ Satélite TERRA

O MODIS é o principal sensor desenvolvido para estes satélites, e apresenta, segundo Barker *et al.* (1992) inúmeras características, entre elas:

- Ampla cobertura espacial e espectral;
- Continuidade nas tomadas de medidas nas regiões espectrais, que já estão sendo estimadas por outros satélites, vindo a complementar as informações, já adquiridas por estes. Como exemplo, o conjunto de dados adquiridos pelo AVHRR, usado para a meteorologia e monitoramento da temperatura da superfície do mar, gelo e vegetação; e pelo *Coastal Zone Color Scanne (CZSC)*, usado para monitorar a biomassa oceânica e os seus padrões de circulação; e
- É a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução das pesquisas de mudanças globais.

2.1.1–Características Gerais

O MODIS é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite TERRA (formalmente conhecido como EOS-AM-1). Este sensor foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global quase diariamente (Justice, 2002). As especificações técnicas deste sensor estão dispostas na Tabela 1.

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)

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

As 36 bandas espectrais deste sensor estão localizadas (Tabela 2 e 3) em função de um comprimento de onda, cuidadosamente escolhido para a observação de feições das propriedades das nuvens, dinâmica e as propriedades da vegetação na cobertura terrestre, e a temperatura da superfície dos oceanos no mundo (Salomonson e Toll, 1990). Estas especificações têm como objetivo evitar as bandas de absorção atmosférica, além de outras feições (linha de Fraunhofer), durante a observação e monitoramento da superfície terrestre (Salomonson e Barker, 1992; Strahler *et al.*, 1999).

Observa-se que, as primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm a 2155 nm, de forma que as bandas 1-7 estão 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 2), com exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro (3660nm a 14385nm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais (Barker *et al.*, 1992).

TABELA 2–Especificações das Bandas 1 a19 do Sensor MODIS.

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

TABELA 3–Especificações das Bandas 20 a 36 do Sensor MODIS.

Uso Primário	Banda	Largura de Banda (nm)	Resolução Espacial	NED T ¹ *
Temperatura nuvens/superfície	20	3660-3840	1000	0,05
	21	3929-3989	1000	2,00
	22	3929-3989	1000	0,07
	23	4020-4080	1000	0,07
Temperatura Atmosférica	24	4433-4498	1000	0,25
	25	4482-4549	1000	0,25
Cirrus	26	1360-1390	1000	150 ⁽²⁾
Vapor d' água	27	6535-6895	1000	0,25
	28	7175-7475	1000	0,25
	29	8400-8700	1000	0,05
Ozônio	30	9580-9880	1000	0,25
Temperatura nuvens/superfície	31	10780-11280	1000	0,05
	32	11770-12270	1000	0,05
Altitude Topo da nuvem	33	13185-13485	1000	0,25
	34	13485-13785	1000	0,25
	35	13785-14085	1000	0,25
	36	14085-14385	1000	0,35

1-NEDT¹– “oise-equivalent temperature difference” // **2-SNR**– “Signal-to-noise ratio”.

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

É pertinente salientar que, devido à natureza altamente quantitativa dos objetivos do EOS, as especificações para as características radiométricas, espectrais e geométricas dos instrumentos foram muito severas (Barker *et al.*, 1992). Conseqüentemente, o MODIS tende a aperfeiçoar sistemas como o AVHRR (Figura 3), 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” (MISR²) e o *Cloud and Earth’s Radiant Energy System (CERES³)*, determinar o impacto das nuvens e aerossóis no balanço energético da Terra (Strahler *et al.*, 1999).

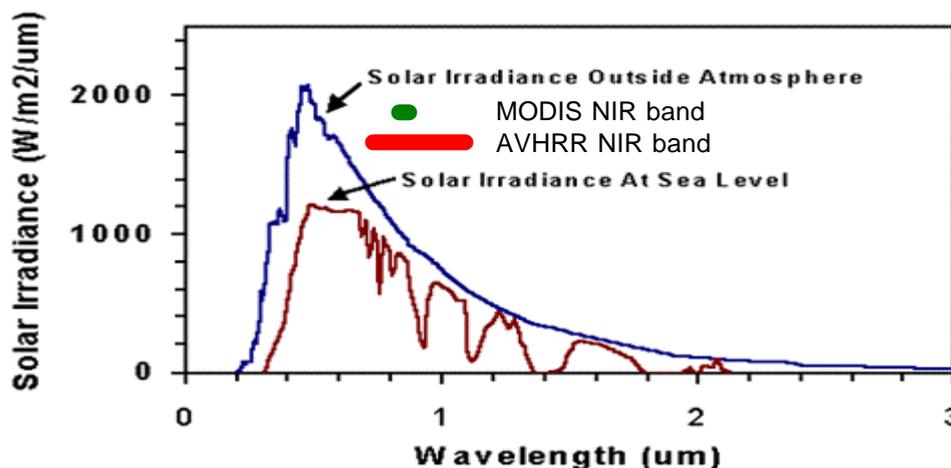


FIGURA 3. Comparação das resoluções radiométricas entre os sensores AVHRR e MODIS.
FONTE: Adaptada de Townshend & Justice (1998).

2.1.2.1– Resolução Radiométrica

As bandas desenvolvidas para o monitoramento da superfície terrestre têm uma herança do *Landsat Thematic Mapper* (Figura 4), com capacidades melhoradas tanto nos menores comprimentos de onda quanto no infravermelho (Justice *et al.*, 1998). Uma lista das principais características do MODIS para o sensoriamento remoto da superfície terrestre esta sumarizada no item 2.1.1 deste documento.

¹ NEAT – é a medida de desempenho de um sensor termal (Barker *et al.*,1992).

² 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.

³ CERES - Sensor que compõem o satélite Terra, com a finalidade de coletar medidas de fluxo de energia e radiação (atmosfera).

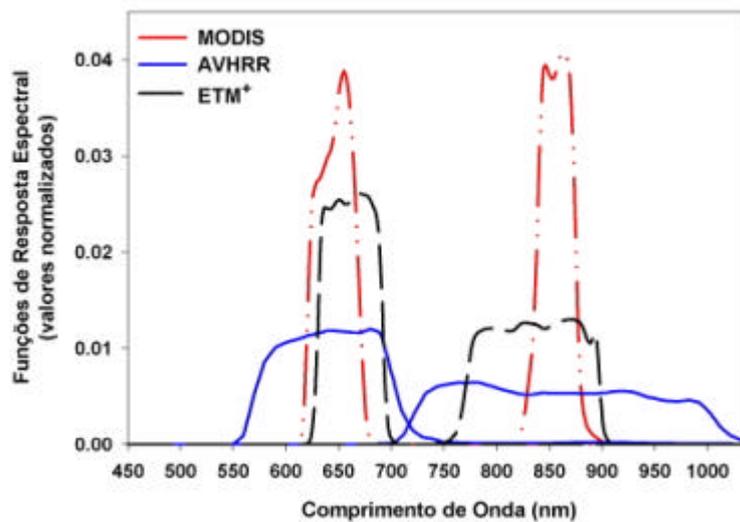


FIGURA 4. Disposição e largura de bandas do sensor MODIS em relação aos sensores ETM+ e AVHRR.

FONTE: Adaptada de Justice et al. (1998).

Mesmo com muitos dos algoritmos utilizados pelas bandas do *MODland* (produtos MODIS voltados para estudos das áreas continentais do planeta) terem sido desenvolvidos especificamente para a comunidade que trabalha com a parte da superfície da terra, houve um compromisso no desenvolvimento de algumas destas bandas para serem utilizadas pelos grupos de pesquisa do Oceano e Atmosfera. Por exemplo, os requerimentos do grupo Oceano, foram o de manter uma alta relação sinal/ruído para a superfície do mar, enquanto que as necessidades para o grupo Terra, foi o de permitir a saturação da temperatura acima das áreas queimando (focos de incêndio). Embora esta seja uma tendência comum para pequenas missões do Sensoriamento Remoto, imagens operacionais irão permanecer com diversos propósitos para antever o futuro, onde compromissos similares serão pesquisados (Townshend e Justice, 2002).

A resolução radiométrica e suas aplicações para o monitoramento da superfície terrestre podem ser observadas na Tabela 4, a seguir. Portanto, pode-se afirmar que o sensor MODIS fornece uma alta sensibilidade radiométrica, específicas para as necessidades da comunidade científica, fornecendo uma excelente resposta para cada banda (Strahler et al., 1996).

TABELA 4 - Resoluções Radiométricas do Sensor MODIS para as Bandas de Estudo da Superfície Terrestre.

Uso preliminar	Bandas	Largura da banda	Radiância espectral
Terra/ Nuvens / Limites de aerossóis	1	620-670	21.8
	2	841-876	24.7
Terra/ Nuvens/ Propriedade de aerossóis	3	459-479	35.3
	4	545-565	29
	5	1230-1250	5.4
	6	1628-1652	7.3
	7	2105-2155	1

FONTE: Adaptada do website <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specs.html> (2003)

2.1.2.2– A resolução Espacial e Temporal do Sensor MODIS

A interpretação correta das informações científicas desde produtos globais, até os produtos em séries temporais requerem habilidade para discriminar entre artefatos da aquisição e os processos de mudanças na Terra que estão sendo monitorados. Estudos de detecção de mudanças através do sensoriamento remoto são baseados no fato de que distúrbios, tanto naturais quanto de origem antrópica no meio ambiente, produzem variações detectáveis na resposta espectral do alvo ou do fenômeno estudado. No entanto, quando tratamos com imagens geradas a partir do sensoriamento remoto, a radiação detectada pelo sensor é causada pela mistura da resposta de diferentes alvos e os efeitos atmosféricos, que podem causar alterações importantes nos dados. Os fatores relacionados a cada sistema sensor (diferença na resolução espacial, variações nas respostas radiométricas), e ao meio ambiente (absorção e espalhamento atmosféricos, quantidade de moléculas dispersas na atmosfera, presença de nuvens e suas sombras, variação na irradiância e ângulo solar, variações na fenologia vegetal e nos componentes do solo segundo as mudanças estacionais) podem também interferir nos resultados das detecções (Singh, 1989).

Existe uma discussão emergente a respeito de qual deve ser a escala mais apropriada para analisar a conversão da cobertura da terra. Malingreau e Tucker (1988) mostraram eficácia de 4-8 Km de dados *Global Area Coverage (GAC)* para delimitar os grandes tipos de fisionomias globais. A utilização de dados 8-15 Km para a classificação da cobertura da terra e sua fenologia, foi também demonstrado como persistente por outros autores (Tucker et al., 1985), mas é demasiadamente grosseira para monitorar mudanças na cobertura da terra e para

detectar conversões de 1 Km de área ou mais finas. Estas observações são suportadas por análises detalhadas do desmatamento tropical, que sugerem que 1 Km pode ser grosseira demais para detectar e quantificar desmatamentos em algumas regiões (Strahler et al., 1999).

Diversas aproximações da correção de proporções do tipo de cobertura foram exploradas na literatura. Estas variam desde métodos simples de regressão em que as resoluções mais finas são associadas as variáveis espectrais de dados com resolução mais grosseira, até métodos que utilizam modelos de previsão de árvores de regressão para prever as variáveis espectrais de um modelo de escala mais fino. Mayaux e Lambin (1995) examinaram a determinação da área de florestas através dos dados LAC (Local Area Coverage) do AVHRR, fornecendo um procedimento de dois passos para estimar, através do índice de Matheron, o limite para a área de uma classe dentro de uma unidade, e estimar uma regressão para interceptar as resoluções mais finas e mais grosseiras. Estenderam recentemente seu trabalho à calibração inversa de proporções da cobertura usando diversas medidas de texturas espaciais, incluindo uma simulação do MODIS em 1 Km com uma medida da textura do desvio padrão derivada de uma faixa de 250-m (Mayoux e Lambin, 1995). Neste estudo chegaram a conclusão que a resolução de 250 m é a mais eficaz, com um erro de menos de 9% na classificação (Strahler et al., 1999).

Entretanto, estes dados relativamente grosseiros são frequentemente inadequados para detectar as mudanças causadas por fatores antropogênicos. As análises de muitos tipos de mudanças nas coberturas vegetais indicam que estas são relativamente pequenas no tamanho devido à natureza inerente das conversões antropogênicas locais. Conseqüentemente uma proporção muito grande das mudanças é somente detectável em definições espaciais finas.

Muitas das mudanças no uso e cobertura da terra que ocorrem devido a ações antrópicas possuem uma escala espacial próxima de 250 m (Townshend e Justice, 1988), e as bandas mais apropriadas para a detecção destas mudanças estão localizadas na região do visível e infravermelho próximo (Figura 5).

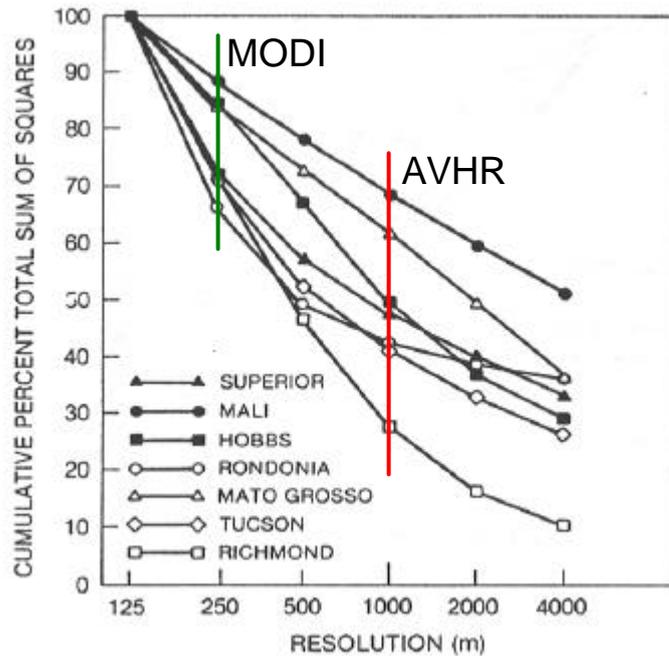


FIGURA 5. Comparação entre a capacidade de detectar mudanças, segundo a resolução espacial dos sensores MODIS e AVHRR.
 FONTE. Townshend e Justice (1998).

Dados de 250 m de resolução têm sido utilizados para a detecção de conversão da cobertura vegetal causado tanto por ações antrópicas, como desmatamento de florestas, quanto por processos naturais, como queimadas e inundações e estudos recentes têm utilizado os algoritmos de detecção de mudanças, como Conversão da Cobertura Vegetal (VCC) para produzir produtos de mudanças na superfície (Zahn et al., 2002).

As bandas do MODIS para o estudo da superfície terrestre (*land bands*) possuem resolução espacial de 250 m (para os canais do vermelho e infravermelho próximo) e 500 m (para a banda do azul) que são os valores nominais para pixels ao nadir. No limite da largura da área imageada (*swath*, que corresponde a 2.330 km), os pixels crescem com um fator de 2 vezes na direção ao longo da linha de imageamento (*long-track*) e de um fator de 5 vezes na direção através da linha de imageamento, denominado *cross-track* (Figura 6). Além disso, o erro de geolocalização é computado no centro de cada pixel, e é devido a incertezas no conhecimento de localização da plataforma e sua orientação (Justice et al., 2002a).

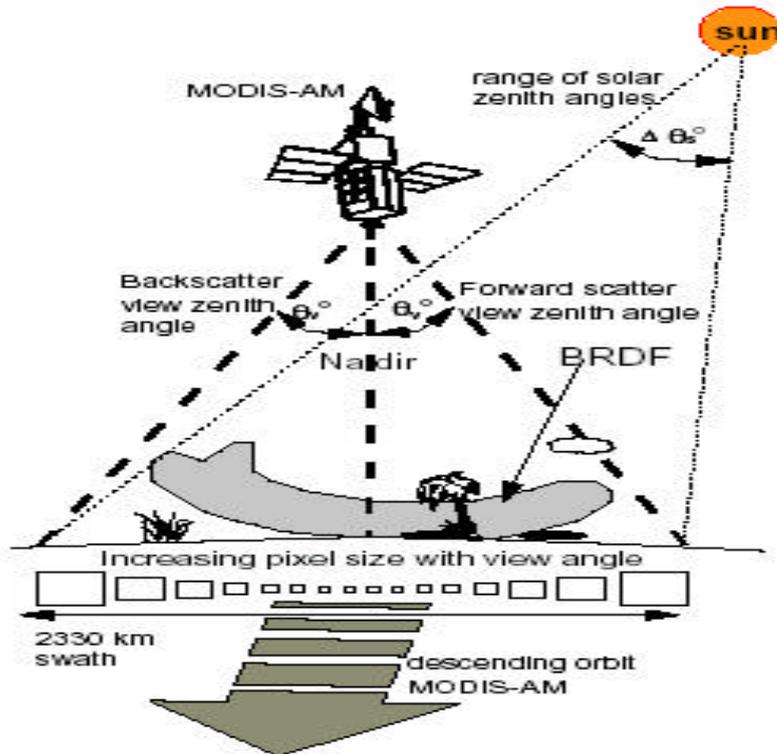


FIGURA 6. Representação esquemática da varredura do MODIS, mostrando o aumento no tamanho dos pixels com a variação do ângulo de visada.
 FONTE: van Leeuwen et al. (1999).

As melhores estimativas de pontuação de erro são de cerca de 85 metros na direção long-track e 153 metros na direção *across-track* (MODIS geolocation workshop, 8/8/96. Existem três desvios padrões (3 sigma) de valores projetados no nadir, que crescem com o aumento do ângulo de visada em uma moda similar ao tamanho do pixel. Erros de geolocalização, junto com o crescimento do tamanho dos pixels, geram um *effective instantaneous field view* (EIFOV), e significa que embora o sensor seja projetado para ter uma determinada resolução espacial nominal efetiva, esta é geralmente pior do que a resolução da projeção geométrica do detetor na superfície terrestre - Figura 7) de 1087 metros na direção ao longo da linha imageada e 1591 metros na direção através da faixa imageada. O EIFOV não inclui a névoa óptica ou espalhamento do instrumento, e esta é uma estimativa conservada da resolução espacial efetiva.

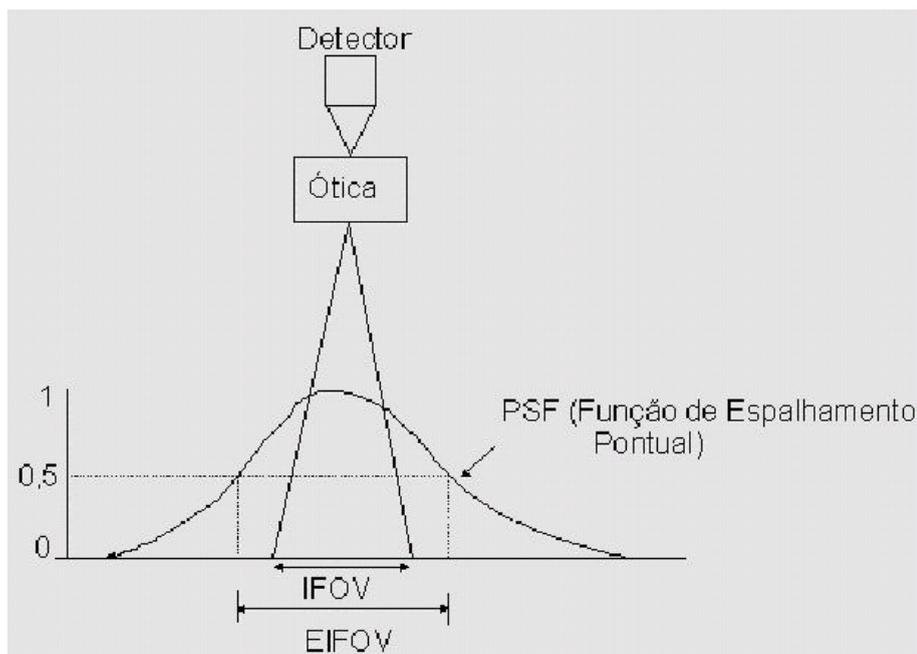


FIGURA.7 - Representação da resolução no nominal (IFOV) e da representação da resolução efetiva (EIFOV).

FONTE: Material de aula, disponível no site: www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/pdi1-introd.PDF (2003).

Na Tabela abaixo (Tabela 5), mostra-se uma comparação entre as resoluções espaciais entre dois sensores novos e os que vem sendo utilizados para estudos de monitoramento da terra.

TABELA 5 - Comparação Entre as Resoluções Espaciais dos Sensores ASTER, ETM+, MODISE e AVHRR, Utilizadas para o Monitoramento Terrestre.

BANDAS/RESOLUÇÃO ESPACIAL EM METROS	ASTER	ETM+	MODIS	AVHRR
AZUL	-	30	500	-
VERDE	15	30	500	-
VERMELHO	15	30	250	1000
IVP	15	30	250	1000
IVM	30	30	500	-
IVT	90	60	1000	DIVERSAS

FONTE: Adaptada do website: www.earthobservatory.nasa.gov.(2003).

Em relação à resolução temporal do satélite TERRA, é apresentado abaixo uma Tabela comparativa entre alguns sistemas sensores a bordo de satélites (Tabela 6).

TABELA 6 – Intervalos de Revisita de Alguns Satélites de Sensoriamento Remoto.

Sistema	INTERVALO DE REVISITA	Passagem no Equador
Landsat 5 e 7	16	09:45h e 10:00h
SPOT	26 (ao Nadir); 4 a 5 (com apontamento ^a)	10:30h
MODIS	2	10:30h ou 13:30h
ASTER	16	10:30h

(a) – Com direcionamento da visada para a lateral.

FONTE: Adaptada de Schowengerdt (1997).

Nota-se que o sensor MODIS possui um intervalo quase diário para a revisita de uma área, o que lhe confere uma grande capacidade para estudos de dinâmicas ecológicas tanto terrestres, quanto oceânicas.

2.1.3 - 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 8). 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 detetores cobertos por estreitos filtros espectrais. O MODIS imagea, simultaneamente, em cada banda, 10 fileiras de “pixels” para os detetores de 1Km; 20 para os detetores de 500m; e 40 para os detetores 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).

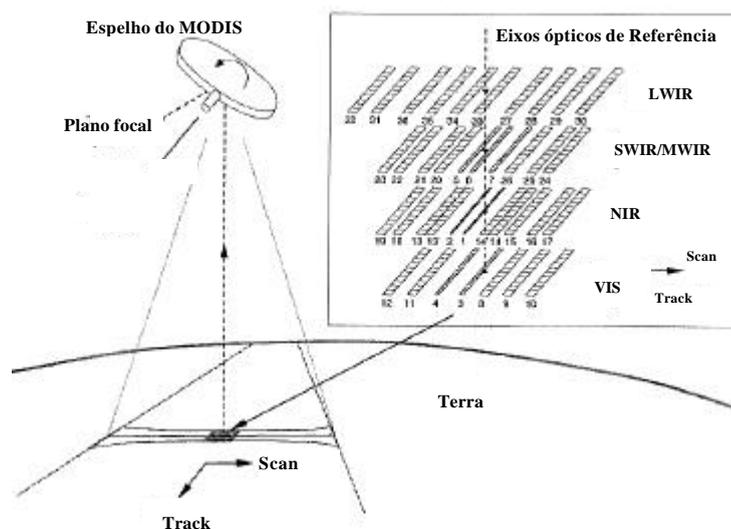


FIGURA 8- Apresentação geral da geometria de imageamento do sensor MODIS.

FONTE: Adaptada de Wolfe et al (2002).

Os detetores do MODIS são agrupados em quatro planos focais: Infravermelho Termal – (*Long Wave Infrared LWIR*); Infravermelho Médio (*Short/Medium Wave Infrared-SWIR/MWIR*), Infravermelho Próximo (*Near Infrared - NIR*) e Visível (*Visible VIS*). Esses 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. 9).

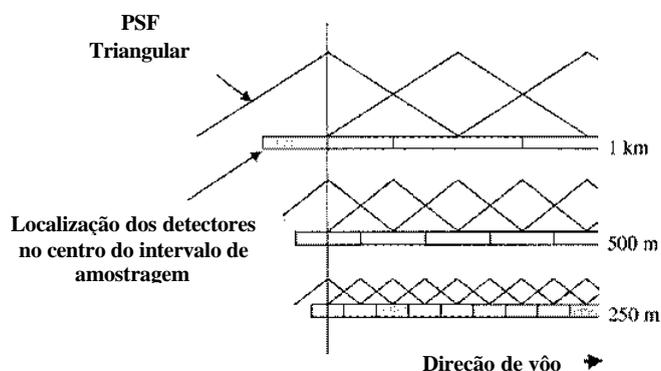


FIGURA 9–Esquema do alinhamento dos detetores para as três resoluções espaciais do MODIS.

FONTE: Adaptada de Wolfe *et al.* (2002, p.34).

A Figura 10 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 a velocidade angular do espelho e de deslocamento do satélite, estes sistemas irão fornecer um imageamento com uma capacidade de superposição variando de 10 a 50%.

Quanto ao seu campo de visada (IFOV), este poderá aumentar de 2 a 4,8 vezes em relação à posição nadir, ou seja, nas direções “Track” e “Scan”, respectivamente.

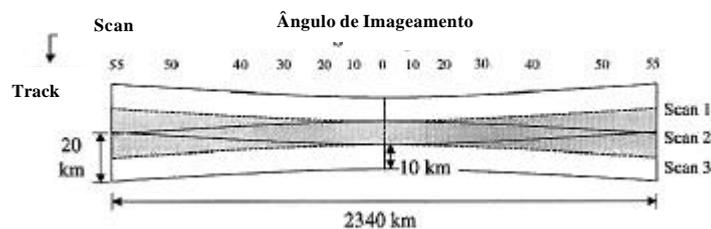


FIGURA 10—A projeção no solo de três imageamentos consecutivos do Sensor MODIS.

FONTE: Adaptada de Wolfe *et al.* (2002).

2.1.4—Geolocalização do Sensor MODIS

A geolocalização (georeferenciamento) do sensor 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 a 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) (Telles *et al.*, 1995).

Os produtos de georeferenciamento do sensor MODIS definem as coordenadas geodésicas, elevação do solo (altitude), e ângulos zenitais solar e azimutal para cada amostra de 1 Km do MODIS. Esses 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 da geolocalização 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 geolocalização 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 (Barnes *et al.*, 1998). A localização nominal ao longo do imageamento (*Along-scan*) e a banda 0 podem ser observadas na Figura 11.

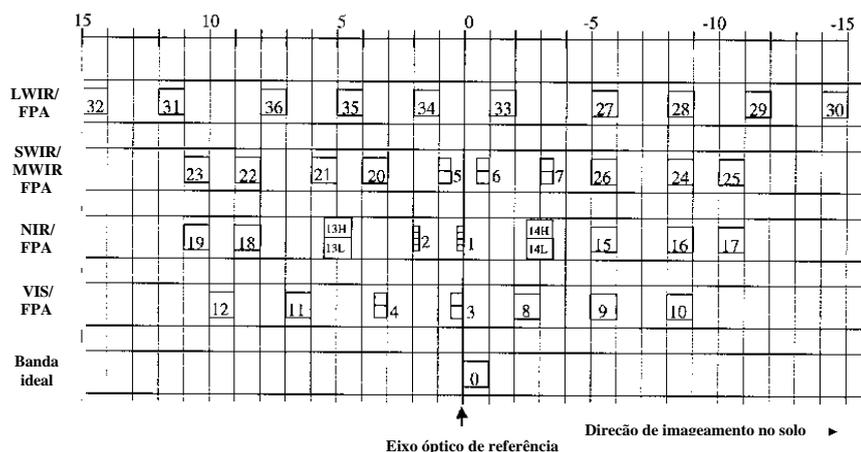


FIGURA 11 – Esquema dos planos focais do sensor MODIS, mostrando as localizações dos detetores em relação a um eixo de referência óptica.

FONTE: Adaptada de Wolfe *et al.* (2002, p.34).

No momento do lançamento, o sensor MODIS apresentava uma precisão de geolocalização de 1 700 metros, e com o ajuste inicial dos algoritmos, em maio de 2000 a precisão já era de 150 metros. Em dezembro de 2000, a acurácia de geolocalização atingiu 50 metros, conforme havia sido planejado pelo projeto.

3. Níveis de Processamento dos Dados

Assim 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). Esses 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:

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 soma de 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 alguma perda ou “pixels” de baixa qualidade. 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 da abertura de radiância 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 e são armazenados em um espaço original do sensor. 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.

Cumprе 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 minutos 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 deste nível 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 *Tile*, a qual corresponde a uma área geocodificada de 1200 X 1200 Km (Figura 12).

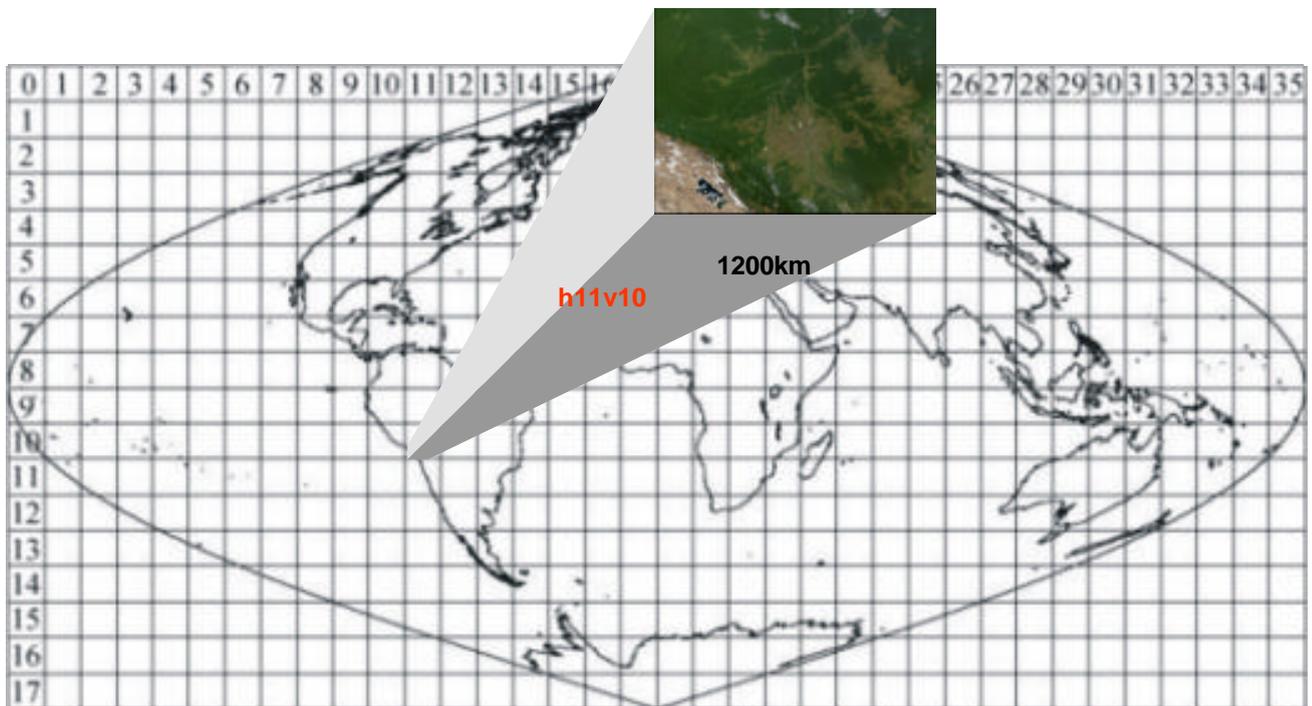


FIGURA 12. Critério de espacialização das cenas obtidas pelo sensor MODIS. Cada quadrado, ou Tile defini uma cena.

FONTE: UFG (2003).

A Tabela 7 ilustra a definição dos níveis de processamento existentes para alguns dos diversos produtos do sensor MODIS.

TABELA 7 – Exemplo de Níveis de Processamento de Alguns Produtos Gerados pelo Sensor MODIS.

NÍVEIS	2/2G	3	4
PRODUTOS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cobertura de Neve; ➤ Reflectância da Superfície; ➤ Anomalias Termiais; ➤ Temp. da superfície; ➤ Grade angular de dados 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cobertura de Neve; ➤ Reflectância da Superfície; ➤ Anomalias Termiais; ➤ Temp. da superfície; ➤ Albedo/Índice de Vegetação; ➤ Reflectância bi-direcional; ➤ IAF ➤ Mudança da Cobertura Terrestre/Cobertura Terrestre 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Evapotranspiração; ➤ FPAR.

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

4. 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). Além disso, o EOSDIS fornece as missões de sistemas operacionais que atuam nas funções de controle e comando dos instrumentos do satélite.

O *EOSDIS Core System* (ECS) é o setor responsável pelo acompanhamento (fornecimento da arquitetura computacional necessária) de todos esses objetivos, onde 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).

A técnica dos resultados da garantia de qualidade (QA) está na coordenação da armazenagem destes para todos os produtos MODIS, bem como a capacidade de identificar a situação real da qualidade dos dados que são disponibilizados para a comunidade científica. Um exemplo dos dados *Quality Assurance* que são fornecidos juntamente com os produtos MODIS podem ser observados na Figura 13:.

Data		"Bit Number"															
2001	2002	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
73 %	85 %	10			0110			00	0	1	0	0	01		0	0	1
23 %	14 %	10			0110			00	1	0	0	0	01		0	0	1
Qualidade do IV (00 - IV produzido com boa qualidade; 01 - IV produzido com qualidade duvidosa; 10 - IV produzido com contaminação de nuvens ; 11 - IV não produzido)																	
Índice de Utilidade do IV (0000 - qualidade perfeita; 0001 - alta qualidade; 0010 - boa qualidade; 0011 - qualidade aceitável; 0100 - qualidade regular; 0101 - qualidade intermediária; 0110 - abaixo da qualidade intermediária ; 0111 - qualidade média; ...																	
Quantidade de Aerosol (00 - correção atmosférica baseada em climatologia ; 01 - baixa; 10 - intermediária; 11 - alta)																	
Atmosfera - Correção para Efeitos de Adjacência (0 - sem correção ; 1 - com correção)																	
Atmosfera - Correção para efeito de BRDF (0 - sem correção ; 1 - com correção)																	
Nuvens Misturadas (0 - sem nuvens misturadas ; 1 - com nuvens misturadas)																	
Máscara Água/Terra (00 - Oceanos / corpos d'água continentais; 01 - região costeira ; 10 - áreas alagadiças; 11 - terra)																	
Neve / Gelo (0 - não; 1 - sim)																	
Sombra (0 - não; 1 - sim)																	
Método de Compositing (0 - BRDF compositing; 1 - CV - MVC)																	

FIGURA 13. Caracterização dos dados de qualidade disponibilizados juntamente com os produtos MODIS.

FONTE: UFG (2003).

O ECS é o responsável por armazenar os resultados da QA de cada pixel, e os metadados de cada cena dos dados MODIS.

A QA de cada pixel é obtido pelo processamento de um software desenvolvido para esta finalidade, 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 resumiu-se na aplicação dos procedimentos de produção e pós-produção desta garantia.

A Tabela 8 mostra um exemplo de informação armazenada para cada "pixel" em todos os produtos MODIS e resumida em cada cena do MODLAND.

TABELA 8 – Exemplo de Informação Armazenada de cada *Pixel* dos Produtos MODIS.

Código por "Pixel" da QA	Significado
00	"Pixel" produzido com boa qualidade, não sendo necessária um exame mais detalhado da QA.
01	"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).

A validação primária dos produtos do MODLAND está na avaliação de seus produtos de nível 2 a 4. Assim, 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.

5 - PRODUTOS GERADOS PELO SENSOR MODIS E SUAS APLICAÇÕES

A importante aplicação da informação precisa sobre a 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.

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

Para tanto, um resumo dos produtos gerados pelo MODIS (MODLAND) podem ser verificados na Tabela 9, juntamente com informações sobre a resolução espacial e temporal, que já estão disponíveis para a comunidade. Cabe salientar que, esses produtos são armazenados em um formato *Hierarchy Data Format* (HDF), que permite uma implementação transparente de acesso aos dados, através de um conjunto de ferramentas específicas. Segundo Justice *et al.* (2002a), esses arquivos são autodescritivos, tornando mais fácil o entendimento de sua estrutura e conteúdo. Para a leitura destes dados, foi desenvolvido um programas específico, denominado *Modis Reprojection Tool*, que assim como os dados MODIS, pode ser adquirido sem custos pela internet, através do *site*: <http://lpdaac2.usgs.gov/landdaac/tools/modis/index.asp>. Este programa pode ser utilizado tanto para reprojeter o dado obtido para uma projeção mais acessível e um formato mais usual, assim como para montar mosaicos de imagens.

Neste documento serão comentados apenas os produtos relacionados ao estudo da porção continental do planeta, ou seja, não inclui os produtos voltados para o estudo dos oceanos e atmosfera.

TABELA 9 – Produtos da Superfície Terrestre Gerados pelo Sensor MODIS .

Nome curto	Nome por extenso	Resolução Temporal	Resolução Espacial	Data inicial	Distribuição
MODMGGAD	MODIS/Terra Geolocation Angles Daily L2G Global 1km ISIN Grid Day	1-Dia	1km	6/9/00 2000	EDC, QUARK
MODMGGAN	MODIS/Terra Geolocation Angles Daily L2G Global 1km ISIN Grid Night	1- Dia	1km	6/9/00 2000	EDC
MODPT1KD	MODIS/Terra Observation Pointers Daily L2G Global 1km ISIN Grid Day	1- Dia	1km	6/9/00 2000	EDC, QUARK
MODPT1KN	MODIS/Terra Observation Pointers Daily L2G Global 1km ISIN Grid Night	1- Dia	1km	6/9/00 2000	EDC
MODPTHKM	MODIS/Terra Observation Pointers Daily L2G Global 500m ISIN Grid	1- Dia	500m	6/9/00 2000	EDC, QUARK
MODPTQKM	MODIS/Terra Observation Pointers Daily L2G Global 250m ISIN Grid	1- Dia	250m	6/9/00 2000	EDC, QUARK
MOD09GHK	MODIS/Terra Surface Reflectance Daily L2G Global 500m ISIN Grid	1- Dia	500m	6/9/00 2000	EDC, QUARK
MOD09GQK	MODIS/Terra Surface Reflectance Daily L2G Global 250m ISIN Grid	1- Dia	250m	6/9/00 2000	EDC, QUARK
MOD09GST	MODIS/Terra Surface Reflectance Quality Daily L2G Global 1km ISIN Grid	1- Dia	1km	6/9/00 2000	EDC, QUARK
MOD09A1	MODIS/Terra Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500m ISIN Grid	8- Dias	500m	6/9/00 2000	EDC
MOD09Q1	MODIS/Terra Surface Reflectance 8-Day L3 Global 250m ISIN Grid	8- Dias	250m	6/9/00 2000	EDC, QUARK
MOD10_L2	MODIS/Terra Snow Cover 5-Min L2 Swath 500m	5-min.	500m	9/13/00 2000	NSIDC
MOD10A1	MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m ISIN Grid	1- Dia	500m	9/13/00 2000	NSIDC
MOD10A2	MODIS/Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 500m ISIN Grid	8- Dias	500m	9/13/00 2000	NSIDC
MOD10C1	MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 0.05Deg CMG	1- Dia	0.05 graus	2/14/02 2002	NSIDC
MOD10C2	MODIS/Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 0.05Deg CMG	8- Dias	0.05 graus	9/30/01 2001	NSIDC
MOD11_L2	MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily 5-Min L2 Swath 1km	5-min.	1km	6/25/00 2000	EDC
MOD11A1	MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km ISIN Grid	1- Dia	1km	6/25/00 2000	EDC
MOD11A2	MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3	8- Dias	1km	8/28/00 2000	EDC

	Global 1km ISIN Grid				
MOD11B1	MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 5km ISIN Grid	1- Dia	5km	3/6/01 2000	EDC
MOD11C1	MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 56km CMG	1- Dia	56km		EDC
MOD11C2	MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 56km CMG	8- Dias	56km		EDC
MOD11C3	MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 32-Day L3 56km CMG	32- Dias	56km		EDC
MOD12Q1	MODIS/Terra Land Cover Type 96-Day L3 Global 1km ISIN Grid	96- Dias	1km	10/15/00 2000	EDC
MOD12Q2	MODIS/Terra Land Cover Change 96-Day L3 Global 1km ISIN Grid	96- Dias	1km		EDC
MOD12C1	MODIS/Terra Land Cover Type 96-Day L3 Global 0.25Deg CMG	96- Dias	0.25 graus		EDC
MOD12C2	MODIS/Terra Land Cover Change 96-Day L3 Global 0.25Deg CMG	96- Dias	0.25 graus		EDC
MOD13A1	MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m ISIN Grid	16- Dias	500m	6/9/00 2000	EDC
MOD13Q1	MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m ISIN Grid	16- Dias	250m	6/9/00 2000	EDC, QUARK
MOD13A2	MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km ISIN Grid	16- Dias	1km	6/9/00 2000	EDC
MOD13A3	MODIS/Terra Vegetation Indices Monthly L3 Global 1km ISIN Grid	Mensal	1km		EDC
MOD13C2	MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 28km CMG	16- Dias	28km		EDC
MOD13C3	MODIS/Terra Vegetation Indices 32-Day L3 Global 28km CMG	32- Dias	28km		EDC
MOD14	MODIS/Terra Thermal Anomalies/Fire Daily 5-Min L2 Swath 1km	5-min.	1km	11/1/00 2000	EDC
MOD14GD	MODIS/Terra Thermal Anomalies/Fire Daily L2G Global 1km ISIN Grid Day	1- Dia	1km	11/1/00 2000	EDC
MOD14GN	MODIS/Terra Thermal Anomalies/Fire Daily L2G Global 1km ISIN Grid Night	1- Dia	1km	11/1/00 2000	EDC
MOD14A1	MODIS/Terra Thermal Anomalies/Fire Daily L3 Global 1km ISIN Grid	1- Dia	1km	11/1/00 2000	EDC
MOD14A2	MODIS/Terra Thermal Anomalies/Fire 8-Day L3 Global 1km ISIN Grid	8- Dias	1km	8/20/00 2000	EDC
MOD14C3	MODIS/Terra Thermal Anomalies/Fire 32-Day L3 Global 28km CMG	32- Dias	28km		EDC
MOD15A2	MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 1km ISIN Grid	8- Dias	1km	6/9/00 2000	EDC

MOD15C2	MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 32-Day L4 Global 56km CMG	32- Dias	56km		EDC
MOD17A2	MODIS/Terra Net Photosynthesis 8- Day L4 Global 1km ISIN Grid	8- Dias	1km	12/19/00 2000	EDC
MOD17A3	MODIS/Terra Net Primary Production Yearly L4 Global 1km ISIN Grid	Anual	1km		EDC
MOD17C2	MODIS/Terra Net Photosynthesis 32- Day L4 Global 56km CMG	32- Dias	56km		EDC
MOD17C3	MODIS/Terra Net Primary Production Yearly L4 Global 56km CMG	Anual	56km		EDC
MOD29	MODIS/Terra Sea Ice Extent 5-Min L2 Swath 1km	5-min.	1km	1/23/01 2000	NSIDC
MOD29P1D	MODIS/Terra Sea Ice Extent Daily L3 Global 1km EASE-Grid Day	1- Dia	1km	2/03/01 2000	NSIDC
MOD29P1N	MODIS/Terra Sea Ice Extent Daily L3 Global 1km EASE-Grid Night	1- Dia	1km	2/03/01 2000	NSIDC
MOD29P2D	MODIS/Terra Sea Ice Extent 8-Day L3 Global 1km EASE-Grid Day	1- Dia	1km		NSIDC
MOD29P2N	MODIS/Terra Sea Ice Extent 8-Day L3 Global 1km EASE-Grid Night	8- Dias	1km		NSIDC
MOD29C1D	MODIS/Terra Sea Ice Extent Daily L3 Global 28km CMG Day	1- Dia	28km		NSIDC
MOD29C1N	MODIS/Terra Sea Ice Extent Daily L3 Global 28km CMG Night	1- Dia	28km		NSIDC
MOD29C2D	MODIS/Terra Sea Ice Extent 8-Day L3 Global 28km CMG Day	8- Dias	28km		NSIDC
MOD29C2N	MODIS/Terra Sea Ice Extent 8-Day L3 Global 28km CMG Night	8- Dias	28km		NSIDC
MOD43B1	MODIS/Terra BRDF/Albedo Model-1 16-Day L3 Global 1km ISIN Grid	16- Dias	1km	10/31/00 2000	EDC
MOD43B2	MODIS/Terra BRDF/Albedo Model-2 16-Day L3 Global 1km ISIN Grid	16- Dias	1km		EDC
MOD43B3	MODIS/Terra Albedo 16-Day L3 Global 1km ISIN Grid	16- Dias	1km	7/11/00 2000	EDC
MOD43B4	MODIS/Terra Nadir BRDF-Adjusted Reflectance 16-Day L3 Global 1km ISIN Grid	16- Dias	1km	7/11/00 2000	EDC
MOD43C1	MODIS/Terra Albedo 16-Day L3 Global 0.25Deg CMG	16- Dias	0.25 graus	7/12/01 2001	EDC
MOD43C2	MODIS/Terra BRDF/Albedo Parameters 16-Day L3 Global 0.25Deg CMG	16- Dias	0.25graus	7/12/01 2001	EDC
MOD44A	MODIS/Terra Ve getation Cover Conversion 32-Day L4 Global 250m ISIN Grid	32- Dias	250m	6/9/2000 2000	UMD
MOD44B	MODIS/Terra Vegetation Continuous Field Yearly L4 Global 1km ISIN Grid	Anual	1km		UMD

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

5.1 Produtos relacionados ao balanço energético

5.1.1 MOD9

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). Uma composição RGB, correspondente aos canais no vermelho (Banda 1), Infravermelho próximo (Banda 2) e Infravermelho médio (Banda 7) deste produto pode ser visualizada abaixo (Figura 14)

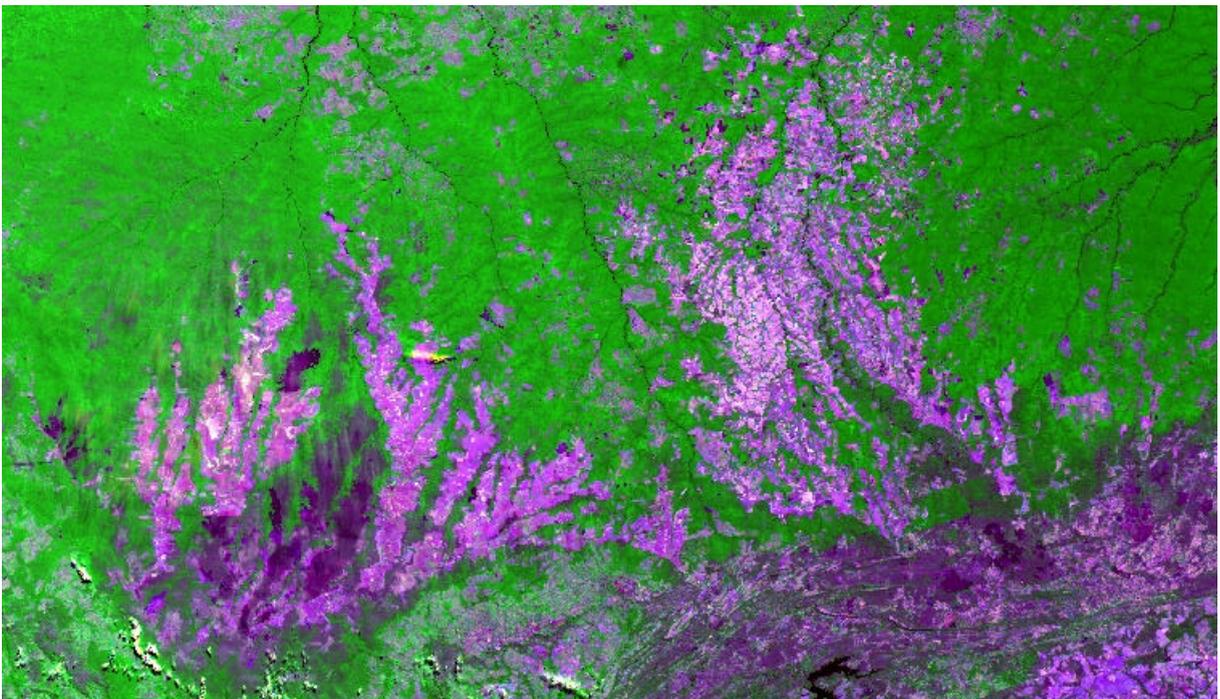


FIGURA 14. Composição RGB, bandas MODIS (1,2,7) do produto MOD09. Área localizada na região central do Estado do Mato Grosso, obtida em julho de 2002.

Os procedimentos de correção atmosférica foram criados a partir de um modelo desenvolvido por Tanré *et al* (1986), 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.

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:

- 1) Integridade da estimativa da reflectância da superfície;
- 2) O sucesso da conclusão do esquema de correção;
- 3) Presença de nuvens (claro, nublado, parcialmente nublado, fechado);

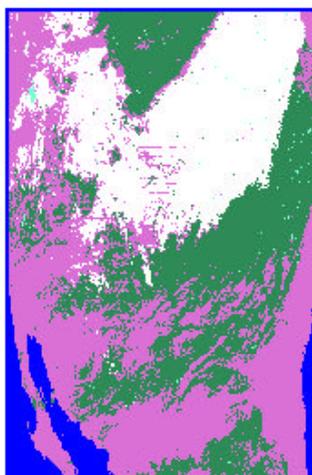
- 4) Presença de nuvens Cirrus (sem cirrus, baixa, média e alta);
- 5) Fonte de informações de aerossóis: climatologia;
- 6) Presença de aerossol (baixo, médio e alto);
- 7) Fonte de informação de vapor d'água: climatologia;
- 8) Fonte de informação de ozônio: Climatologia;
- 9) Se o *pixel* é terra ou água.

5.1.2 – MOD10 e MOD29

O **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). Um exemplo dos dados disponibilizados pelo produto MOD10 pode ser observado na Figura 15.



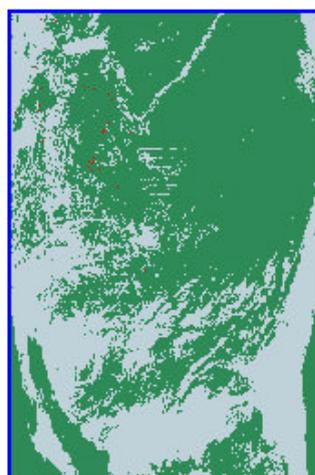
Imagem reflectância.



Produto MOD10.

Legenda das cores da imagem:
 Branco: neve
 Cinza: sem dado
 Verde: área livre de neve/nuvem
 Azul: água

Imagem *Quality Assurance* correspondente. Três dados de qualidade são mostrados nesta imagem. Os dados nominais e os resultados estão em verde. Pixels com cobertura de nuvens e são em azul. Pixels com dados incertos são mostrados em vermelho.



Legenda das cores da imagem Q.A.:
 Cinza: sem dado
 Verde: resultados nominais
 Vermelho: dados incertos.

FIGURA 15. Dados do produto MOD10. Região centro-sul dos Estados Unidos, imageada em fevereiro de 2002.

Fonte: Adap. da Nasa.(http://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/MOD10_L2.html).

5.1.3 – MOD11

O **MOD 11** é uma das variáveis chaves necessárias para 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 a bordo do satélite AQUA, 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

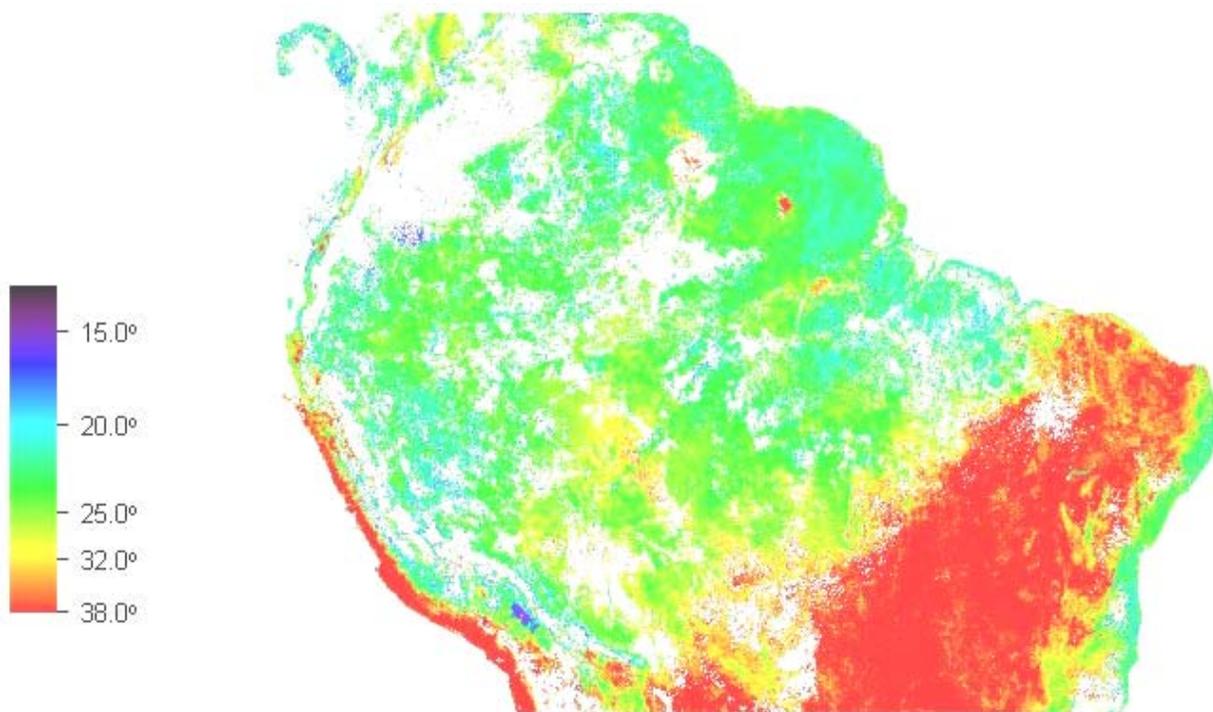


FIGURA 16. Produto MOD11 obtido através de observação diurna.

FONTE: adaptada da NASA.

<http://www.icesb.ucsb.edu/modis/LstUsrGuide/usrguide.html>

5.1.4 – MOD43

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. Um exemplo do produto MOD43 global está apresentado na figura abaixo (Figura 17):

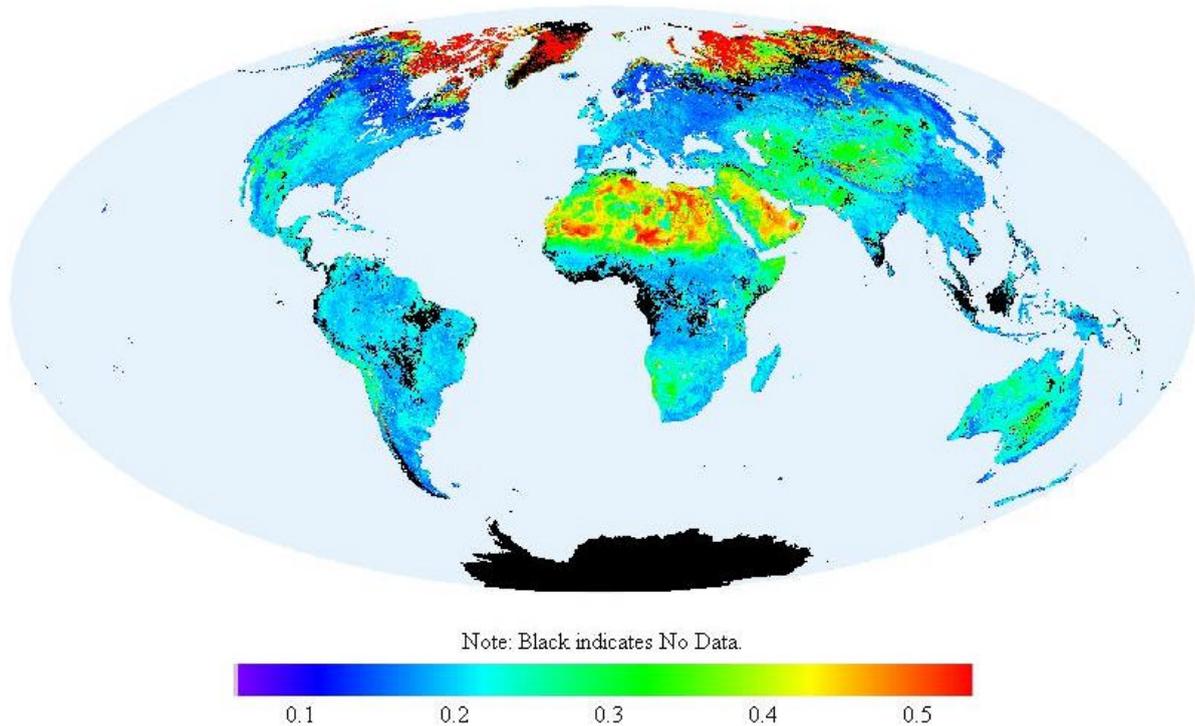


FIGURA 17. Albedo global para o período de 30 de setembro a 13 de outubro de 2002.

FONTE: Adaptada da NASA. <http://geography.bu.edu/brdf/mod43b.html>

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 bandas 1-7 do MODIS 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 uma série temporal de 16 dias das observações multiangulares da reflectância corrigida atmosféricamente, com a resolução de 1 Km.

5.2 Produtos relacionados à vegetação

Os produtos MODIS relacionados ao estudo da vegetação são basicamente TRÊS: MOD13 – *Vegetation Índices*, MOD15 – *Leaf Area Index / fPAR* e MOD17 - *Net Primary Production / Net Photosynthesis*.

5.2.1 MOD13

Os produtos MODIS de índices de vegetação fornecem comparações consistentes de dados temporais e espaciais das condições da vegetação global, para monitorar a atividade fotossintética da vegetação em suporte a detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia. Os objetivos dos índices de vegetação do MODIS são:

- Gerar índices de vegetação em imageamentos sem nuvens;
- Maximizar a cobertura global e 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.

Algumas considerações devem ser levadas em conta para a aquisição destes dados, como o tamanho do pixel, a sua distorção no final da imagem, padronizações dos dados segundo visada ao nadir, e problemas com saturação do índice de vegetação decorrente das visadas fora do nadir e com ângulos zenitais solares elevados.

Devido a estes fatores, antes do lançamento do satélite TERRA, foram feitas algumas simulações com dados do satélite NOAA/AVHRR e *SeaWIFS*, para chegar a melhor e mais precisa forma de aquisição de dados de índices de vegetação (van Leeuwen et al, 1996), e chegou-se as seguintes conclusões (Figura 18): quando os dados coletados no período de 16 dias fornecerem um número de imagens maior que 5, é aplicado o modelo de reflectância bidirecional de Walthall (BRDF), para a geração dos produtos NDVI e EVI. Quando o número de imagens no período de 16 dias for menor do que 5 (devido a cobertura de nuvens), então o modelo aplicado será *Constraint View angle Maximum Value Composite*(CV-MVC), que age selecionando o *pixel* de maior valor coletado para a geração da imagem final.

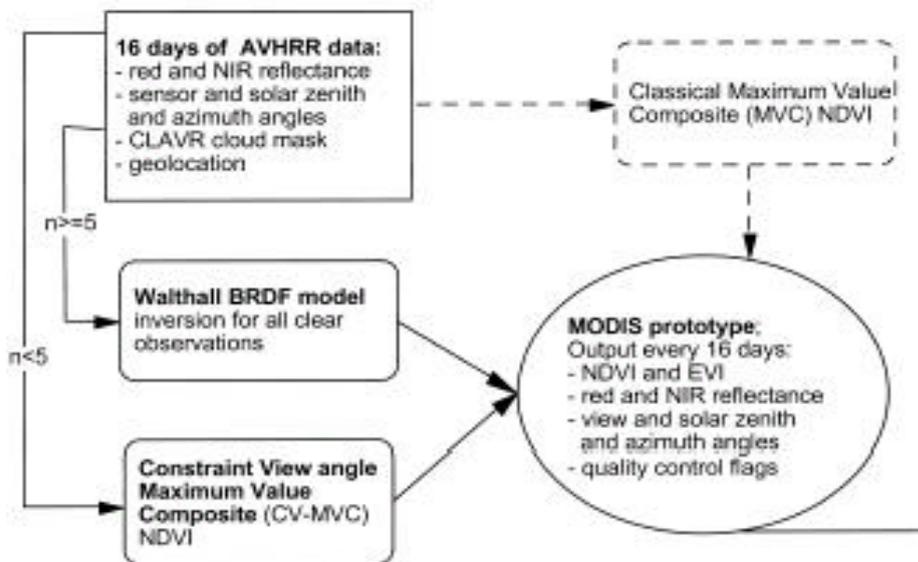


FIGURA 18- Modelos utilizados para geração dos produtos índices de vegetação do MODIS.
FONTE: van Leeuwen (1999).

Segundo Huete (1999), os parâmetros do modelo BRDF podem ser utilizados para normalizar e interpolar a reflectância de superfície no ângulo de visada ao nadir. No entanto a variação do ângulo solar deve ser minimamente incorporado à correções do BRDF, já que os dados necessários para padronizar um certo ângulo para cada intervalo de composição (por exemplo de 16 dias, como no MODIS) são muito limitados, então este será menos preciso fora da escala do ângulo observado. Ainda são necessárias muitas pesquisas para determinar o melhor método de extrapolação para as observações de satélites para o ângulo solar através do ano. Conseqüentemente, os ângulos de azimute e zênite podem ser incluídos com os dados compostos (dados de índice de vegetação e reflectância) para ser usado para o pós-processamento e padronização dos índices de vegetação. A distribuição do modelo de função da reflectância bidirecional tem sido desenvolvido considerando a anisotropia nas reflectâncias de superfície como uma função dos ângulos de visada e zenital solar. No entanto, o modelo de reflectância bidirecional de superfície (BRDF) deve ser forte e operacional em uma escala global. A aproximação feita por Huete et al. (1999) utilizaram somente o modelo de Walthall (Walthall et al., 1985) para padronizar os dados de reflectância ao nadir e computar os índices de vegetação.

Esta metodologia tem se mostrado superior ao modelo do máximo NDVI (MVC) de van Leeuwen et al. (1996). Cihlar et al. (1994) utilizaram o modelo de Walthall obtendo resultados satisfatórios para dados do AVHRR, para diferentes tipos de vegetação em escala

regional. A aproximação BRDF para estimar índices de vegetação ao nadir parece ser melhor que o modelo MVC, que superestima o NDVI ao nadir. Uma composição dos dois modelos pode ser observada na Figura 19.

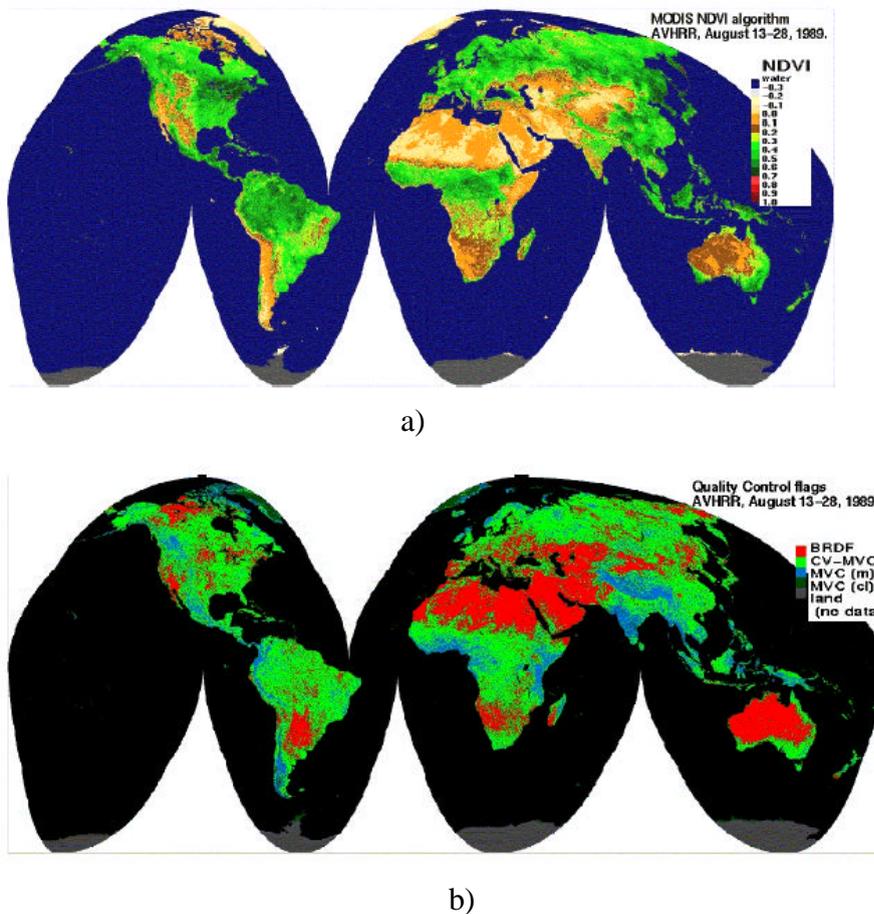


FIGURA 19- Mapa global da imagem NDVI gerada pelo MODIS (pseudo cor), utilizando composições dos algoritmos BRDF/ CV-MVC; b) Mapa global de garantia de qualidade para a imagem NDVI gerada pelo MODIS, utilizando composições dos algoritmos BRDF/ CV-MVC; MVC (pr) é a máscara de nuvens e indicam pixels provavelmente com nuvens; MVC (cl) = pixels com nuvens; dados da superfície terrestre sem dados estão indicadas em preto.

FONTE: Adaptada de Huete et al (1999).

Mapas descrevendo variações espaciais e temporais da atividade da vegetação são derivados a cada 8 dias, 16 e 30 dias (intervalos mensais) para um monitoramento preciso da sazonalidade e os produtos são reamostrados para fornecer dados livres de nuvens (Figura 20), atmosféricamente corrigidos, mapas de vegetação ajustados ao nadir (para evitar distorções devido a compressão de dados nos pixels mais distantes do nadir), com resoluções mínima de 250 m, 1 Km e 25 Km. As composições destes índices em 16 dias são arquivadas com uma

resolução de 250 m, e incluem a seleção do valor do índice de vegetação ajustado ao nadir, ajuste das reflectâncias da região do vermelho e infravermelho próximo, média solar zenital, azimute relativo e parâmetros de controle. São disponibilizados da seguinte maneira:

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

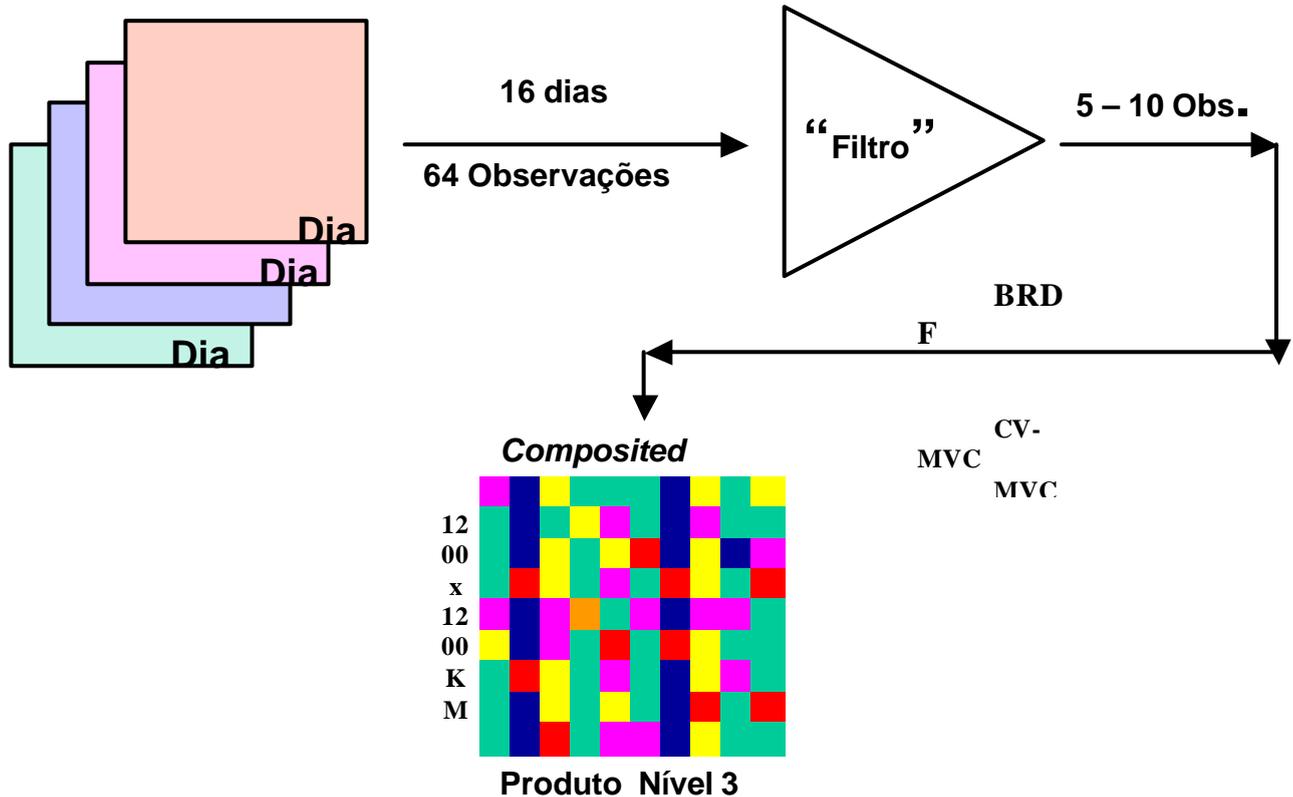


FIGURA 20 - Processo de reamostragem dos pixels das imagens MOD13 para garantir um produto livre de nuvens, através do processo CV-MVC, atualmente utilizado.
FONTE: UFG (2003).

O MOD 13 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 (Figura e). Enquanto o NDVI é sensível à clorofila, o EVI é mais sensível à 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).

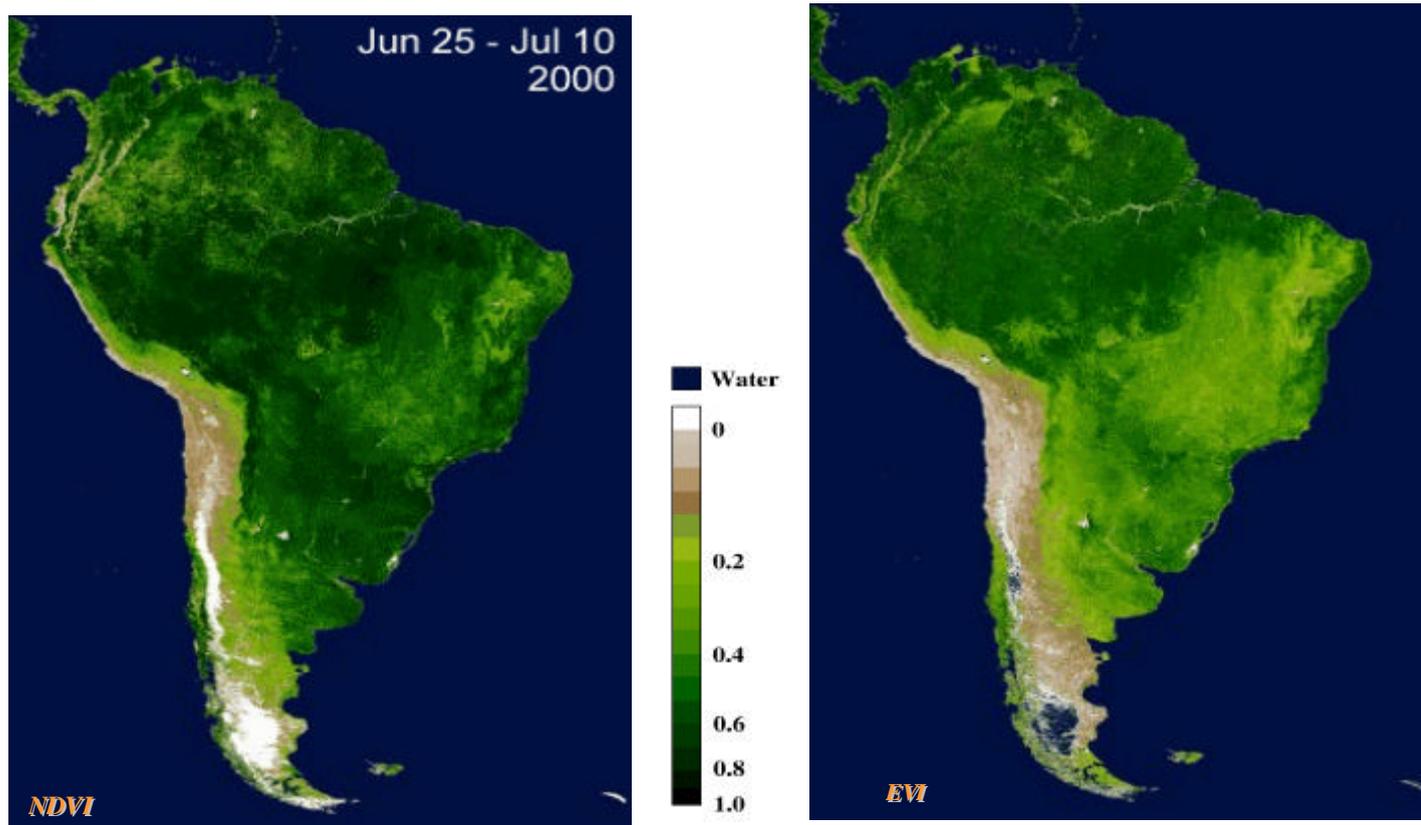


FIGURA 21 - Produto MOD13: NDVI e EVI, com resolução espacial de 500m, abrangendo a América do Sul.

FONTE: http://tbrs.arizona.edu/cdrom/VI_Intro/VI_Introduction.html.

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:

$$\text{NDVI} = (r_{\text{IVP}} - r_{\text{V}}) / (r_{\text{IVP}} + r_{\text{V}}) \quad (2.1)$$

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 (Moreira, 2001).

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):

$$\text{EVI} = 2,5 (\text{NIR} - \text{Vermelho}) / (\text{L} + \text{NIR} + \text{C1 vermelho} - \text{C2 azul}) \quad (2.2)$$

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: $L=1$, $C_1=6$, $C_2=7.5$ e o fator de ganho $G= 2.5$ (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. Resumindo, seus objetivos são:

- ◆ Gerar índices de vegetação em imageamentos sem nuvens;
- ◆ 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, utiliza-se dos dados da reflectância de superfície de em cada pixel para compor os produtos NDVI e EVI.

O NDVI é referido como um índice continuado ao já existente no NOAA/AVHRR e no momento do lançamento do MODIS, já havia uma base de dados 20 anos de NDVI global da série AVHRR, podendo ser estendida pelos dados MODIS em estudos operacionais de monitoramento (Huete *et al.*, 1999).

Myneni *et al.* (1997), apresentaram dados de NDVI de um período de 10 anos para florestas boreais mostrando uma tendência de aquecimento por meio do alongamento da estação de

crescimento, que havia se estendido por 2 semanas. Tucker (1986) similarmente utilizou o NDVI para demonstrar as expansões e contrações da vegetação no Sahara.

5.2.2 MOD15

O MOD 15 é o *Leaf Area Index* (LAI) e a Fração da Radiação Absorvida pela Vegetação Fotossinteticamente Ativa (FPAR), fornecidos diariamente, em uma base de 8 ou 32 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, (Figura 22).

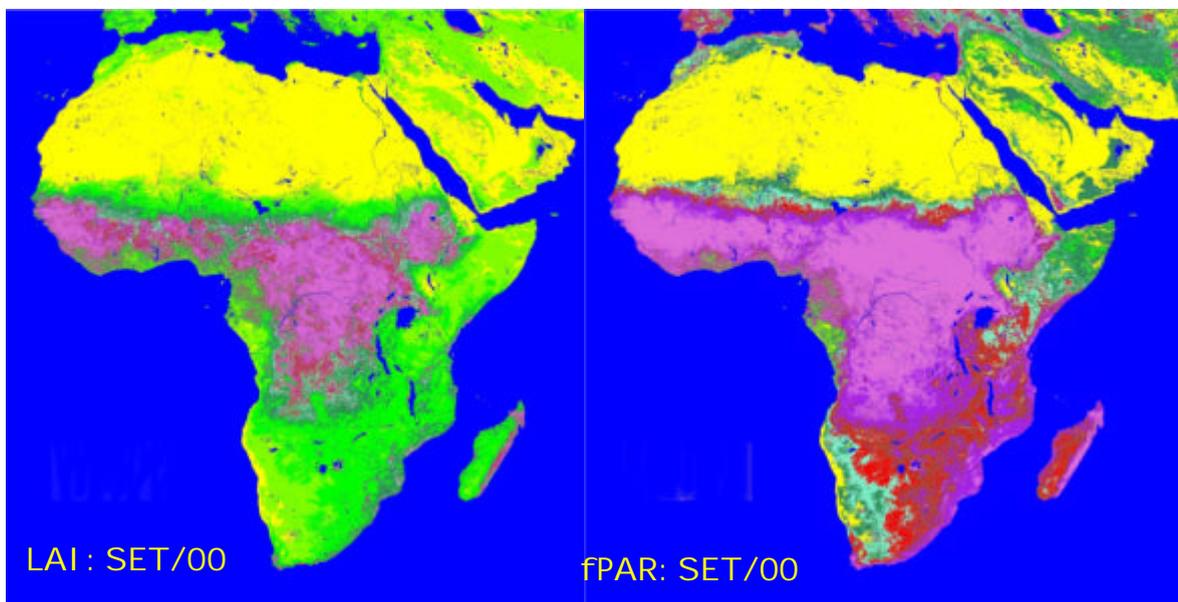


FIGURA 22 - Produtos LAI e fPAR para a África, obtidos em setembro de 2000.
FONTE: adaptada de Universidade de Boston.

<http://cybele.bu.edu/modismisr/other.html> (2003).

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 exaustivamente, como parâmetros derivados de dados de satélite para o cálculo de fotossíntese, evapotranspiração e produtividade primária líquida (Myneni et al, 2002). Um fluxograma dos algoritmos utilizados para a geração deste produto é apresentado na Figura abaixo (Figura 23):

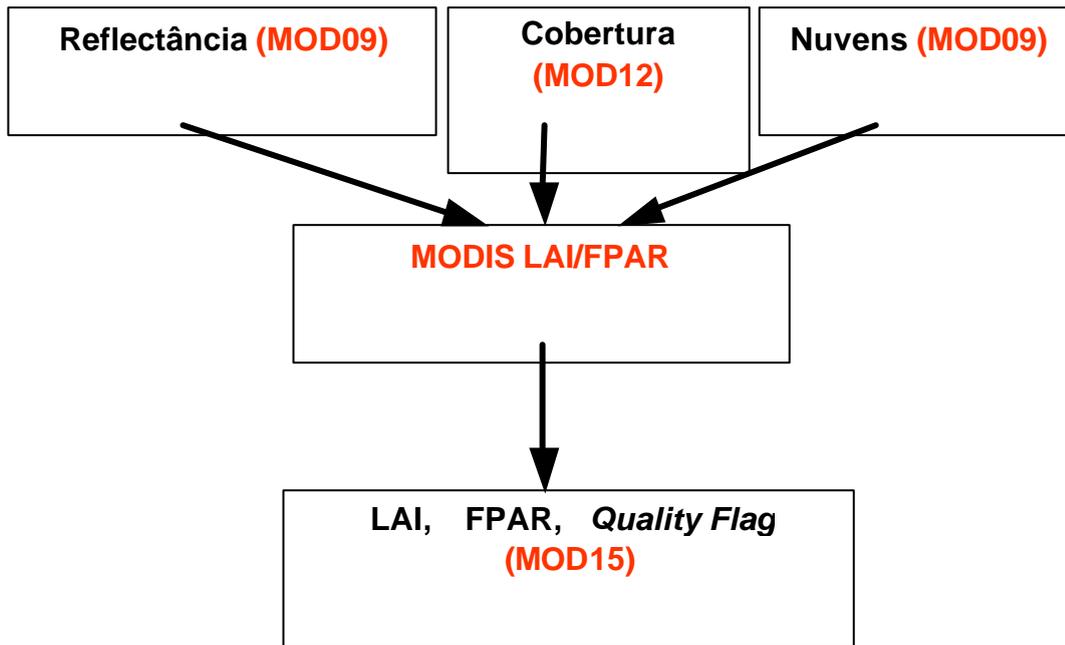


FIGURA 23 - Produtos utilizados para a geração do MOD15.

FONTE: Universidade de Boston

<http://cybele.bu.edu/modismisr/other.html> (2003).

5.2.3 MOD17

O **MOD 17** é um produto do nível 4, consistindo da medição de 8, 32 dias ou anual, da fotossíntese líquida e produtividade primária líquida. A produtividade primária é a taxa com que a energia luminosa é convertida em biomassa, e a soma total da energia convertida é denominada produtividade primária bruta (Figura 24). 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).

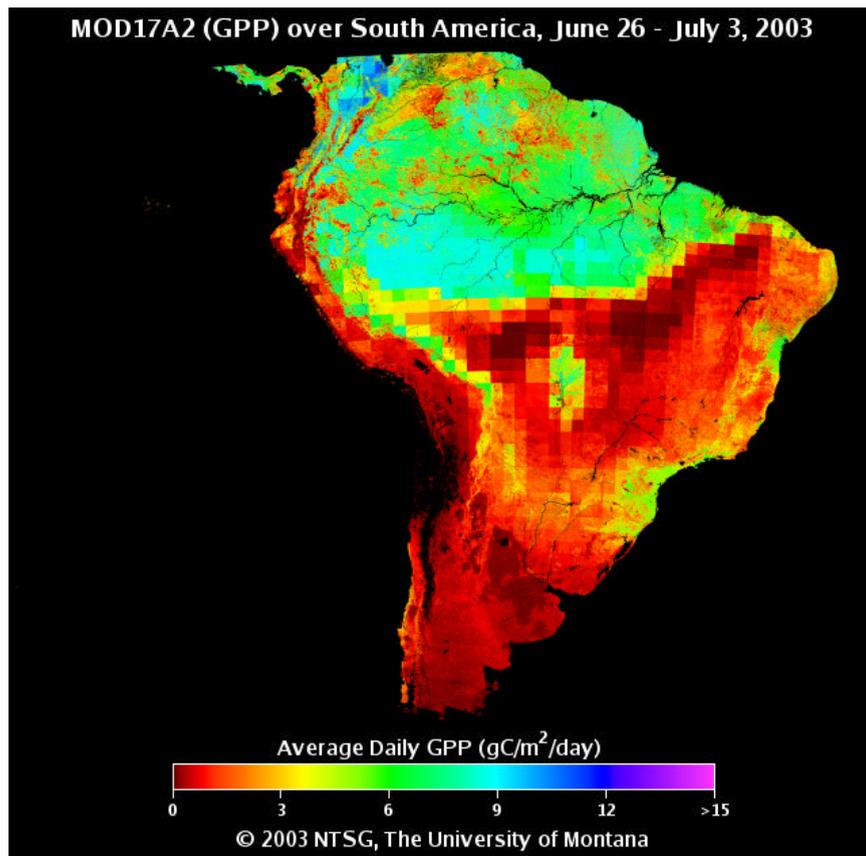


FIGURA 24. Produtividade primária bruta obtida no intervalo de 26 de junho a 3 de julho de 2003, para a América do Sul.

FONTE: <http://www.ntsg.umt.edu/modis/> (2003)

5.3 Produtos Relacionados à Cobertura Terrestre

Mapas globais e regionais da cobertura da terra são necessários para auxiliar as pesquisas em sistemas terrestres, como o modelamento de ecossistemas, monitoramento de queimadas, entre outros. A utilização de sensores com melhores resoluções temporais, espaciais e radiométricas, podem melhorar a precisão destes mapeamentos, aumentando a confiança de classificação das diversas formações vegetais.

Os produtos MODIS relacionados ao estudo da cobertura terrestre são basicamente três:

MOD12 – *Land cover and Land Cover Dynamics*, MOD14 – *Fire and Thermal Anomalies* e MOD44 – *Vegetation Cover Conversion*.

5.3.1 – MOD12

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,

iniciando-se 18 meses após o lançamento das plataformas TERRA e ACQUA. A principal classificação da cobertura terrestre a ser empregada, baseia-se no esquema de classificação do Programa Geosfera-Biosfera Internacional – IGBP, que pode ser observado na Figura g (Justice *et al.*, 1998). A definição estrutural e os processos de desenvolvimento são descritos no “Algorithm Theoretical Basis Document” (ATBD) (Strahler *et al.*, 1996).

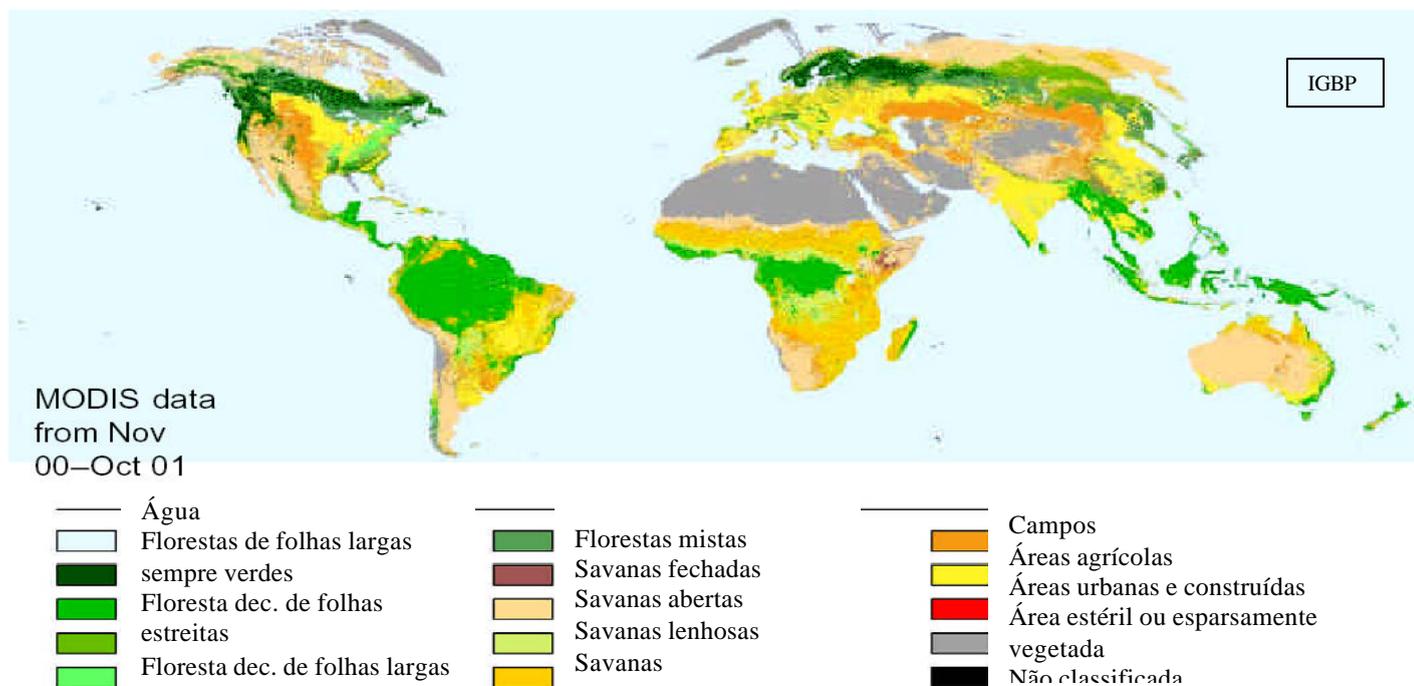


FIGURA 25 - Mapa da cobertura vegetal, segundo IGBP.

FONTE: Adaptada da NASA.

<http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod12q1.html> (2003).

Segundo Justice *et al.* (1998), a mudança de cobertura terrestre é documentada através de duas aproximações. A primeira utiliza 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 emprega os dados de resolução mais ampla (1 km) utilizando técnicas mais direcionadas a esses tipos de dados, como é o caso do vetor mudança (Lambim 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.

Hansen et al. (2002), geraram um mapa de classificação da cobertura de árvores para uma região da África, utilizando imagens de um produto MODIS: *Vegetation Continuous Fields Layers*, com uma resolução espacial de 500 metros, medidas de campo, mapas de vegetação já disponíveis e imagens IKONOS e LANDSAT para a validação dos resultados.

Os resultados obtidos, quando comparando-se os mapas de cobertura de árvores de ETM+ com uma resolução de 250 metros com o mapa gerado pelo produto MODIS, também com uma resolução de 250 metros, mostraram uma grande capacidade deste sensor para o mapeamento desta área. Grande parte dos problemas que surgiram foram ao longo de vales estreitos, relacionados a limitações no georeferenciamento das imagens. Alguns problemas em relação a utilização de mapas para validação, como, diferença nas legendas, mapas antigos, em que a cobertura vegetal pode ter sido alterada, ou mesmo imprecisão do mapeamento foram mencionados. Algumas formações podem ter tido sua área superestimada, devido a fatores como diferenciação e delimitação de limites entre formações vegetais muito próximas serem alocadas em uma mesma classe .

A aproximação feita pelos produtos de campo contínuo oferecem muitas vantagens em relação a classificação, pois permite ao usuário definir as classes de interesse. Segundo o trabalho de Hansen et al. (2002), permite o usuário a reconhecer onde a magnitude dos erros encontrados é aceitável, de uma maneira mais fácil do que métodos de avaliar a precisão de classificação.

5.3.2 MOD14

O MOD 14 diz respeito aos produtos de anomalias termais, citando como exemplo, os processos de queima. 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 a alterações no solo, como temperatura e mistura de componentes.

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 (Figura 26).

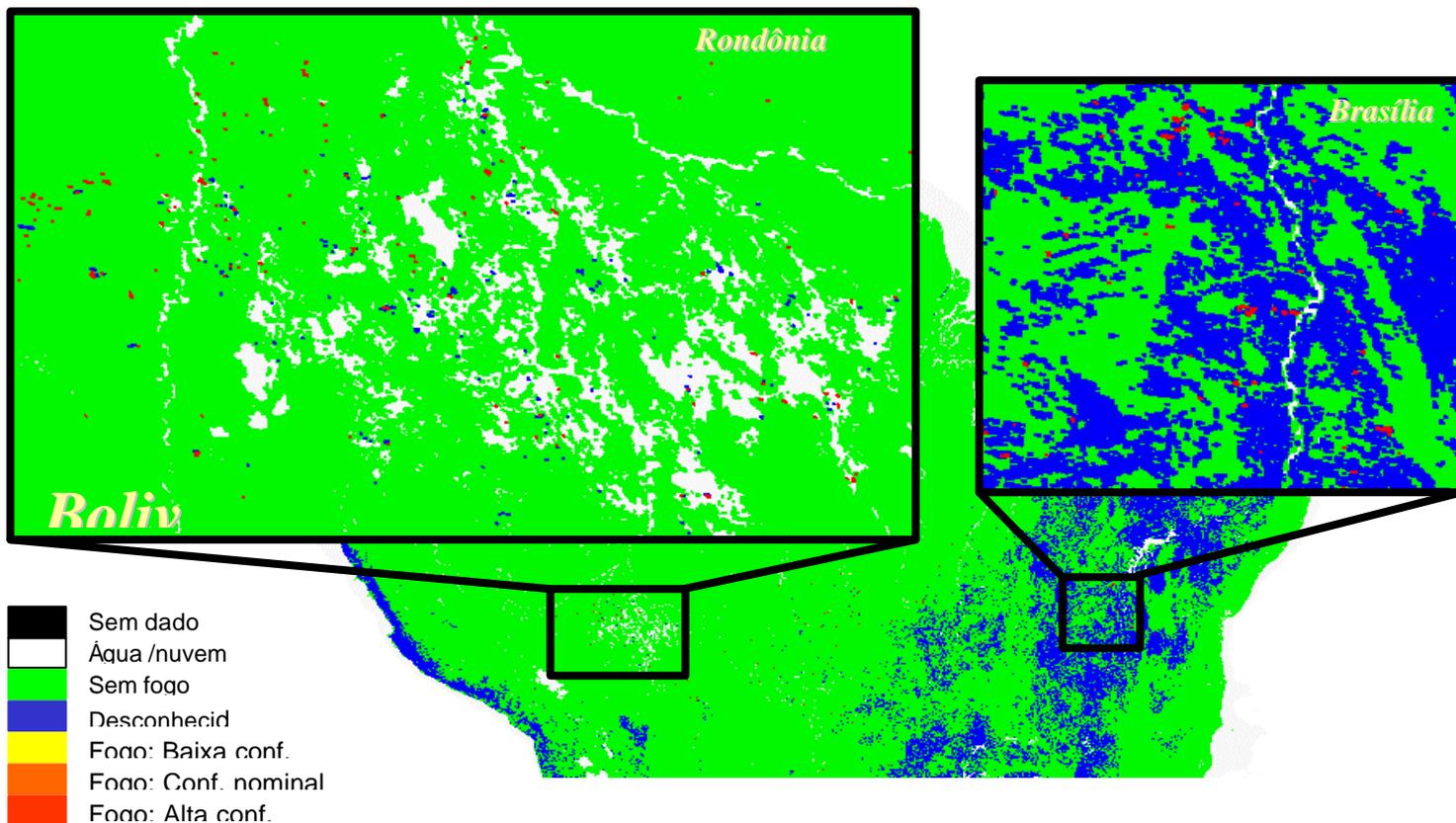


FIGURA 26 - Exemplo do produto MOD14, para a região central do Brasil.
 FONTE: <http://modis-fire.gsfc.nasa.gov/products.asp> (2003).

Os produtos do nível 2 incluem vários parâmetros relacionados ao fogo, incluindo a ocorrência de anomalias térmicas, agrupadas em diferentes classes de temperatura, baseada na energia emitida pela queimada. Esses 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 T_4 é definida, sempre que possível por este. No entanto, quando o canal 22 satura, ou perde os dados, a T_4 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 μm 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:

$$\{T_4 > \text{m\u00e9dia}(T_4) + 3\text{desvios_padr\u00f5es}(T_4) \text{ ou } T_4 > 330^\circ\text{K}\}$$

e

$$\{T_4 - T_{11} > \text{mediana}(T_4 - T_{11}) + 3\text{desvios_padr\u00f5es}(T_4 - T_{11}) \text{ ou } T_4 - T_{11} > 25^\circ\text{K}\}$$

ou

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

Para o algoritmo utilizado para os c\u00e1lculos noturnos, tem-se:

$$\{T_4 > \text{m\u00e9dia}(T_4) + 3\text{desvios_padr\u00f5es}(T_4) \text{ ou } T_4 > 315^\circ\text{K}\}$$

e

$$\{T_4 - T_{11} > \text{mediana}(T_4 - T_{11}) + 3\text{desvios_padr\u00f5es}(T_4 - T_{11}) \text{ ou } T_4 - T_{11} > 10^\circ\text{K}\}$$

ou

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

Finalizando, quando ocorrer a possibilidade de falsas detec\u00e7\u00f5es para observa\u00e7\u00f5es durante o dia, o “pixel \u00e9 rejeitado se os canais de resolu\u00e7\u00e3o de 250 m apresentarem uma reflect\u00e2ncia acima de 30% ou se encontrar dentro de uma posi\u00e7\u00e3o de 40\u00b0 da reflex\u00e3o especular (Justice *et al.*, 2002b).

5.3.3 MOD44

Os produtos MODIS VCC (*Vegetation Cover Conversion / Continuous Field*) identifica locais de eventos onde mudan\u00e7as na cobertura da terra atribu\u00edda tanto a atividades humanas e eventos naturais extremos ocorreram. Quando a evid\u00eancia \u00e9 suficiente, o tipo de mudan\u00e7a \u00e9 classificado, por exemplo, a convers\u00e3o de florestas em \u00e1reas agr\u00edcolas. A distribui\u00e7\u00e3o destas mudan\u00e7as \u00e9 representada em uma resolu\u00e7\u00e3o de 250 m e como uma grade resumida de 10 Km (Justice *et al.*, 2002a). Esta \u00e9 gerada em intervalos de tr\u00eas meses. As composi\u00e7\u00f5es para um per\u00edodo acima de 1 m\u00eas, utilizam uma base de dados multitemporais em grade de 1 Km, como entrada para algoritmos de caracteriza\u00e7\u00e3o de mudan\u00e7a e classifica\u00e7\u00e3o Um produto interanual tamb\u00e9m \u00e9 produzido, mostrando a mudan\u00e7a da cobertura vegetal no ano anterior. Este produto foi desenvolvido para servir como um alarme, onde r\u00e1pidas convers\u00f5es est\u00e3o ocorrendo, e uma vez detectadas podem subsequenteemente ser analisadas com dados com melhores resolu\u00e7\u00f5es espaciais, como os do *Landsat*, *Ikonos* e *Quikbird*. Para a identifica\u00e7\u00e3o destes fen\u00f4menos diversos algoritmos est\u00e3o sendo desenvolvidos e testados, e pode-se observar na Tabela 10, os tipos de produtos que podem ser gerados pelo MODIS 250m.

TABELA 10: Tipos de Mudança na Cobertura Detectada pelo Produto MODIS 250m.

Cobertura no instante 1	Cobertura no instante 2			
	Floresta	Não Floresta	Solo exposto	Água
Floresta	_____	Desmatamento	Desmatamento	Inundação
Não Floresta	Rebrota	_____	Urbanização	Inundação
Solo exposto	Rebrota	Expansão da agricultura	_____	Inundação
Água	Recuo de	Recuo de	Recuo de inundação	_____
Queimada	Rebrota	Rebrota	Inundação	_____

FONTE: Adaptada de Zahn et al. (2002).

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).

Enquanto dados para composições globais necessárias para a aplicação dos algoritmos ainda não estão disponíveis, Zahn et al. (2002), fizeram uma adaptação para o estudo de algumas conversões em florestas, e serão abordados alguns dos exemplos encontrados neste trabalho a seguir.

Um dos estudos realizados foi a detecção de queimadas, considerado um dos fatores mais importantes para a conversão de florestas. As queimadas, além de destruírem os recursos naturais, liberam na atmosfera grandes quantidades de estoques de carbono (Page et al., 2002), alterando as interações entre a biosfera e atmosfera, através de mudanças na rugosidade da superfície, índice de área foliar e outros parâmetros biofísicos associados com a cobertura da terra.

As queimadas também são agentes importantes em processos naturais, como nos estágios sucessionais e rejuvenescimento em savanas. No entanto informações quantitativas sobre suas distribuições espaciais e temporais são importantes não só para o gerenciamento dos recursos, (Zahn et al., 2002), mas também para ser utilizadas para conduzir modelos regionais de emissões e transporte de gases traços e química atmosférica. Alguns impactos importantes das queimadas 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 e mudanças na comunidade vegetal devido a alterações no solo, como temperatura e mistura de componentes, etc (http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/pdf/MOD_14_40.pdf.) O sensor MODIS foi desenvolvido para incluir características necessárias e específicas para a detecção de queimada, sendo que é uma experiência melhorada em relação aos sistemas NOAA/AVHRR e do GOES.

Um exemplo de detecção e monitoramento de queimadas realizado por Zahn et al. (2002), pode ser observado na Figura 27.

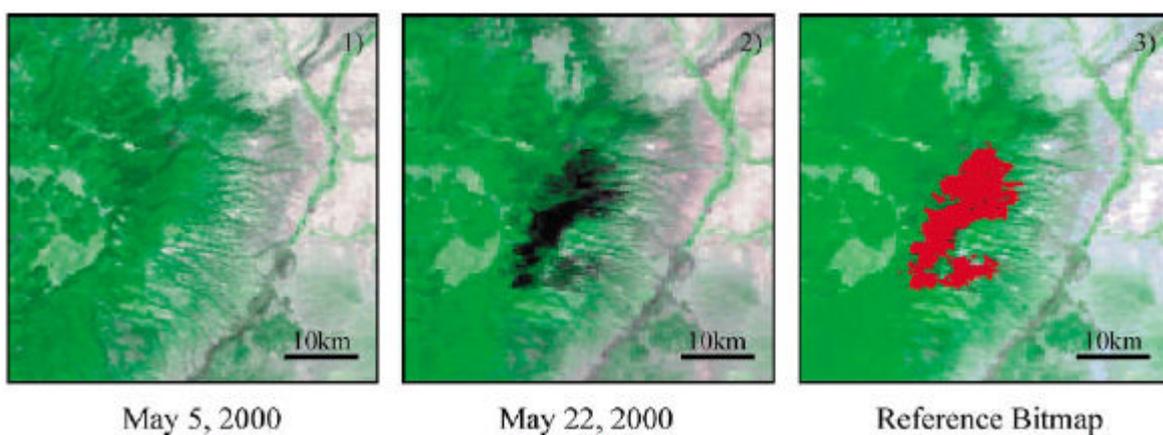


FIGURA 27 - Queimada em Cerro Grande, México. Imagem em composição natural de cor, do produto MODIS 250 m.

FONTE: Zahn et al. (2002).

A inundação da superfície também é outro fator importante da conversão de florestas, podendo causar mudanas significativas. Os alagamentos ou inundaoes podem ser causados tanto por estruturas construídas pelo homem, como estradas, barragens, campos agricultáveis, como por eventos naturais extremos. O sensoriamento remoto é a aproximaao mais efetiva para monitorar as extensões e frequências das inundaoes. O MODIS tem uma cobertura global quase diária e pode ser extremamente útil nestes casos. Um exemplo desta detecao foi feito por Zahn et al. (2002) no sul da Ásia em setembro de 2000 (Figura 28).

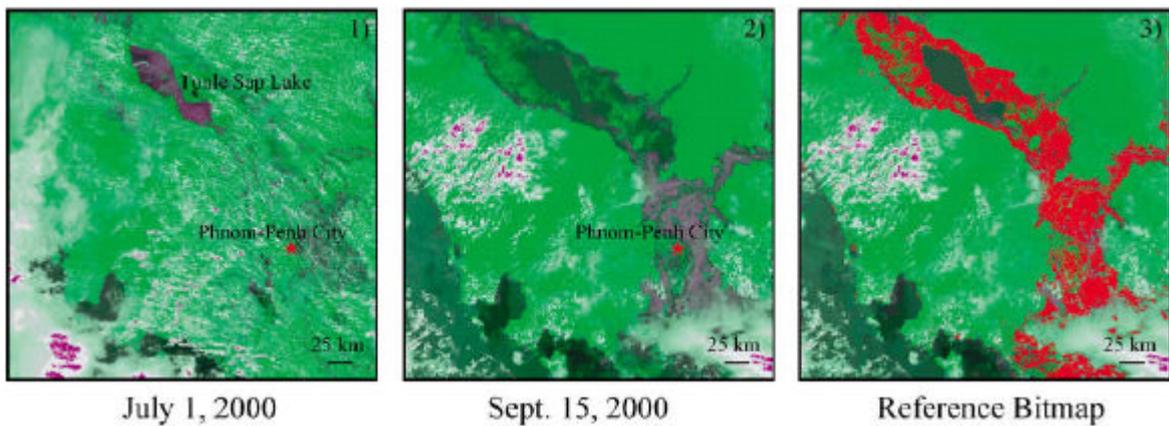


FIGURA 28 - Enchente ocorrida em setembro de 2000, no sul da Ásia, detectada pelo produto MODIS 250m.

FONTE: Zahn et al.(2002).

O desmatamento é o principal fator para a conversão de florestas tropicais. Nas últimas duas décadas, porções significativas de florestas tropicais foram desmatadas como resultado da expansão da agricultura (Soares Filho, 2001; Escada, 2001). Embora muitos meios sejam empregados para conter a expansão do desmatamento, as atuais taxas e estimativas ainda são altas (Skole, 1994). Um exemplo de desmatamento causado pela expansão agrícola pode ser encontrado no trabalho de Zahn et al., (2002). As imagens MODIS 250 m foram obtidas de uma região sul do Brasil (Figura 29).

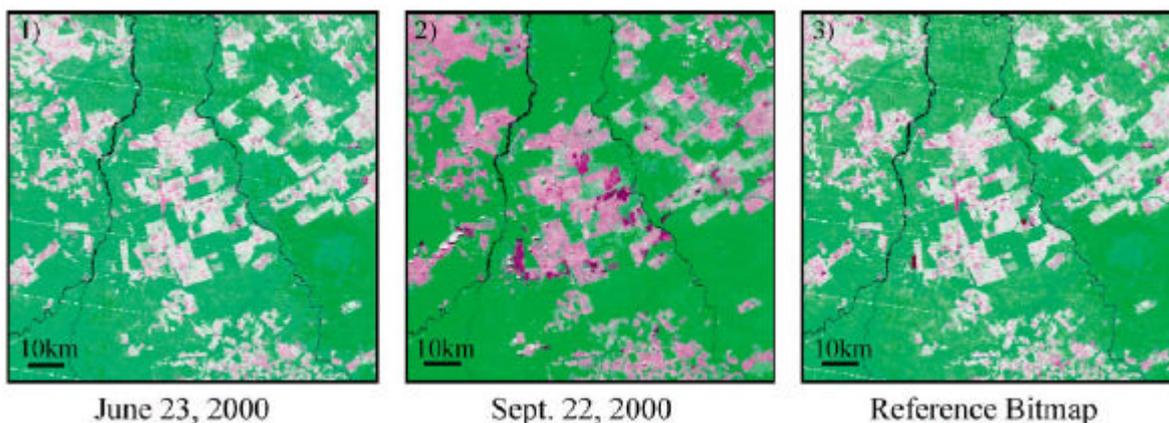


FIGURA 29 - Desmatamento devido à expansão da fronteira agrícola no sul do Brasil. As imagens são um produto MODIS 250 m.

FONTE: Zahn et al.(2002).

Estes resultados demonstram que a detecção de áreas desmatadas de pequena escala são relativamente difíceis de notar em comparação com as imagens de áreas inundadas e queimadas. A precisão da detecção dos resultados integrados dos algoritmos VCC são de 74% com uma taxa de omissão de cerca de 26% de erro, sugerindo que uma análise de mudança de vetores deve ser levada em consideração.

6. DISPONIBILIZAÇÃO DOS PRODUTOS MODIS

Os produtos MODIS estão disponíveis e podem ser adquiridos sem custos através da internet, através de diversos *sites*, sendo que o endereço oficial para a aquisição destes dados é:

<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>

Para a aquisição dos dados, recomenda-se realizar o cadastro na *home-page*, com o objetivo de facilitar o pedido das imagens. Atualmente, os produtos podem ser adquiridos via ftp, CD-ROM ou DVD, sem custos adicionais.

Para tratar os dados MODIS, existe a necessidade de utilizar os programas desenvolvidos pela NASA, como o MRT – *MODIS Reprojection Tool*, que tem o objetivo de alterar a projeção e o formato do produto, podendo também ser utilizado para realizar a mosaicagem. Os programas disponíveis estão na seguinte *home page*: <http://edcdaac.usgs.gov/tools/modis/>

Todos os produtos MODIS possuem o *Algorithmal Theoretical Basis Document* (ATBD), que fornece todas as informações sobre os algoritmos utilizados para a geração dos produtos.

Estes documentos podem ser facilmente encontrados pela internet, e alguns *websites* interessantes serão listados a seguir:

<http://www.nasa.gov/home/index.html>

<http://terra.nasa.gov/>

<http://eos-am.gsfc.nasa.gov/>

<http://visibleearth.nasa.gov/Sensors/Terra/MODIS.html>

<http://modis-250m.nascom.nasa.gov/>

<http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>

<http://modis-land.gsfc.nasa.gov>

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, L.O. **Classificação da cobertura vegetal e detecção de mudanças devido a causas antrópicas e naturais no Estado do Mato Grosso utilizando dados do sensor MODIS**. Proposta de dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), São José dos Campos: INPE, fev. 2003.

Anderson, L.O.; Mendoza, E.H.R.; Shimabukuro, Y.E. Avanço da soja sobre os ecossistemas cerrado e floresta no Estado do Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., Belo Horizonte, 2003. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 19-25.

Barker, J.L.; Harden, M.K.; Anuta, E.A.; Smid, J. e Hought, D. **MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization**. Washington: Nasa, Oct, 1992, 84p.

Barnes, W.L.; Pagano, T.S.; Salomonson, V.V. Pre-launch characteristics of the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) on EOS-AM1. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, July, p.1088-1100, 1999.

Chan, J.C.W.; De Fries, R.S.; Zhan, X.; Huang, C.; Townshend, J.R.G. Texture feature cover change detection at 250m resolution an application of machine learning feature superficial. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000, Honolulu **Proceedings** Honolulu:IEEE, p.3060-3063, 2000.

Cihlar, J.; Manak, D.; D'Iorio, M. Evaluation of Compositing Algorithms for AVHRR Data over Land. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v.32, n.2, p. 427-437, Mar. 1994.

DeFries, R.S.; Houghton, R.A.; Hansen, M.C.; Field, C.B.; Skole, D. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** [online]. v. 99, n. 22, p. 14256-14261, Oct. 2002. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.182560099. Acesso em 7 dez. 2002.

Escada, M.I.S.; Alves, D.S. Indicadores para compartimentação da paisagem em unidades de ocupação em uma região da fronteira agrícola em Rondônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10., Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 585-587.

Friedl, M.A.; McIver, D.K.; Hodges, J.C.F.; Zhang, X.Y.; Muchoney, D.; Strahler, A.H.; Woodcock, C.E.; Gopal, S.; Schneider, A.; Cooper, A.; Baccini, A.; Gao, F.; Schaaf, C. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 287-302, Nov. 2002..

Hansen, M.C.; DeFries, R.S.; Dimiceli, C.; Huang, C.; Sohlberg, R.; Zhan, X. and Townshend, J. R.G. Red and Infrared space partitioning for detection land cover change. **IEEE 1998 International Geoscience and Remote Sensing**, 1998.

Hansen, M.C.; DeFries, R.S.; Townshend, J.R.G.; Sohlberg, R.; Dimiceli, C.; Carroll, M. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1-2, Nov. p.303–319, 2002a.

Hansen, M.C.; DeFries, R.S.; Townshend, J.R.G.; Marufu, L.; Sohlberg, R. Development of a MODIS tree cover validation data set for Western Province, Zambia. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, 1-2, Nov. p.320–335, 2002b.

Huete, A. Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of the Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, Nov. 2002.

Huete, A.; Justice, C.; van Leeuwen, W. **MODIS vegetation index (MOD13) algorithm theoretical basis document**. versão 3, p. 1-142, 1999. Disponível em: <modis-land.gsfc.nasa.gov/pdfs/atbd_mod13.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2002.

Huete, A.; Liu, H.Q.; Batchily, K.; van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.59, n.3 440-451, Mar. 1997.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia (PRODES)**. Disponível em: www.grid.inpe.br/amz/html1/Pag-01.htm. Acesso em: 27 jan. 2003.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)/ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Programas Especiais: Grupo Queimadas. Disponível em: www.cptec.inpe.br/products/queimadas/queimaestadoacu.html 27 jan. 2003;

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Sistema de processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)**. Disponível em: <<http://www.dpi.br/dpi/spring/>>. 27 jan. 2003;

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, B; Knyazikhin, Y.; Running, W.S.; Nemani, R.R.; Wan, Z.; Huete, A.R.; Leeuwen, W.V.; Wolfe, R.E.; Giglio, L.; Muller, J.P; Lewis, P.; Barnsley, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, p.1228-1247, July, 1998.

Justice, C. O.;Townshend, J.R.G.; Vermote, E.F., Masuoka, E., Wolfe, R.E., Saleous, N., Roy, D.P., Morisette, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1-2, Nov. p 3 –15, 2002a.

Justice, C.O.; Giglio, B.; Korontzi, S.; Owens, J.; Morisette, J.T.; Roy, D.P.; Descloitres, J.; Alleaume, S.; Petitcolin, F.; Kaufman, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2 :p. 244-26, 2002b.

King, M.; Kaufman, Y; Menzel, W. and Tanré, D. Remote sensing of cloud, aerosol, and water vapor properties from the Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS). **IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing**, v.30, n.1, Jan, 1992.

Lambin, E.F. Modeling and monitoring land-cover changes processes in tropical regions. **Progress in Physical Geography**, v. 2, n. 3, p. 375-393, 1997.

Lambin, E. F.; Strahler, A. H. Change Vector Analysis in multitemporal space: a tool to detect and categorize land cover change processes using high temporal resolution satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v.48, n. 4 , May, p. 231-244, 1994a.

Lambin, E. F.; Strahler, A. H. 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, 1994 b.

Lillesand, T.M.; Kiefer, R.M. **Remote sensing and image interpretation**. New York, N.Y.: Academic Press, 1994, 392p.

Mayaux, P.; Lambin, E.F. Estimation of tropical forest area from coarse spatial resolution data: A two-step correction function for proportional errors due to spatial aggregation. **Remote Sensing of Environment**, v.53, n. 1, p.1–15, July 1995.

Moreira, R.C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. São José dos Campos. 181p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, 2000.

Myneni, R.B.; Keeling, C.D.; Tucker, C.J.; Asrar, G.; Nemani, R.R. Increase in plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. **Nature**, v. 386, p. 698-701, 1997.

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.; Morisette, J.T.; Votava, P.; Nemani, R.R.; Running, S.W. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**. v. 83, n. 1-2, p. 214–231, Nov. 2002.

NASA,2002. **MODISweb**. [on-line]. <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd.mod14.pdf>>

Page, S.E.; Siegert, F.; Rieley, J.O.; Boehm, H.D.V.; Jaya, A.; Limin, S. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. **Nature**, v. 420, p. 61-65, Nov. 2002.

Projeto RADAMBRASIL Departamento Nacional de Produção Mineral **Folha SC. 21 - Juruena. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM, 1980. 456 p. (Levantamento dos Recursos Naturais, v.20).

Roy, D.P.; Borak, J.S.; Devadiga, S.; Wolfe, R.E.; Zheng, M.; Descloitres, J. The MODIS land product quality assessment approach. **Remote Sensing of Environment**. v. 83, n.1-2, p.62 –76, Nov. 2002.

Running, S.W.; Justice, C.W.; Salomonson, V.; Hall, D.; Barker, J.; Kaufman, Y.; Strahler, R.; Muller, J.P.; Vanderbilt, V.; Wan, Z.M.; Teillet, P.; Carneggie, D. Terrestrial Remote Sensing Science and Algorithms planned for EOS/MODIS. **International Journal of Remote Sensing**, Special Issue on creating global datasets: Experience with AVHRR, 1994.

Sader, S.A.; Winne, J.C. RGB-NDVI color composites for visualizing forest change dynamics. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n 16, p.3055-3067, Nov.1992.

Salomonson, V.V.; Barker, J.L. EOS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: phase C/D status and comments on calibration and georeferencing approaches. In: Annual AAS Guidance and Control Conference, 15., Keystone, CO, Feb. 8-12, 1992. **Proceedings**. Keystone: AAS, 1992. Paper AAS 92-004.

Salomonson, V.V.; Toll, D.L. Execution phase (C/D) spectral band characteristics of the EOS Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS-N) facility instrument. **Advances in Space Reserach**, v.2, n.3, p.231-236, 1990.

Sellers, P.J.; Dickinson, R.E.; Randall, D.A.; Betts, A.K.; Hall, F.G.; Berry, J.A.; Collatz, G.J.; Denning, A.S.; Mooney, H.A.; Nobre, C.A.; Sato, N.; Field, C.B.; Henderson-Sellers, A. Modeling the exchange of energy, water and carbon between continents and the atmosphere. **Science**, v. 275, n. 5299, p. 502-509, 1997.

Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. Fraction images derived from Landsat TM and MSS data for monitoring reforested areas. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 1, p. 67-74, Mar. 1995.

Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, Jan. 1991.

Singh, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989.

Skole, D.L.; Chomentowski, W.H.; Salas, W. A.; Nobre, C. A. Physical and human dimensions of deforestation in Amazônia. **Biosciences**, v.44 p. 314-322, 1994.

Soares Filho, B.S. Fragmentação da paisagem florestal em função da estrutura e dinâmica fundiária no norte do Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10, Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**. Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 987-995.

Soares Filho, B.S. Fragmentação da paisagem florestal em função da estrutura e dinâmica fundiária no norte do Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10., Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**. Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 987-995.

Souza, I.M.; Martini, P.R.; Duarte, V.; Moreira, M.A.; Aulicino, L.C.N.; Rodriguez Yi, J.L.; Shimabukuro, Y.E.; Rudorff, B.F.T. Parques indígenas e fronteiras agrícolas na Chapada dos Parecis (MT): uma análise temporal por imagens TM-LANDSAT. [CD-ROM] In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Santos, 1998. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1998.

Strahler, A.; Muchoney, D.; Borak, J.; Friedl, M.; Gopal, S.; Lambin, E.; Moody, A. **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, 1999, 72p.

Strahler, A.; Townshend, J.R.G.; Muchoney, D.; Borak, J.; Friedl, M; Gopal, S.; Hyman, A.; Moody, A.; Lambin, E. **MODIS land cover product algorithm theoretical basis document (ATBD)**. Version 4.1. Washington: NASA, , 1996, 102p. EOS-MTPE, Documentation.

Tanré, D.; Deroo, C; Dehaut, P.; Herman, M.; Morcrette, J.J; Perbos, J.; Deschamps, P.Y. **Simulation of the satellite signal in the solar spectrum: User's Guide**. Lille: L.O.A, 1986, 149p.

Telles, J.; Samii, M.V.; Doll, C.E. Overview of TDRSS. **Advances in Space Research**, v.16, p.1267-1276, 1995.

Townshend, J. R. G. ; Justice. C. O. Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, n. 2, p.187–236, Feb. 1988.

Townshend, J. R. G.; Justice C., Li, W.; Gurney, C.; McManus, J. Global land cover classification by remote sensing: Present capabilities and future possibilities. **Remote Sensing of Environment**. v.35, n.2-3, p. 243-255, Feb-Mar. 1991.

Townshend, J. R.G.; Justice, C.O. Towards operational monitoring of terrestrial systems by moderate-resolution remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 351-359, 2002.

Tucker, C. J.; Townshend, J. R.G.; Goff, T. E. African land-cover classification using satellite data. **Science** v.227, p. 369–375, 1985.

Tucker, C.J.; Sellers, P.J. Satellite remote sensing of primary productivity. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, p. 1395-1416, 1986.

Universidade Federal de Goiás (UFG). **Workshop sobre o sensor MODIS. Possibilidades e Aplicações na análise e monitoramento ambiental**. Goiás, UFG, 23 a 25 de maio de 2003. 1 CD-ROM.

and Remote Sensing Symposium (IEEE-IGARSS '96), Lincoln, Nebraska. **Proceedings**. Lincoln van Leeuwen, W.; Huete, A. R.; Jia, S.; Walthall, C. L. Comparison of vegetation index compositing scenarios: BRDF versus maximum VI approaches. In: International Geoscience: IEEE, v. 3, p.1423-1425, 27-31 May 1996.

Wolfe RE, Nishihama M, Fleig AJ, Kuyper JA, Roy DP, Storey JC, Patt FS. Achieving Sub-Pixel Geolocation Accuracy in Support of Modis Land Science. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p.31– 49, Nov. 2002.

Walthall, C. L.; Norman, J. M.; Welles, J. M.; Campbell, G.; Blad, B. L. Simple equation to approximate the bi-directional reflectance from vegetative canopies and bare soil surfaces. **Applied Optics**, v. 24, n. 3, p. 383-387. 1985.

Zhan, X.; DeFries, R.S.; Townshend, J.R. G.; DiMiceliox, C.M.; Hansen,M.; Huang, C. The 250 m global land cover change product from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometers of NASA's Earth Observation System. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, n.6-7, p.1433-1460, Apr 15, 2000.

Zhan, X.; Sohlberg, R.; Townshend, J.R.G.; DiMicelli, M.L.; Carroll, M.; Eastman, E.C.; Hansen, M.C.; DeFries, R.S. Detection of land cover changes using MODIS 250m data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1-2, p. 336–350, Nov. 2002.

Zhan, X.; Sohlberg, R.A.; Townshend, J.R.G.; DiMiceli, C.; Carroll, M.L.; Eastman, J.C.; Hansen, M.C.; DeFries, R.S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 336-350, November 2002.