



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS Ciência e Tecnologia

Ministério da
Ciência e Tecnologia



MONITORAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL DA AMAZÔNIA POR SATÉLITES

**INPE – COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 20 DE JUNHO DE 2008**

**SISTEMA DE DETECÇÃO DO DESMATAMENTO EM TEMPO
REAL NA AMAZÔNIA – DETER: ASPECTOS GERAIS,
METODOLÓGICOS E PLANO DE DESENVOLVIMENTO**

1. OS SISTEMAS DE MONITORAMENTO DO INPE

O programa de monitoramento da Amazônia do INPE conta hoje com dois sistemas operacionais, o PRODES e o DETER. Esses dois sistemas são complementares e foram concebidos para atender a diferentes objetivos.

O DETER é um sistema de apoio à fiscalização e controle do desmatamento da Amazônia (<http://www.obt.inpe.br/deter/>). Com o DETER, o INPE divulga mensalmente um mapa de Alertas, com áreas maiores que 25 ha. Esses mapas indicam áreas totalmente desmatadas (corte raso) e áreas em processo de desmatamento por degradação florestal progressiva.

O PRODES - Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia - mede as taxas anuais de corte raso desde 1988, para incrementos superiores a 6,25 hectares (<http://www.obt.inpe.br/prodes/>). Por ser mais detalhado e depender das condições climáticas da estação seca para aquisição de imagens livres de nuvens, obtidas entre Maio e Setembro, é feito apenas uma vez por ano, com divulgação prevista para dezembro de cada ano.

O INPE realiza o monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica de forma sistemática desde 1988, com tecnologias de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Durante esse período, desenvolveu competência científica e tecnológica amplamente reconhecida.

Em editorial publicado 27/04/2007, a revista Science afirmou que “o sistema de monitoramento de florestas tropicais do Brasil é a inveja do mundo”¹. Após avaliar os sistemas do INPE no início de 2008, a

¹ Kintisch, E. (2007). Carbon emissions – Improved monitoring of rainforests helps pierce haze of deforestation. *Science*, 316, 536–537.

Academia Brasileira de Ciências divulgou nota em que “manifesta sua total confiança na capacidade e integridade científica do INPE e em seus sistemas de monitoramento da Amazônia por satélite”².

No início de 2008, o INPE realizou uma avaliação detalhada do sistema DETER³. Foram feitas validações com dados de campo e análises dos resultados do DETER utilizando como referência dados do PRODES, de melhor resolução, para avaliar a detecção do desmatamento por corte raso. Foram também utilizados como referência dados obtidos por foto- interpretação de imagens TM/Landsat do desmatamento por degradação florestal progressiva. O estudo concluiu que a confiabilidade das indicações de áreas desmatadas pelo DETER é de 94%, sendo que aproximadamente 65% corresponderam ao desmatamento por corte raso e 30% por degradação florestal progressiva. Nessa avaliação, apenas 6% das áreas de Alerta do DETER não corresponderam a desmatamento.

O DETER identificou mais de 70% das áreas total de corte raso do PRODES maiores que 300 ha, e detectou 8% da área dos polígonos do PRODES entre 25 e 50 ha. O relatório completo desta análise encontra-se disponível na página do DETER (www.obt.inpe.br/deter).

² ABC (2008). *Academia Brasileira de Ciências promove evento para ouvir o INPE (18/03/2008)*. http://www.abc.org.br/publicacoes/noticia_online.asp?item=536.

³ INPE. *Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélites*. São José dos Campos- SP: Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2008. 179 p. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/deter/RelatorioMonitoramento.pdf>

2. DETER – POLÍTICA DE DIVULGAÇÃO DE DADOS

Os Alertas do DETER, para fins de suporte à fiscalização, são emitidos quinzenalmente e enviados ao IBAMA e às secretarias de Meio Ambiente dos estados da Amazônia Legal. Para o público, em geral, o INPE produz relatórios mensais no período entre Maio e Outubro, quando a cobertura de nuvens diminui e torna-se possível observar grande parte da região. Durante o período de Novembro a Abril, quando há uma maior cobertura de nuvens, os relatórios públicos do DETER são trimestrais.

A partir de maio de 2008, os relatórios do DETER, sempre que possível, serão acompanhados de análises qualitativas, com imagens de satélites de média resolução de 20-30 m (CBERS, LANDSAT) e dados de campo.

3. INVESTIMENTOS DO MCT NO FUTURO DO DETER E DO PRODES

O Ministério da Ciência e Tecnologia, através da Agência Espacial Brasileira, está fazendo investimentos significativos no INPE para melhorar substancialmente a capacidade do Brasil em mapear o desmatamento da Amazônia por satélite. Estes investimentos estão previstos no Plano de Ações de Ciência e Tecnologia para o período 2007-2010.

A próxima geração de satélites brasileiros de observação da terra inclui os satélites sino-brasileiros CBERS-3 e 4 e o satélite Amazônia-1. Com esses satélites, o Brasil poderá cobrir toda a área terrestre do

planeta com 50 metros de resolução a cada três/quatro dias. Isto permitirá um grande avanço no monitoramento da Amazônia por satélites.

4. METODOLOGIA DO SISTEMA DETER

Como apresentado anteriormente, o programa de monitoramento da Amazônia do INPE conta hoje com dois sistemas operacionais, o PRODES e o DETER, que foram concebidos para atender a diferentes objetivos em épocas distintas.

Através do sistema TerraAmazon, desenvolvido com a tecnologia Terralib (<http://www.dpi.inpe.br/terralib/>), o PRODES utiliza imagens dos sensores TM (satélite LANDSAT da NASA - <http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html>), CCD (satélites CBERS do INPE - <http://www.cbears.inpe.br/>) e DMC (satélite da DMC International Imaging - <http://www.dmcii.com/>) que cobrem a Amazônia com baixa frequência temporal (16, 26 dias e quase diário) e têm resolução espacial de 30, 20 e 32 metros, respectivamente. Com esses sensores é possível mapear desmatamentos cujas áreas sejam superiores a 6,25 hectares.

O PRODES mede as taxas anuais de desmatamento por corte raso desde 1988. A partir de 2002 essas estimativas passaram a ser divulgadas juntamente com um banco de dados geográficos multitemporal, onde estão disponíveis mapas digitais do desmatamento (<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodes.php>). Os novos desmatamentos detectados para o ano em questão são denominados Incrementos. Designa-se extensão desflorestada a área desflorestada acumulada a partir dos mapeamentos dos anos anteriores.

O DETER - Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real identifica e mapeia áreas desflorestadas em formações florestais na Amazônia. Esse sistema utiliza imagens dos sensores MODIS, a bordo do satélite TERRA da NASA (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>), e imagens do WFI, a bordo do satélite brasileiro CBERS-2B do INPE (<http://www.cbers.inpe.br/?hl=en&content=cameras1e2e2b>).

Esses sensores cobrem a Amazônia com alta frequência temporal, de dois e cinco dias, respectivamente, mas com resolução espacial limitada de 250 metros e 260 metros (WFI). Com essa resolução espacial, as imagens permitem a detecção de desmatamentos cujas áreas são superiores a 0,25 km² (ou 25 hectares). A alta frequência de observação compensa a limitação da resolução espacial, reduzindo problemas impostos pela freqüente cobertura de nuvens na região Amazônica. A maior frequência nas observações permite levantamentos e emissão de alertas de desmatamento quinzenais e mensais ("Tempo Real").

Em imagens de satélite, é preciso distinguir entre o tempo de ocorrência e o tempo de detecção. Uma floresta pode ser desmatada passo a passo, mas sua detecção como corte raso ou área degradada ocorre apenas quando as condições de observação pelo satélite são favoráveis. No DETER, todo desmatamento identificado numa imagem e que não tenha sido detectado anteriormente pelo PRODES é considerado desmatamento novo, independente do tempo cronológico (Figura 4.1).

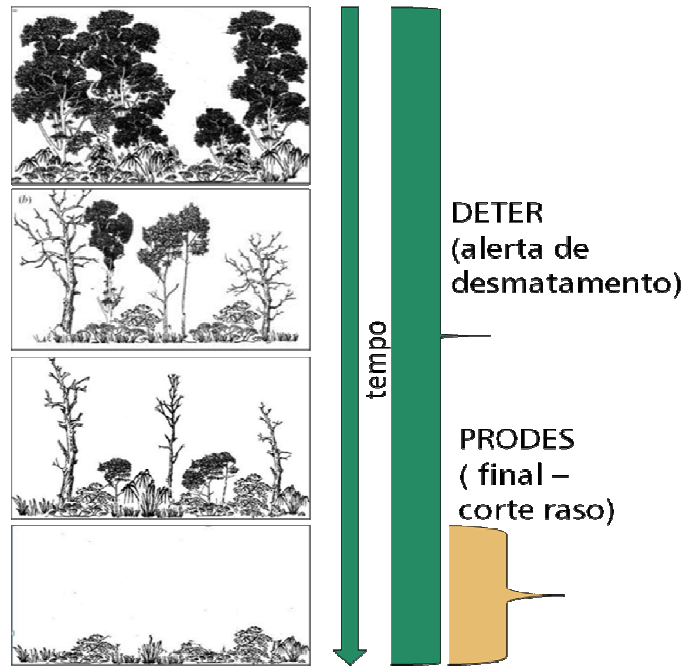


Figura 4.1 – Comparação dos sistemas PRODES e DETER quanto ao tempo de detecção e ao processo de desmatamento.

O PRODES, para manter a coerência histórica do sistema analógico, identifica e contabiliza as áreas que sofreram corte raso, ou seja, o estágio final do processo de desmatamento. No DETER, toda alteração da cobertura florestal verificada no período de análise é apontada como área de Alerta e passível de fiscalização, ou seja, o DETER procura identificar estágios intermediários do processo de desmatamento. Isto acontece quando os atributos espectrais da fração de solo exposto dominam a refletância da vegetação rareada ou senescente, em função de queimadas recorrentes.

O principal objetivo do DETER é fornecer indicadores para fiscalização. A cada 15 dias, quando as condições de observação são favoráveis, o DETER produz um mapa digital com todas as ocorrências de desmatamento observadas na quinzena anterior. Dessa forma, permite aos órgãos responsáveis pela fiscalização (IBAMA, SEMA estaduais, Promotoria Pública) planejar suas ações de campo e operações de combate ao desmatamento ilegal.

O maior desafio científico do DETER é medir áreas onde ocorre degradação progressiva, com diferentes proporções de solo e vegetação. A detecção dessas áreas por satélite é dificultada pela grande variedade de respostas possíveis da floresta em processo de degradação.

A metodologia utilizada no DETER para detectar áreas e delimitar polígonos de desmatamento é descrita de forma resumida nas etapas que se seguem.

4.1. SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

Para os trabalhos de mapeamento são utilizadas as imagens True-color Rapid Response System do sensor MODIS, da NASA, disponíveis na rede no site <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>. Este sistema fornece composições coloridas das imagens do satélite MODIS para toda a superfície da Terra, algumas horas após a passagem diária do satélite.

Para mapear o desmatamento, trabalha-se com uma composição colorida em que as bandas espectrais sejam sensíveis às respostas da contribuição do solo e da vegetação, gerando padrões de cores semelhantes aos que o olho humano pode distinguir, tornando mais intuitiva a detecção de mudanças na cobertura da terra. Na composição colorida True-color MODIS, as bandas MODIS 1, 4 e 3, correspondentes às regiões do espectro eletromagnético do vermelho (620-670 nm), verde (545-565 nm) e azul (459-479 nm), são associadas respectivamente aos canais vermelho, verde e azul de uma imagem digital, com resolução espacial de 250m.

4.2. VERIFICAÇÃO DA COBERTURA DE NUVENS

As melhores imagens, quanto à cobertura de nuvens para a quinzena, são escolhidas no site <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/>, de modo a cobrir a maior

parcela dos seguintes subsets: FAS_Brazil1, FAS_Brazil3, FAS_Brazil6, FAS_Brazil7, AERONET_Rio_Branco, FAS_Bolívia.

Para cada subset são escolhidas uma ou mais imagens de maneira que a maior parcela possível do subset seja monitorada naquela quinzena (Figura 4.2).

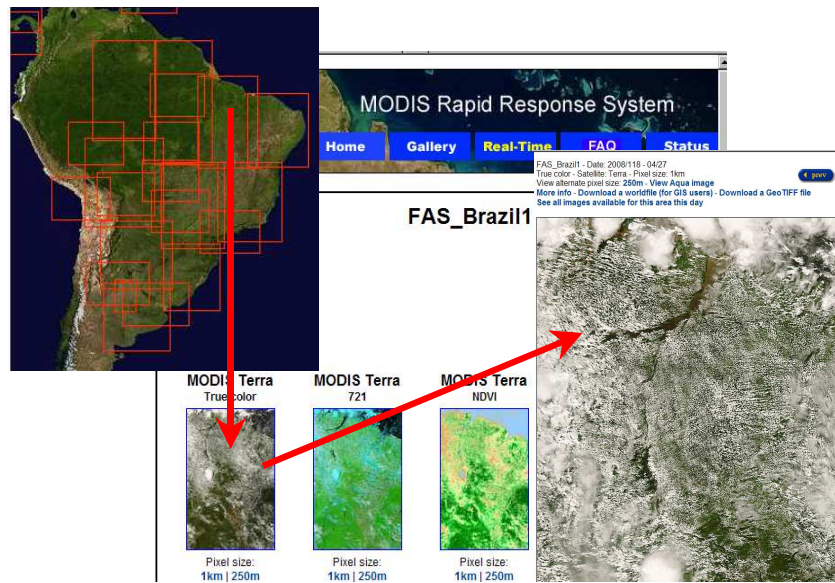


Figura 4.2 – Exemplo da seleção e aquisição do subset MODIS FAS_Brazil1.
Fonte: http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?FAS_Brazil1/

As imagens WFI-CBERS2 são obtidas a partir do site <http://www.dgi.inpe.br>, e escolhidas da mesma forma, de modo a permitir maior capacidade de observação da Amazônia Legal Brasileira.

4.3. INCORPORAÇÃO DAS IMAGENS AO BANCO DE DADOS DO INPE

As imagens “rapid fire” do MODIS e WFI-CBERS2 selecionadas são importadas para o sistema SPRING, onde são realçadas por meio de um aumento linear de contraste, e em seguida exportadas no formato geotiff. As composições coloridas são então importadas para um banco de dados PostgreSQL denominado TerraAmazon.

Baseado na tecnologia aberta da TerraLib⁴, o TerraAmazon foi desenvolvido para sistematizar a base de dados resultante do monitoramento por satélites do desmatamento na Amazônia. Em uma única base estão sistematizados os dados (polígonos e imagens) do programa de monitoramento da Amazônia do INPE, o que permite agilizar o processo de análise, edição e produção de informação gráfica e tabular. O TerraAmazon, além de oferecer ferramentas de edição e consulta próprias de um Sistema de Informação Geográfica, permite que sejam criados algoritmos de consistência, que impedem que polígonos espúrios sejam gerados, analisando conjuntamente dados vetoriais e tabulares.

A identificação dos polígonos é feita no TerraAmazon a partir da análise das imagens MODIS e WFI, apoiada também nas imagens Landsat, DMC ou CCD de anos anteriores.

4.4. MAPEAMENTO DOS ALERTAS

No início de cada ano, os mapas de desflorestamento do PRODES do ano anterior são utilizados como um marco de referência das áreas desflorestadas. O mapa do PRODES, contendo o desflorestamento dos anos anteriores, juntamente com as áreas de não-floresta, gera uma máscara que integra todas as áreas de corte raso já detectadas e mapeadas. A máscara do PRODES é usada para evitar que desmatamentos antigos sejam identificados e novamente contabilizados (Figura 4.3).

A identificação de desmatamento é feita através da foto-interpretção da imagem MODIS, considerando apenas partes da imagem onde supostamente ainda existe cobertura florestal.

⁴ TerraLib é uma biblioteca de classes escritas em C++ para a construção de aplicativos geográficos desenvolvida pelo INPE. Detalhes em www.dpi.inpe.br/terralib

A identificação do padrão de alteração da cobertura florestal é feita com base em três principais elementos para a foto-interpretação: tonalidade, textura e contexto.

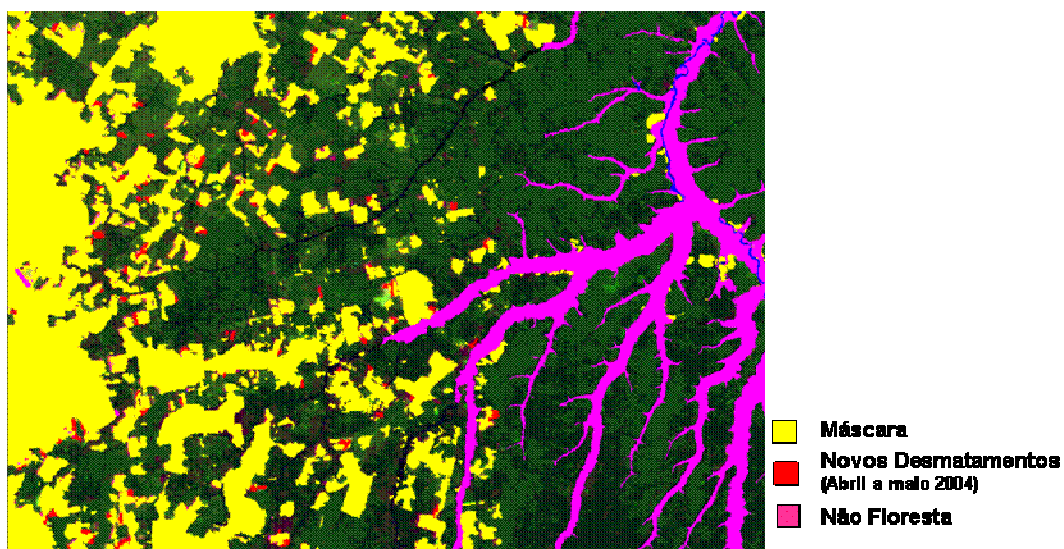


Figura 4.3 – Identificação de desmatamento pelo DETER. A máscara do PRODES com os desmatamentos antigos (amarelo) e áreas de não-floresta (magenta) é sobreposta à composição colorida MODIS, onde se identificam os desmatamentos novos (vermelho).

As áreas indicadas pelo DETER correspondem tanto a regiões de corte raso, quanto a áreas de degradação florestal progressiva. Como já dito acima, a detecção de degradação florestal progressiva por satélite é tarefa não trivial porque existe uma variedade considerável de respostas possíveis da floresta em processo de degradação.

O limite dos polígonos é digitalizado sobre a visualização da composição colorida MODIS, com a máscara dos desmatamentos anteriores sobreposta, na escala 1:500.000. Com esse sistema, é possível detectar apenas os desmatamentos não cobertos por nuvens, cujas áreas são maiores que 25 ha.

Um desmatamento é detectado na primeira oportunidade de observação, o que não significa que ele ocorreu no último período

observado. Uma vez detectado, o polígono de desmatamento passa a ser incorporado à máscara, que é atualizada mensalmente.

A identificação e classificação dos polígonos como desmatamento dependerão da variação da resposta espectral da cobertura sobre a composição colorida das bandas MODIS originais.

4.5. MAPA DE NUVENS

Para cada composição colorida MODIS interpretada, extrai-se também os polígonos referentes às nuvens. O mapa de nuvens contém as informações de cobertura de nuvens de todas as imagens utilizadas para a avaliação da quinzena.

4.6. AUDITORIA

Após a interpretação visual das imagens, os polígonos de desmatamento detectados pelo DETER passam por um processo de revisão em que um auditor confere a identificação e os limites dos polígonos mapeados. Caso seja necessário, os polígonos são editados novamente e apenas serão divulgados após a certificação do auditor.

4.7. GERAÇÃO DOS PRODUTOS FINAIS E DIVULGAÇÃO

A cada 15 dias, quando as condições de observação são favoráveis, o DETER produz um mapa digital com todas as ocorrências de desmatamento observadas na quinzena anterior ao período.

Esses mapas digitais contendo os polígonos de Alerta e as tabelas que os descrevem são enviados quinzenalmente ao IBAMA e órgãos de gestão florestal cadastrados e signatários de uma licença de uso, assim

como o mapa de cobertura de nuvens no período, indicativo da área efetivamente monitorada.

Os mapas das duas quinzenas de cada mês são integrados e, juntamente com os mapas de cobertura de nuvens e as imagens utilizadas no período, são disponibilizados na Internet (<http://www.obt.inpe.br/deter/>) para consulta, em aproximadamente 30 dias após o período analisado, permanecendo disponíveis para download (Figura 4.4). Para o período chuvoso, de novembro a abril, são publicados dois relatórios trimestrais.



Figura 4.4 – Interface do DETER para divulgação e download dos dados.

Da interface principal é possível ter acesso aos centróides dos polígonos de Alerta, como pontos, em formato shapefile ou ascii. Requisitando-se o download das imagens MODIS e dados vetoriais, tem-se acesso por ftp às imagens referentes ao mês (em formato jpeg), aos

polígonos com as nuvens (shapefile), e aos polígonos de Alerta do DETER (shapefile).

5. PLANO DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DETER

A opção pelo uso de dados True-color Rapid Response System do sensor MODIS, da NASA foi decidida por ser este produto- disponível e atualizado diariamente, diferentemente de outros produtos MODIS que são distribuídos com atraso que pode chegar a 12 dias após sua aquisição. No entanto o INPE ao longo dos anos de 2007 e 2008 desenvolveu sua própria capacidade de receber e processar dados MODIS. Hoje dados MODIS são coletados pela estação de recepção de Cuiabá e transmitidos em banda larga para o campus do INPE em São José dos Campos. Com o pacote IPOP de processamento de dados MODIS fornecido pela NASA o INPE processa os dados até o nível 2G, obtendo assim imagens multiespectrais de reflectância de superfície, georreferenciadas e com correção de efeitos atmosféricos.

Com estes dados diários pode-se proceder a transformação dos dados radiométricos em dados de proporção de elementos de cena, solo, sombra e vegetação, para reproduzir no DETER a mesma metodologia adotada pelo PRODES, sem prejudicar o acesso imediato a dados para interpretação. Com este procedimento espera-se aumentar a capacidade de análise de dados de resolução moderada de modo a melhorar a exatidão dos levantamentos de novos desmatamentos e investigar a possibilidade de se quantificar níveis de degradação florestal em função da proporção verificada de superfície de solo exposto, sombra e cobertura vegetal verde.

Uma outra área de inovação é a assimilação de dados de radar orbital no DETER. O INPE faz parte do grupo de instituições científicas

que participam do consórcio “Kyoto and Carbon Initiative”, organizado pela Agência de Exploração Aeroespacial do Japão, JAXA, que provê coberturas sistemáticas da Amazônia com dados do radar em banda L PALSAR, a bordo do satélite ALOS. Investigações preliminares mostram que os dados do PALSAR são sensíveis tanto ao corte raso, quanto à degradação florestal. A assimilação de dados PALSAR trará complementaridade às atividades do DETER realizadas com dados ópticos, permitindo a detecção melhor de degradação florestal e, principalmente, cobrindo áreas com constante cobertura de nuvens como é o caso da parte setentrional da Amazônia brasileira, onde o DETER tem capacidade limitada de monitoramento no período chuvoso na região.

A assimilação de dados PALSAR deverá preparar o INPE e o Programa de Monitoramento da Amazônia por Satélites para futuras missões de radares orbitais previstas no Programa Espacial Brasileiro que prevê o lançamento do MAPSAR em 2013 e do CBERS-7 em 2016, ambos portadores de radar em banda L, com características similares ao PALSAR.

A evolução do Programa Espacial Brasileiro trará também aperfeiçoamento à cobertura da Amazônia com dados ópticos com alta repetitividade. O WFI da série CBERS evoluirá para o AWFI (Advanced Wide Field Imager) que cobrirá todo o território com dados de resolução de 60 metros a cada 5 dias. Este sensor estará nos satélites CBERS a partir do CBERS-4, previsto para lançamento em 2011. Um outro satélite previsto para lançamento em 2010, o Amazônia-1, fornecerá dados com resolução de 40 metros com repetitividade de 5 dias.

Com as inovações acima descritas o INPE aumentará a capacidade de produzir informação sobre a dinâmica da cobertura florestal de modo a atender os programas de fiscalização e gestão de terras na Amazônia.