

## Avaliação de dados dos Sistemas de Alerta da Amazônia: DETER e SAD

Maria Isabel Sobral Escada<sup>1</sup>  
Luis Eduardo Maurano<sup>1</sup>  
Camilo Daleles Rennó<sup>1</sup>  
Silvana Amaral<sup>1</sup>  
Dalton de Morrison Valeriano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{isabel, maurano, camilo, silvana}@dpi.inpe.br, <sup>2</sup>dalton@dsr.inpe.br

**Abstract.** This paper presents an analysis comparing two deforestation monitoring system data, DETER and SAD, for the period of August 2008 to July 2009 for Amazônia Legal region. This study uses as reference clear cut deforestation data from PRODES, and forest degradation data from DEGRAD (INPE). DETER is a deforestation Alert System developed by INPE, and SAD is a non governmental Alert System developed by IMAZON. Both systems use low spatial resolution (250m) data from MODIS image, but different techniques to detect and map deforestation areas. In the period of analysis, DETER detected larger clear cut deforestation area than SAD, 2.705 km<sup>2</sup> against 1.510 km<sup>2</sup>, showing better capacity to support law-enforcement. However, the proportion of clear cut areas non-detected by these systems was high, 78% for DETER and 81% for SAD. The worse result obtained was for deforestation polygons size equal or smaller than 0,25 km<sup>2</sup> (25 ha), with ~4% of confirmation for both systems, despite the fact that SAD minimum mapping area is 6,25 ha and DETER minimum area is 25 ha. This result reinforce that 25 ha is the limit size area of MODIS detection capacity. The analysis of PRODES data showed a tendency of increasing the proportion of clear cut areas smaller than 25 ha, from 22% of the total area in 2002 to 60% in 2009. To improve the Alert Systems detection capacity, considering this scenario, is necessary to investigate the possibility of incorporating other sensors data with higher spatial resolution, maintaining high temporal resolution.

**Palavras-chave:** forest monitoring system, clear cut deforestation, forest degradation, MODIS, sistema de monitoramento da floresta, desmatamento por corte raso, degradação florestal.

### 1. Introdução

Devido à atual preocupação com as mudanças climáticas e com processos que envolvem emissão e captura de CO<sub>2</sub> da atmosfera, há um crescente interesse pelas questões relacionadas com o monitoramento de florestas tropicais e ações de combate ao desmatamento na Amazônia.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) tem realizado e divulgado desde 1988 levantamentos e taxas anuais de desmatamento da Amazônia. O PRODES, Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Brasileira por Satélite do INPE, é o sistema precursor do monitoramento do desmatamento na Amazônia. Foi desenvolvido para a realização do mapeamento e cálculo das taxas anuais de desmatamento por corte raso com sensores de resolução moderada, TM/LANDSAT e CCD/CBERS com 30m e 20 m de resolução espacial, respectivamente. Esse sistema tem demonstrado ser de grande importância para ações e planejamento de políticas públicas da Amazônia. Porém, o tempo para a produção de dados cobrindo toda a extensão da Amazônia Legal pelo PRODES é de cerca de seis a oito meses devido ao elevado número de imagens a serem processadas (~230 imagens) e a pouca disponibilidade de imagens com baixa cobertura de nuvens (INPE, 2010; Câmara, 2010), não sendo um sistema adequado para ações de prevenção, fiscalização e controle do desmatamento no curto prazo.

Para dar agilidade à detecção e mapeamento do desmatamento, em 2004, o governo federal, através do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal, solicitou ao INPE que criasse um sistema mais ágil para dar apoio à

fiscalização do desmatamento, o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER). O DETER é um sistema de Alerta que além de utilizar satélites que cobrem a Amazônia com maior frequência, possibilitando detectar áreas em processo de desmatamento em tempo “quase” real, opera com um conceito de desmatamento mais abrangente do que o do PRODES, incluindo tanto ocorrências de corte raso quanto de degradação florestal.

Em 2007, outro sistema de detecção de desmatamento foi desenvolvido pelo INPE, o DEGRAD (INPE, 2010), que mapeia desmatamento por degradação florestal, e utiliza imagens de sensores de resolução moderada, como o TM/LANDSAT e CCD/CBERS com 30m e 20 m de resolução espacial.

Em paralelo à criação do DETER, a organização não governamental, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), desenvolveu outro sistema de detecção de desmatamento, o Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) (Souza Jr. et al. 2009), cujo principal objetivo é também a detecção de novas áreas desmatadas em tempo “quase” real.

O SAD começou operar em 2006, dois anos depois do DETER, abrangendo inicialmente os Estados do Mato Grosso e Pará. Em 2008, o SAD passou a cobrir toda a extensão da Amazônia Legal. Este sistema é utilizado para detectar desmatamento por corte raso e não incluía até 2009, áreas de degradação progressiva da floresta.

O SAD e o DETER têm em comum o uso de imagens do sensor MODIS (TERRA) da NASA (NASA, 2010), de baixa resolução espacial (250 m) e alta resolução temporal (2 dias). A alta frequência de cobertura das imagens MODIS confere aos dois sistemas agilidade e a possibilidade de detectar estágios iniciais do desmatamento, importante para a fiscalização e ações rápidas de combate ao desmatamento. Entretanto, devido à baixa resolução espacial das imagens, a detecção de pequenas áreas desmatadas é limitada, inviabilizando o uso desses dados para estimar com precisão área e taxas de desmatamento. Os dados gerados pelo DETER são encaminhados para os órgãos federais de fiscalização a cada quinze dias e são publicados mensalmente na internet (INPE, 2010). Os dados do SAD, organizados em arquivos vetoriais, passaram a ser disponibilizados na internet (IMAZON, 2010) em 2009.

Devido à divulgação pública dos dados mensais do DETER e do SAD e ao crescente interesse da sociedade por essas informações, os dados dos dois sistemas passaram a ser confrontados. Apesar da semelhança entre os sistemas, principalmente pelo uso de imagens MODIS, os valores mensais e anuais de área desmatada divulgados apresentam diferenças significativas. Para o período de agosto de 2008 a julho de 2009, por exemplo, o DETER aponta para uma área desmatada de 4.321 km<sup>2</sup> enquanto o SAD aponta para uma área de 1.776 km<sup>2</sup>. Essas diferenças são atribuídas ao uso de metodologias distintas para a detecção de desmatamento, aos tipos de desmatamento detectados (corte raso no SAD e, corte raso e degradação florestal no DETER) e, à composição dos mosaicos mensais de imagens que apresentam diferentes proporções e distribuição espacial da cobertura de nuvens.

Esse artigo apresenta uma análise dos dados dos sistemas DETER e SAD para o período de agosto de 2008 a julho de 2009 para a região da Amazônia Legal, utilizando como referência os dados do PRODES e DEGRAD produzidos pelo INPE para o ano de 2009. Os dados mensais do DETER e do SAD foram agregados para o período de um ano de acordo com o ano PRODES, que vai de agosto de um determinado ano até julho do ano seguinte. A agregação dos dados mensais para o período de um ano, além de possibilitar realizar análises comparativas entre os dados dos dois sistemas de Alerta (DETER e SAD) e os dados do PRODES, reduz os efeitos da cobertura de nuvem, permitindo que algumas áreas desmatadas que não foram observadas em um determinado mês, sejam incluídas no mapeamento em meses posteriores.

Como resultado desse estudo espera-se responder a algumas questões relativas ao SAD e ao DETER como: 1) Quanto e quais tipos de desmatamento cada um dos sistemas detecta; 2) Quais os índices de confirmação e de não confirmação (falsos positivos) dos Alertas; 3)

Quanto os Sistemas de Alerta deixam de detectar em relação ao dado do PRODES (falsos negativos) e; 4) Qual a capacidade de detecção de novos desmatamentos dos dois sistemas de Alerta, considerando o tamanho da área desmatada.

### **1.1 Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real - DETER**

O DETER monitora o desmatamento de áreas de floresta para toda a extensão da Amazônia Legal desde 2004. O objetivo principal do DETER é fornecer dados para apoiar a fiscalização do desmatamento, identificando quinzenalmente novas áreas desmatadas ou em processo de degradação florestal, denominadas Alerta. Esse sistema emprega as imagens do sensor MODIS a bordo do satélite TERRA, da NASA, que recobrem toda a Amazônia em intervalos de dois dias. Como as imagens utilizadas possuem resolução espacial de 250 m, o DETER mapeia áreas desmatadas superiores a 25 ha. O mapeamento é realizado no sistema TerraAmazon (Freitas et al, 2007), desenvolvido para sistematizar todos os dados (polígonos e imagens) do programa de monitoramento do desmatamento da Amazônia do INPE.

A identificação dos Alertas é feita por fotointerpretação da composição colorida MODIS, considerando apenas a porção da imagem que ainda possui cobertura florestal, ou seja, excluindo as áreas de desmatamentos do PRODES do ano anterior (máscara PRODES). A identificação do padrão de alteração da cobertura florestal é feita com base em três principais elementos para a foto-interpretção: tonalidade, textura e contexto.

Um desmatamento é detectado na primeira oportunidade de observação, o que não significa que ele ocorreu no período observado. Uma vez detectado, o polígono de desmatamento passa a ser incorporado à máscara, que é atualizada mensalmente. Após a interpretação visual das imagens, os polígonos de desmatamento detectados passam por um processo de revisão em que um auditor confere a identificação e os limites dos polígonos.

Os Alertas são enviados aos órgãos de fiscalização, em tempo suficiente para prevenir o avanço das atividades de desmatamento. Um relatório de qualificação dos Alertas acompanha a publicação mensal dos arquivos vetoriais com as ocorrências de desmatamento. Para esta qualificação, o INPE utiliza imagens provenientes de sensores com resolução espacial mais fina, como o CCD/CBERS e TM/LANDSAT, de 20 e 30 m, respectivamente, adquiridas em período equivalente ao das imagens MODIS. Detalhes sobre a metodologia do DETER e sua qualificação podem ser encontrados em INPE (2010).

### **1.2 Sistema de Alerta do Desmatamento - SAD**

O SAD - Sistema de Alerta de Desmatamento, desenvolvido pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), hoje na versão 3.0, também monitora o desmatamento em áreas de floresta na Amazônia e começou a operar dois anos depois do DETER, em 2006, abrangendo inicialmente os Estados do Mato Grosso e Pará e em 2008 toda a extensão da Amazônia Legal (IMAZON, 2010).

O SAD utiliza um mosaico temporal de imagens MODIS dos produtos MOD09GQ e MOD09GA para minimizar a presença de nuvens. Em seguida, através da técnica de fusão de bandas faz a mudança de resolução das 5 bandas de 500 metros do MODIS para 250 metros. Aplicando-se um modelo espectral de mistura de pixel sobre esta imagem são estimadas a fração de vegetação, solo, sombra, e Vegetação Fotossinteticamente Não Ativa (NPV). A imagem NDFI (Normalized Difference Fraction Index) é calculada a partir da seguinte equação:

$$\text{NDFI} = \frac{\text{VGs} - \text{NPV} - \text{Solo}}{\text{VGs} + \text{NPV} + \text{Solo}} \quad (1)$$

onde:

$$\text{VGs} = \text{Vegetação} / (1 - \text{Sombra}) \quad (2)$$

Como o NDFI varia de -1 (pixel com 100% de solo exposto) a 1 (pixel com > 90% com vegetação florestal) obtém-se uma imagem que pode mostrar a transição de áreas desmatadas, florestas degradadas, e florestas sem sinais de distúrbios.

De acordo com o Imazon (2010), a área mínima mapeada é de 6,25 ha (um pixel MODIS). Isto infringe uma regra básica de sensoriamento remoto que é o teorema de Nyquist-Shannon (Shannon, 1998) que impõe como área mínima de mapeamento duas vezes a resolução nas duas dimensões, o que significa uma área mínima de 2 pixels X 2 pixels.

## **2. Metodologia**

Para avaliar os Alertas do DETER e do SAD do período de agosto de 2008, a julho de 2009, primeiramente foi elaborado um mapa de referência com os dados do PRODES 2009, e dados de degradação florestal do DEGRAD de 2007 a 2009. Os dados mensais do DETER e do SAD foram agregados para o período equivalente ao ano PRODES 2009 obtendo-se, assim, um único mapa de Alerta para cada sistema.

Os mapas de Alerta foram cruzados com os mapas de referência testando-se diferentes critérios relacionados com a área de intersecção entre os polígonos dos Alertas com os polígonos de referência. Para discussão dos resultados foram utilizados os dados das qualificações mensais do DETER para o período de análise.

Os sistemas de Alerta foram avaliados quanto a sua capacidade de detecção dos diferentes tipos de desmatamentos. As seções que seguem descrevem de forma mais detalhada as três etapas da metodologia: 1) Elaboração dos mapas de referência; 2) Compatibilização dos dados dos sistemas de Alerta com dados do PRODES e DEGRAD e; 3) Cruzamento e análise dos dados.

As operações descritas nesse trabalho utilizaram o aplicativo TerraView v. 3.5 desenvolvido pelo INPE (2010).

### **2.1 Elaboração dos Mapas de Referência**

Dois mapas de referência foram elaborados: um com os dados de desmatamento do PRODES de 2009 e 2008 agregados aos dados do DEGRAD de 2007 a 2009, e outro com os dados do PRODES de 2009.

Embora os Alertas avaliados tenham sido detectados no período de agosto de 2008 a julho de 2009, alguns deles podem ter ocorrido no ano anterior, por isso os dados do PRODES de 2008 foram incluídos no primeiro mapa de referência. Os sistemas de Alerta operam continuamente durante o ano, porém, a máscara de desmatamento do PRODES é atualizada apenas uma vez, no início de cada ano. Assim, enquanto o sistema opera sem a atualização da máscara do PRODES alguns Alertas do ano anterior podem ser detectados.

No caso da degradação florestal, optou-se pela inclusão das áreas relativas ao período de três anos no mapa de referência, pois, uma vez detectada uma área de degradação florestal, tal área não se recupera rapidamente, sendo passível de detecção por vários anos consecutivos. Um operador de união agregou os polígonos de degradação, que foram incluídos no mapa de referência.

Além dos dados de desmatamento por corte raso e degradação florestal, polígonos referentes às outras classes do PRODES 2009 como os desmatamentos antigos (anteriores a 2007), corpos d'água, nuvem e não-floresta foram também incluídos no mapa de referência.

Foi produzido um segundo mapa de referência apenas com os dados do PRODES de 2009 e as classes do mapa descrito anteriormente. Esse mapa foi utilizado para avaliar os sistemas de Alertas quanto à detecção ou não de polígonos de corte raso mapeados pelo PRODES em 2009.

## **2.2 Processamento e Compatibilização dos Dados dos Sistemas de Alerta com PRODES e DEGRAD.**

Para compatibilizar os dados mensais dos sistemas de Alerta e compará-los com os dados anuais do PRODES, os dados do DETER e do SAD foram agregados para o período de agosto de 2008 a julho de 2009. Para tanto, foram usados operadores geográficos para dissolver linhas comuns de polígonos adjacentes de diferentes meses, unindo-os em um só polígono.

## **2.3 Avaliação dos dados do DETER e SAD com os dados de desmatamento do PRODES e do DEGRAD.**

Para verificar qual proporção de Alertas detectados pelo DETER e pelo SAD correspondem aos polígonos de desmatamento do PRODES e DEGRAD e qual a proporção de Alertas não confirmados (falsos positivos), fez-se os cruzamentos dos polígonos: 1) DETER X PRODES/DEGRAD e 2) SAD X PRODES/DEGRAD. Para o DETER considerou-se como acerto todos os polígonos associados a corte raso e floresta degradada já que o mesmo detecta ambos os desmatamentos. Para o SAD, foram considerados como acerto apenas os polígonos associados a corte raso, uma vez que dados de floresta degradada não foram incluídos, pois não estavam disponíveis.

Para avaliar o quanto do desmatamento do PRODES é detectado e, principalmente, o quanto não é detectado (falsos negativos) pelo DETER e pelo SAD, foram realizados os seguintes cruzamentos entre polígonos: 3) PRODES X DETER e; 4) PRODES X SAD. Adicionalmente, foram realizadas análises dos Alertas confirmados como corte raso por faixas de tamanho.

Devido às diferenças entre as resoluções espaciais dos sistemas de Alerta (250m) e do PRODES (30 m) há deslocamentos entre os polígonos, o que dificulta a correspondência perfeita entre suas geometrias, como mostra a Figura 1. Considerando esta limitação, diferentes critérios relacionados com a proporção de área de sobreposição dos polígonos de Alerta com os polígonos de desmatamento dos mapas de referência foram testados, obtendo-se assim os índices de confirmação para cada classe avaliada. Os valores testados foram: > 50%, > 40%, > 30%, > 20%, > 10%, > 5% e > 1%. O primeiro valor corresponde a uma análise de maioria e o último corresponde a uma operação do tipo “toca”. Na análise de maioria, quando mais da metade da área do Alerta faz intersecção com o polígono de desmatamento do PRODES (corte raso) ou do DEGRAD (degradação florestal), o Alerta inteiro é contabilizado como desmatamento. Quando o operador toca é utilizado, atribui-se ao Alerta a classe majoritária do polígono de desmatamento do mapa de referência que faz intersecção com o polígono de Alerta em pelo menos 1% da área.

A análise dos resultados dos cruzamentos entre os dados dos sistemas de Alerta com os dados do PRODES/DEGRAD foi realizada utilizando como referência os resultados obtidos nas qualificações mensais do DETER, descrita pelo INPE (2010) para o período de agosto de 2008 a julho de 2009.

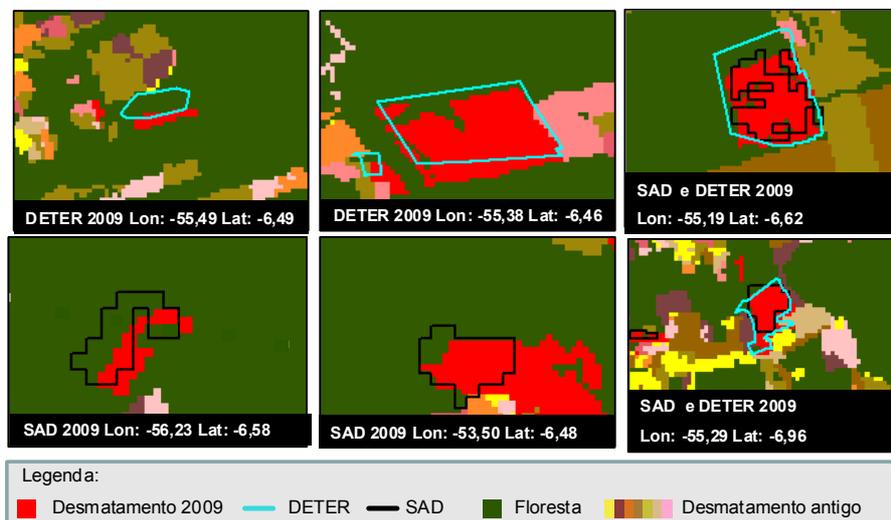


Figura 1. Alertas DETER e SAD e seu posicionamento em relação aos polígonos de desmatamento do PRODES 2009.

### 3. Resultados e Discussão

Para o período de agosto de 2007 a julho de 2008, o PRODES mapeou 13.345 km<sup>2</sup> e para o período de agosto de 2008 a julho de 2009, o PRODES mapeou 6.136 km<sup>2</sup> de corte raso (incremento). O DEGRAD mapeou 37.301 km<sup>2</sup> de degradação florestal progressiva para os anos de 2007, 2008 e 2009. Para o mesmo período de 2009 do PRODES, o DETER detectou uma área desmatada de 4.321 km<sup>2</sup> enquanto o SAD detectou 1.776 km<sup>2</sup>.

Os resultados dos cruzamentos realizados entre os dados dos sistemas de Alerta, DETER e SAD, com dados do PRODES e DEGRAD e, do PRODES 2009 com os dados dos dois sistemas de Alerta são apresentados nas seções seguintes.

#### 3.1 Avaliação dos Alertas quanto à detecção de corte raso e degradação florestal

Como a análise do cruzamento dos dados, feita de modo automático, depende da proporção mínima de intersecção a ser considerada entre os polígonos de Alerta e PRODES/DEGRAD, adotou-se os resultados das qualificações mensais do DETER, para indicar valores de referência para esta avaliação. Na qualificação do DETER são utilizadas imagens de resolução espacial mais fina, permitindo uma atribuição mais criteriosa do tipo de desmatamento para cada polígono de Alerta analisado (INPE, 2010). Para os polígonos de Alerta do DETER avaliados nas qualificações mensais entre agosto de 2008 e julho de 2009 chegou-se às seguintes proporções de área detectada: 65,5% de corte raso; 28,4% de degradação; e 5,1% não confirmado.

Os dados do DETER e SAD foram cruzados com os dados do PRODES e DEGRAD e os sete critérios de intersecção foram testados como mostra a Figura 2. O resultado mais próximo da referência foi obtido com o critério que corresponde à operação “toca” (1%). Neste caso, os índices de acerto foram de 92,8% (corte raso e degradação) para o DETER e 85,8% para SAD (corte raso).

Apesar dos índices de acerto terem sido altos para ambos os sistemas, é preciso considerar o valor absoluto de área detectada. O DETER apontou uma área maior de desmatamento por corte raso, apresentando 2.705 km<sup>2</sup> enquanto o SAD detectou 1.510 km<sup>2</sup>, com a intersecção de 5%. Para todos os critérios analisados o DETER apresentou maior área desmatada, variando de 1.894 km<sup>2</sup> a 2.820 km<sup>2</sup> para os critérios de 50% a 1%, enquanto o SAD detectou de 1.255 km<sup>2</sup> a 1.503 km<sup>2</sup>. Esse resultado mostra uma melhor capacidade de detecção do DETER, atendendo melhor aos propósitos de fiscalização.

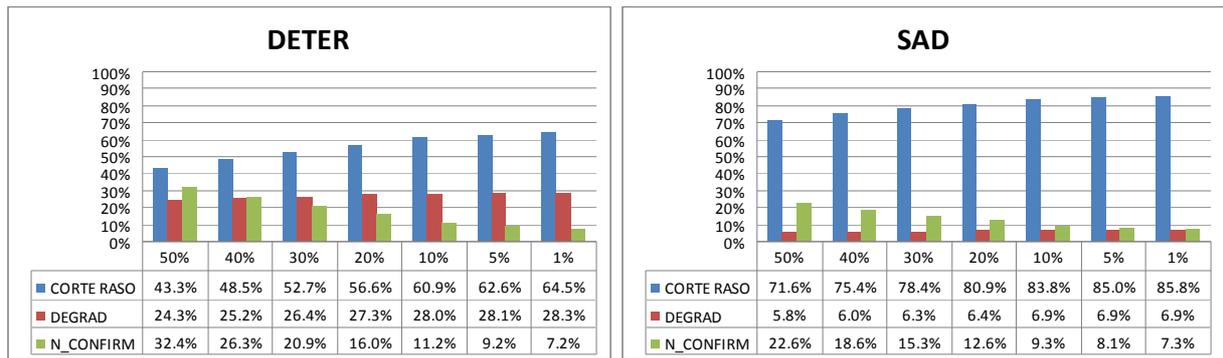


Figura 2. Resultado da análise do cruzamento dos dados do DETER e SAD com o PRODES/DEGRAD e os critérios de intersecção testados.

O resultado da intersecção entre as áreas dos sistemas de Alerta com o PRODES para o limiar de 5% é apresentado na Figura 3, indicando erros de mapeamento do DETER (desmatamento antigo+outros) e do SAD (desmatamento antigo + outros + degradação) de 13% (569 km<sup>2</sup>) e 12% (329 km<sup>2</sup>), respectivamente.

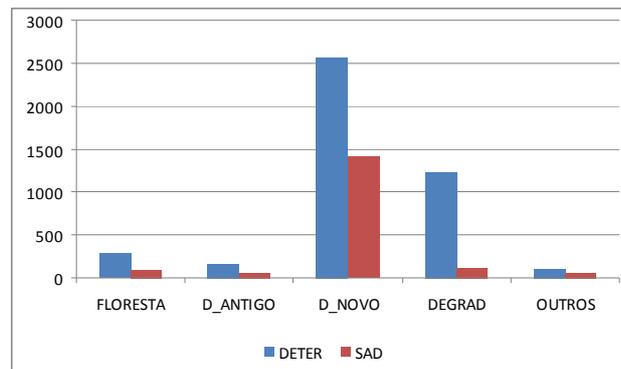


Figura 3. Resultado do cruzamento dos Alertas com o dado do PRODES 2009 em unidade de área (km<sup>2</sup>).

### 3.2 Relações entre o desmatamento PRODES e Alertas DETER e SAD

Para responder a questão sobre o quanto do desmatamento detectado pelo PRODES é detectado pelos dois sistemas de Alerta, foi feito o cruzamento do PRODES 2009 com os dados dos dois sistemas de Alerta, os resultados da análise para o critério de 5% de intersecção foi de 22,3% (1.479,5 km<sup>2</sup>), para o DETER e de 18,9% (1253 km<sup>2</sup>) para o SAD, de um total de 6.646,3 km<sup>2</sup>, mapeados pelo PRODES. Esse resultado evidencia que a maior parte da área desmatada (aproximadamente 80%) mapeada pelo PRODES não é detectada pelos sistemas de Alerta, são os chamados falso negativos.

Para melhor compreender esse resultado, apresenta-se uma análise do cruzamento dos dados do PRODES com os dados do DETER e do SAD por faixas de tamanho (Tabela 1 e Figura 4). Os índices de confirmação passaram a ser maiores, acima de 50%, nas faixas de tamanho acima de 1 km<sup>2</sup> (100 ha), chegando a quase 100% nas faixas acima de 5 km<sup>2</sup> (500 ha).

TABELA 1 Resultado PRODES X DETER e PRODES X SAD por Faixas de Tamanho (5% de intersecção).

Faixas de tamanho (km <sup>2</sup> )	PRODES 2009		DETER 2009		SAD 2009	
	(km2)	%	(km2)	%	(km2)	%
A ≤ 0.25 (*)	4002,7	60,2%	156,2	3,9%	164,3	4,1%
0.25 < A ≤ 0.5	1012,5	15,2%	194,3	19,2%	190,2	18,8%
0.5 < A ≤ 1	599,9	9,0%	258,8	43,1%	204,3	34,1%
1 < A ≤ 2	343,6	5,2%	232,0	67,5%	170,8	49,7%
2 < A ≤ 5	329,0	5,0%	285,3	86,7%	209,3	63,6%
5 < A ≤ 10	245,6	3,7%	240,0	97,7%	212,6	86,6%
A > 10	112,9	1,7%	112,9	100,0%	101,7	90,1%

(\*) No DETER, a área mínima de mapeamento é de 0,25 km<sup>2</sup> (25 ha), assim, os polígonos dessa faixa de tamanho representam aqueles que possuem valor de área igual a 25 ha ou muito próximo desse valor.

Índice de confirmação do DETER em relação ao dado do PRODES (corte raso) é maior do que o do SAD a partir da faixa de tamanho de 0,5 km<sup>2</sup> (50 ha). É importante destacar que, para as faixas de tamanho de polígonos menores que 0,25 km<sup>2</sup>, o índice de confirmação de ambos os sistemas é baixo, justamente onde os polígonos do PRODES somam os maiores valores de área desmatada (60,2% em relação ao total).

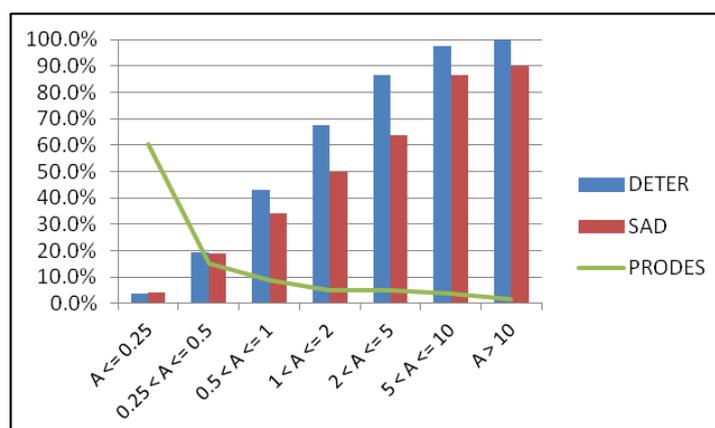


Figura 4. Resultado da análise do cruzamento dos dados do DETER e SAD com o PRODES, com os critérios de intersecção testados. As barras verticais indicam os índices de confirmação por faixa de tamanho para cada sistema e a linha verde apresenta a proporção que cada faixa de tamanho representa em relação ao total detectado pelo PRODES.

Quanto ao número de polígonos dos sistemas de Alerta por faixas de tamanho, observa-se que o SAD apresenta um número muito grande (1.580) de polígonos na faixa de tamanho inferior a 0,25 km<sup>2</sup> (25 ha) como mostra a Figura 5. Porém, de acordo com a Tabela 2, o índice de acerto desses polígonos nessa faixa de tamanho é muito baixo (~4%), e próximo do valor obtido pelo DETER que mapeou apenas 54 polígonos. Esses dados reforçam as questões relacionadas com a restrição no uso de imagens MODIS para mapeamento de áreas pequenas, devido a sua baixa resolução espacial. Esse resultado reforça o uso do teorema de Nyquist-Shannon (2010) que recomenda uma área mínima de mapeamento de 25 ha para os Sistemas de Alerta que utilizam imagens com resolução de 250m.

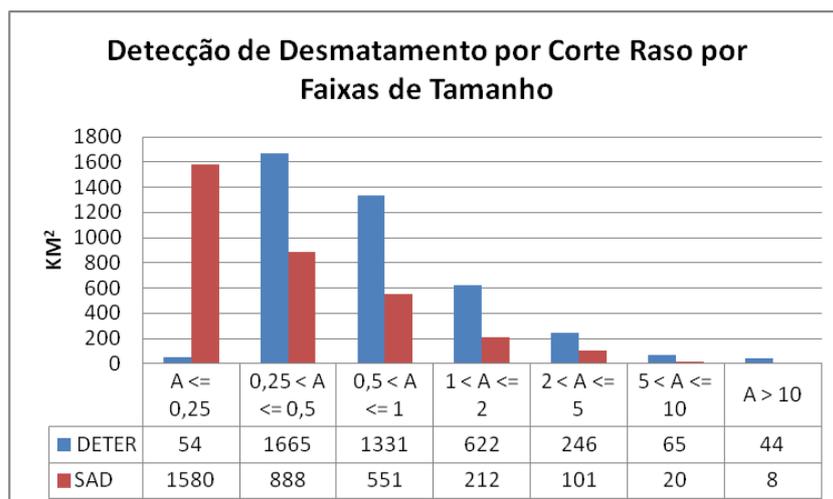


Figura 5. Alertas do DETER e SAD confirmados como corte raso pelo PRODES por faixa de tamanho.

A limitação dos sistemas de Alerta em relação à detecção de áreas pequenas tem se tornado uma questão cada vez mais importante. Tem-se observado no dado do PRODES (Figura 6) uma tendência de aumento, a cada ano, da contribuição de áreas desmatadas de tamanhos inferiores a 25 ha, tornando os sistemas de Alerta menos eficiente.

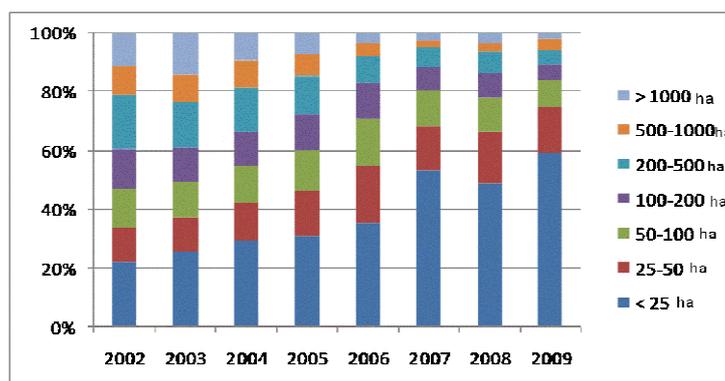


Figura 6. Evolução da distribuição do desmatamento por faixas de tamanho: PRODES: 2002 a 2009.

#### 4. Conclusões

Esse trabalho demonstrou, a partir das análises apresentadas, que os Sistemas de Alerta desenvolvidos pelo INPE e pelo IMAZON ao utilizarem as imagens MODIS como dado de entrada para a detecção de desmatamento na Amazônia, apresentam algumas características semelhantes. Os sistemas DETER e o SAD apresentaram bons índices de acerto em relação aos polígonos de Alerta, de 92,8% e 86%, respectivamente. Entretanto, as análises mostraram que o DETER, além de apresentar um alto índice de acerto de seus Alertas, detecta maior área de desmatamento por corte raso do que o SAD. Esta característica é importante para os propósitos dos Sistemas de Alerta de desmatamento, possibilitando gerar maior quantidade de informações para a fiscalização.

Ao serem comparados os dados do DETER e do SAD com os dados de desmatamento por corte raso do PRODES, para o mesmo período, verificou-se que a proporção de áreas mapeadas pelo PRODES e não detectadas pelos dois sistemas, os falsos negativos, são altas, de 78% para o DETER e 81% para o SAD. Para uma melhor compreensão desse resultado foram realizadas análises dos polígonos de desmatamento do PRODES por faixas de tamanho que mostraram que polígonos de tamanho igual ou menor que 0,25 km<sup>2</sup> (25 ha) representaram

60% da área total desmatada em 2009. Para essa faixa de tamanho, tanto o SAD como o DETER, detectaram apenas 4% de área desmatada, apesar da área mínima de mapeamento do SAD ser de 6,25 ha e do DETER ser de 25 ha. Esse resultado reforça que, de fato, 25 ha é o tamanho limite de detecção do MODIS. Na medida em que o tamanho dos Alertas aumenta, os índices de confirmação tornam-se mais altos, chegando a 100% de acerto a partir de 50 km<sup>2</sup> (500 ha), demonstrando um excelente desempenho nessa faixa de tamanho.

As análises dos dados do PRODES do período de 2002 a 2009 mostraram que a área de contribuição dos polígonos de desmatamento de tamanho inferior a 0,25 km<sup>2</sup> (25 ha) vem aumentando de forma acentuada nos últimos anos. Em 2002, essa faixa de tamanho contribuiu com 22% da área total desmatada e, em 2009, passou a contribuir com 60% da área total. Esse fato aponta para a necessidade de uma rápida evolução dos sistemas de Alerta no sentido da utilização e do desenvolvimento de tecnologias alternativas para a detecção mais eficiente dos novos desmatamentos, com alta resolução temporal e resolução espacial mais fina. Sensores como o Advanced Wide Field Sensor (AWIFS), com a resolução espacial de 56 metros e resolução temporal de 5 dias, devem ser testados e incorporados aos sistemas de Alerta, conferindo aos mesmos uma maior capacidade de detecção e monitoramento do desmatamento.

## Referências Bibliográficas

Câmara, G.C.; Valeriano, D. M. & Soares, J. V. **Metodologia para Cálculo da Taxa de desmatamento na Amazônia Legal. São José dos Campos** INPE. 2006. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 10.nov.2010.

Freitas, U. M.; Ribeiro, V. O.; Queiroz, G. R.; Petinatti, M. R.; Abreu, E. S. Le Système de Suivi de la Déforestation Amazonienne. **Journal del l'OSGeo**, vol.3, p. 82 a 87. 2007.

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON). **Boletim Transparência Florestal**. Agosto de 2010. Disponível em:< <http://www.imazon.org.br/>>. Acesso em 10 nov.2010.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). DEGRAD: **Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira**. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/degrad/>> Acesso em: 10.nov.2010.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Projeto PRODES: **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/prodes/>> Acesso em: 10.nov.2010.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Relatório Técnico Científico contendo avaliação detalhada do DETER 2006/2007. 2008**. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/deter/avaliacao/RelatorioMonitoramento.pdf>> Acesso em: 10.nov.2010.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **TerraView**. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/terraview/>> Acesso em: 10.nov.2010.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **DETER: Detecção do Desmatamento em Tempo Real**. <http://www.obt.inpe.br/deter/>> Acesso em: 10.nov.2010.

NASA. MODIS Rapid Response System. Disponível em: < <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/>> Acesso em: 10.nov.2010

Shannon, C. E. Communication in the Presence of Noise. **Proceedings of the IEEE**, vol 86, no 2. 1998. 4447 a 457 pp.

Souza Jr.,C. M., S. Hayashi and A. Verissimo (2009). **Near real-time deforestation detection for enforcement of forest reserves in Mato Grosso**. Land Governance in Support of the Millennium Development Goals: Responding to New 40 Challenges, Washington DC, USA, World Bank.