



**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**  
Assessoria Especial de Assuntos Institucionais  
Assessoria de Assuntos Parlamentares

OFÍCIO Nº 30011/2019/ASPAR/AEAI/MCTIC

Brasília, 18 de setembro de 2019.

A Sua Excelência a Senhora  
Deputada SORAYA SANTOS  
Primeira-Secretária da Câmara dos Deputados  
Brasília - DF

**Assunto: Requerimento de Informação nº 1013/2019.**

Senhora Primeira-Secretária,

<b>PRIMEIRA-SECRETARIA</b>	
Documento recebido nesta Secretaria sem a indicação ou aparência de tratar-se de conteúdo de caráter sigiloso, nos termos do Decreto n. 7.845, de 14/11/2012, do Poder Executivo.	
Em 19/09/19	às 11 h 26
<i>[Assinatura]</i> Servidor	5-876 Ponto
<i>[Assinatura]</i> Portador	

Em atenção ao Ofício 1ªSec/RI/E/nº 676/19, por meio do qual foi encaminhada cópia do Requerimento de Informação nº 1013/2019, de autoria do Deputado José Guimarães, encaminho o Ofício nº 2295/2019/INPE, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, com informações acerca dos estudos técnicos que serviram como base para os alertas de aumento de desmatamento da Amazônia.

Atenciosamente,

MARCOS CESAR PONTES  
Ministro de Estado



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Cesar Pontes, Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações**, em 18/09/2019, às 20:03 (horário oficial de Brasília), com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://sei.mctic.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador 4568533 e o código CRC 1C858560.





MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

OFÍCIO Nº 2295/2019/INPE/INPE

São José dos Campos, 22 de agosto de 2019.

À  
Sra. Caroline Menicucci Salgado  
Chefe de Gabinete  
Secretaria-Executiva  
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC  
Brasília – DF

**Assunto: Requerimento de Informação nº 1013/2019.**

Prezada Senhora,

Em atenção ao Ofício nº 28644/2019/DIDOC/GABEX/SEXEC/MCTIC, encaminho o documento SEI 4523925 que descreve a metodologia dos projetos DETER e PRODES.

Atenciosamente,

*(assinado eletronicamente)*  
Darcton Policarpo Damião  
Diretor Interino



Documento assinado eletronicamente por **Darcton Policarpo Damião, Diretor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, em 22/08/2019, às 17:26 (horário oficial de Brasília), com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://sei.mctic.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **4526639** e o código CRC **F32DBC25**.







MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

# **Metodologia Utilizada nos Projetos PRODES e DETER**

**Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas – PAMZ+  
Coordenação-Geral de Observação da Terra – CGOBT  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**

Atualizado em 19/08/2019



## **EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL**

Arlesson Souza, Ms.

Antônio Miguel Vieira Monteiro, DPhil

Camilo Daleles Rennó, Dr.

Cláudio Aparecido Almeida, Dr.

Dalton de Morisson Valeriano, Dr.

Fabiano Morelli, Dr.

Lubia Vinhas, Dr.

Luis Eduardo P. Maurano, Ms.

Marcos Adami, Dr.

Maria Isabel Sobral Escada, Dr.

Marisa da Motta, Ms.

Silvana Amaral, Dr.

Esse documento do Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas, Coordenação-Geral de Observação da Terra, Insituto Nacional de Pesquisas Espaciais está está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição-CompartilhaIgual 4.0 Internacional.



## Índice

1. Introdução .....	4
2. Conceitos de desmatamento no monitoramento por satélite .....	4
2.1 Desmatamento por Corte Raso.....	5
3. PRODES – Materiais e Métodos .....	8
3.1 Área de abrangência.....	8
3.2 Imagens utilizadas .....	9
3.3 Metodologia .....	9
3.3.1 Fase da seleção das imagens .....	10
3.3.2 Fase do mapeamento dos polígonos de desmatamento: .....	11
3.3.3 Fase do cálculo da taxa anual de desmatamento: .....	13
4. DETER – Materiais e Métodos.....	14
4.1 Imagens utilizadas .....	15
4.2 Metodologia .....	17
5. Software utilizado .....	21
6. Disponibilização .....	22
7. TerraBrasilis .....	23
Referências .....	25
ANEXO I Metodologia para Cálculo da Taxa e Desmatamento do PRODES.....	26



## **Metodologia Detalhada dos Sistemas PRODES e DETER do INPE**

### **1. Introdução**

O Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas (PAMZ+) é um programa desenvolvido na Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT) e no Centro Regional da Amazônia (CRA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O PAMZ+ opera três projetos operacionais de mapeamento de dados sobre imagens de satélites de sensoriamento remoto na região da Amazônia: o Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e o sistema de mapeamento do uso e ocupação da terra, TerraClass. Os sistemas são complementares e foram concebidos para atender a diferentes objetivos. Nesse documento são detalhadas as metodologias do PRODES e do DETER.

### **2. Conceitos de desmatamento no monitoramento por satélite**

O termo desmatamento utilizado no PRODES é definido como conversão por *supressão de áreas de fisionomia florestal primária por ações antropogênicas*.

O desmatamento pode ser visto como um processo único, que se inicia com a floresta intacta e termina com a conversão da floresta original em outras coberturas. Ao considerarmos o desmatamento como um processo único, é preciso incluir não apenas os extremos deste processo, mais óbvios e fáceis de serem identificados, mas também o gradiente da degradação florestal produzido ao longo do processo de desmatamento que podem ocorrer lentamente no tempo, pela contínua exploração madeireira e ocorrências sucessivas de fogo florestal.

A Figura 2.1 mostra um diagrama em que as intensidades de distúrbios ambientais produzem um gradiente de paisagens que termina na remoção completa do dossel florestal. Conforme aumenta o distúrbio, a paisagem se torna mais heterogênea, até o momento em que a floresta praticamente desaparece e a paisagem torna-se novamente homogênea pela falta da cobertura original (Lambin, 1999). Essas alterações podem não ser evidentes, especialmente se estiverem em estágios iniciais, quando o dossel da floresta ainda não está muito alterado e quando o sinal de solo exposto é ainda pequeno.

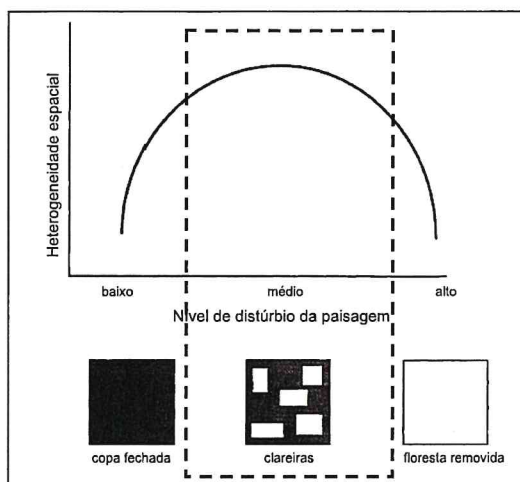


Figura 2.1 – Relação entre o nível de distúrbio e a heterogeneidade da paisagem observada por sensoriamento remoto, medida em uma mesma resolução espacial. Fonte: Lambin (1999).

## 2.1 Desmatamento por Corte Raso

O processo de desmatamento por corte raso é aquele que resulta na remoção completa da cobertura florestal em um curto intervalo de tempo. Nesse processo, a cobertura florestal é totalmente removida e substituída por outras coberturas e usos (agrícola, pastagem, urbano, hidroelétricas, etc.), ou ainda pode ser abandonada e entrar em um processo de regeneração. A Figura 2.2 ilustra as principais etapas.

O processo normalmente se inicia antes ou durante o período chuvoso que precede o corte de fato da floresta com o que é localmente denominado de “brocagem”. É o corte com foice ou machado das árvores menores e, principalmente, das lianas (cipós), para facilitar o corte das árvores de maior porte que se dará na próxima fase.

Durante a estação chuvosa essas plantas se degradam e com isso evita-se acidentes na fase de corte propriamente dito. As árvores de maior porte são derrubadas com motosserras no início da estação seca. Fica a biomassa no solo, que é queimada basicamente entre julho e setembro. No final desse processo pode-se ou não agregar a biomassa remanescente em leiras para queimas subsequentes. Forma-se a pastagem por semeadura de gramíneas africanas, que se dão bem na Amazônia porque resistem ao fogo. Esse foi o processo mais comum na região durante as décadas de 80 e 90. O desmatamento por corte raso deixa cicatrizes bem evidentes nas imagens de satélite de observação da terra, em contraste com a floresta do seu entorno, tornando-o um evento relativamente de fácil detecção.





Figura 2.2 – Processo de desmatamento por corte raso, denominado “corte e queima”, em que toda a vegetação é derrubada e queimada em pouco tempo.

### 1.1 Desmatamento por Degradação Florestal

O segundo processo é a degradação progressiva, que é mais lento e mais difícil de detectar usando imagens de satélites. O primeiro passo é a retirada das madeiras mais nobres, e depois as madeiras para a construção civil e, por fim, são colhidas as árvores de madeiras leves remanescentes, para a produção de compensados e placas. Esse processo pode levar alguns anos, pois geralmente essas explorações da floresta são feitas por empreendimentos diferentes, cada um especializado em uma fase.

Depois, as árvores de menor porte são derrubadas e toda a vegetação rasteira é destruída. Sobram poucas árvores frondosas que são protegidas, como é o caso da castanheira, ou que não têm valor comercial, como as palmeiras, por exemplo, que dificultam a detecção do desmatamento. Neste momento, foi eliminado cerca de 50% do dossel (árvores mais altas).

O capim é plantado ao mesmo tempo em que há o desmatamento, levando um certo tempo para crescer. Depois de um ano o gado e a pecuária entram na floresta, enquanto ela ainda não desapareceu. Este capim é queimado no segundo ano, provocando uma segunda limpeza da floresta. Nesse momento, sobra apenas cerca de 10% a 20% do dossel, com grande quantidade de árvores mortas em pé. O capim queimado, por não perder as suas raízes no fogo, brota novamente, o que permite que mais uma vez o gado seja colocado para pastar na área assim degradada. No terceiro ano, é feita mais uma queimada, que destrói de vez o que restou da floresta inicial. A Figura 2.3 e a Figura 2.4 ilustram o processo de degradação progressiva.

A fase final do processo de degradação progressiva, em que a pastagem é gradativamente introduzida, dura de dois a três anos. O desafio de detecção por satélite para fins de fiscalização é significativo. Devido à resolução espacial das imagens de satélites, é difícil indicar a existência de degradação antes que o corte atinja 50% do dossel.

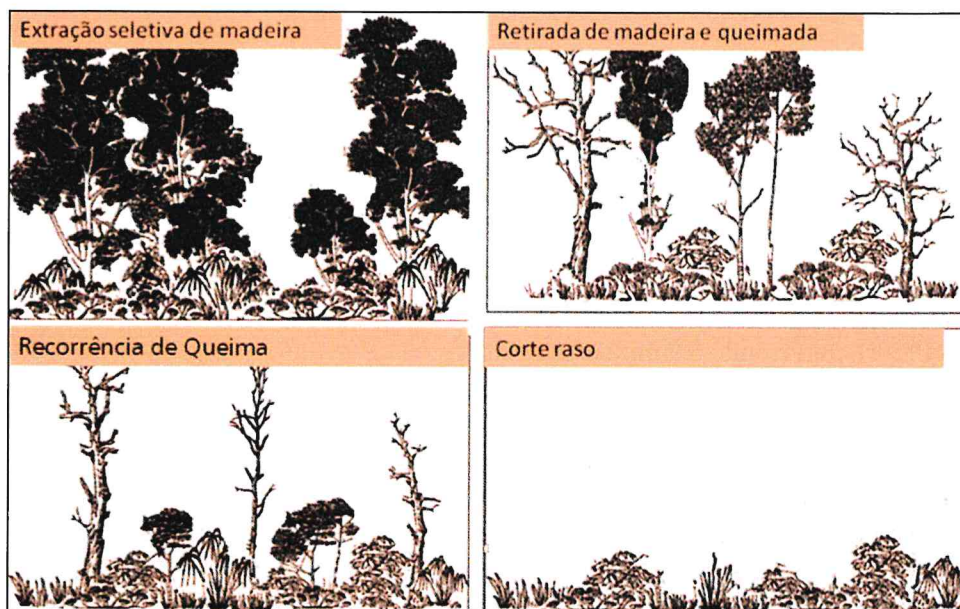


Figura 2.3 – Ilustração da degradação progressiva. Fonte: Barlow e Peres (2008).

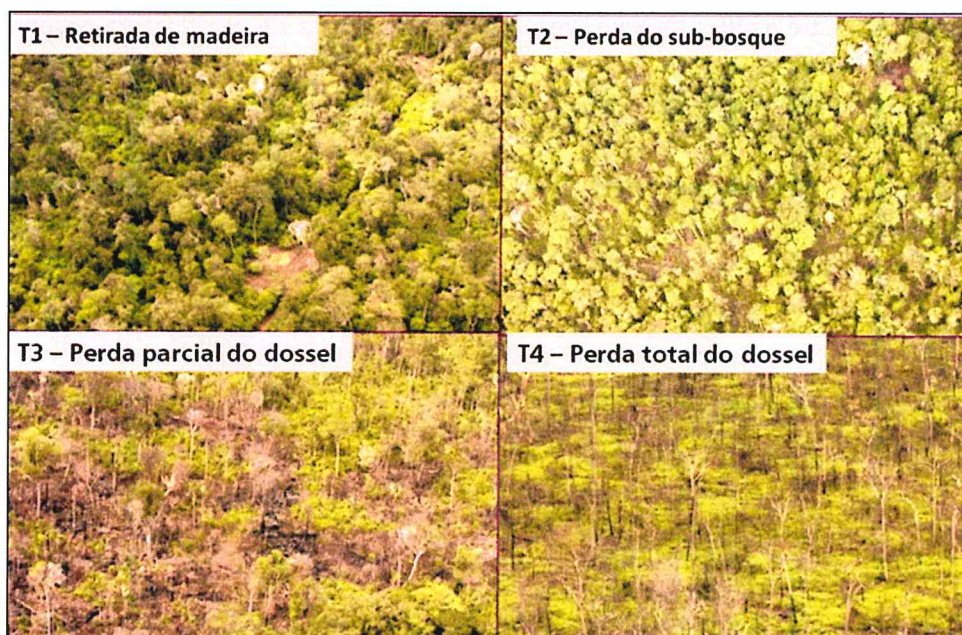


Figura 2.4 – Fotos do processo de degradação progressiva. Fonte: INPE e MMA (2008).



### 3. PRODES – Materiais e Métodos

Para toda a extensão da Amazônia Legal Brasileira (ALB), o sistema **PRODES** realiza o inventário de perda de floresta primária através do uso de imagens de satélite de observação da Terra, desde 1988. O objetivo do PRODES é estimar a taxa anual de desmatamento por corte raso da floresta primária na ALB.

### 3.1 Área de abrangência

A Amazônia Legal Brasileira foi criada como um conceito político voltado para o planejamento e desenvolvimento regional através da lei 1.806 de 06/01/1953, alterada posteriormente pela lei 5.173 de 27/10/1966 e pela lei complementar 31 de 11/10/1977. Ela ocupa uma área que corresponde a 59% do território brasileiro e engloba a totalidade de oito estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins) e parte do Estado do Maranhão (a oeste do meridiano de 44°W), perfazendo 5,0 milhões de km<sup>2</sup>.

Dentro da Amazônia Legal, o PRODES faz o mapeamento da perda da cobertura florestal primária, nas áreas *sob domínio da vegetação com fisionomia florestal* classificadas segundo o projeto RADAMBRASIL (1976) como: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Decidual, Áreas de Formação Pioneira de Influência Fluvial (Vegetação Aluvial), Vegetação Lenhosa Oligotrófica dos Pântanos e das Acumulações Arenosas (Campinarana) e áreas de Tensão Ecológica (Contato floresta/cerrado), com predominância de Fisionomia Florestal. Para excluir áreas que não pertencem a esse domínio, no início do PRODES, a equipe do INPE mapeou a chamada área de “não floresta”, que não é considerada no mapeamento sistemático feito no PRODES até os dias de hoje (ver Figura 3.1). A área de não floresta ocupa cerca de 961.000 km<sup>2</sup>.

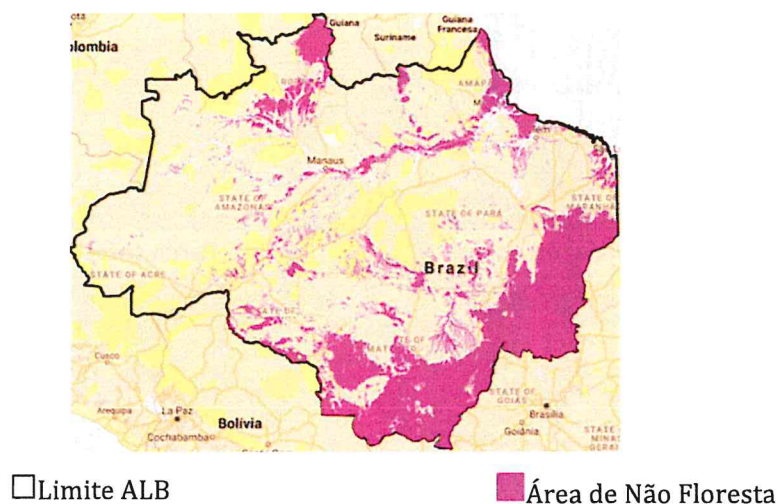


Figura 3.1 – Limite da Amazônia Legal Brasileira e área não mapeada pelo PRODES.



### 3.2 Imagens utilizadas

O PRODES usa imagens compatíveis com as geradas pelos satélites da série Landsat da NASA/USGS (EUA) chamadas de “da classe Landsat”. Essas imagens caracterizam-se por apresentarem resolução espacial na faixa de 30 metros e pelo menos 3 bandas espectrais. Atualmente podem ser utilizadas imagens do satélite Landsat-8, SENTINEL-2 (União Europeia) ou CBERS-4 do INPE/CRESDA (Brasil/China).

As imagens do Landsat-8, SENTINEL-2 e CBERS-4 são disponibilizadas pelos seus provedores já ortorretificadas, com correção geométrica de sistema refinada pelo uso de pontos de controle e de modelos digitais de elevação do terreno. Isto corresponde ao nível mais alto de correção geométrica e significa que as imagens estão prontas para serem utilizadas junto com mapas existentes e medições feitas no terreno sem que haja necessidade de processamento adicional, em concordância com as normas cartográficas vigentes.

A Figura 3.2 mostra as localizações das imagens que recobrem toda a ALB em relação a grade padrão de aquisição das imagens Landsat.

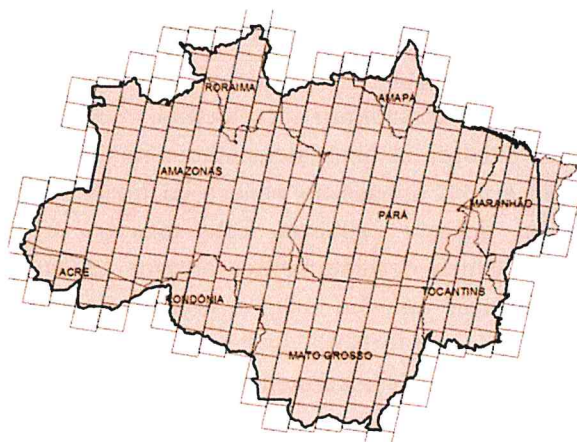


Figura 3.2 – Localização das imagens Landsat que recobrem a ALB.

### 3.3 Metodologia

A metodologia PRODES parte de alguns pressupostos, os quais serão considerados no detalhamento encontrado nas seções seguintes. São eles:

- O PRODES só identifica polígonos de desmatamento por corte raso (remoção completa da cobertura florestal primária) cuja área for superior a 6,25 ha.
- As imagens utilizadas são da classe Landsat, ou seja, apresentam resolução espacial da ordem de 30 metros, taxa de revisita da ordem de 15 – 20 dias, 3 ou mais bandas espectrais, como por exemplo imagens do satélite Landsat-8, CBERS-4 ou similares.
- Numa imagem a ser analisada pode haver áreas não-observadas devido a cobertura de nuvens. Estas áreas deverão ser levadas em conta no procedimento de cálculo do incremento estimado para cada imagem. Em casos de alta cobertura de nuvem, imagens de múltiplos satélites (ou datas) podem ser usadas para compor uma localização (ou cena, conforme mostrada na Figura 3.2).



- Assume-se que a maioria dos desmatamentos ocorrem dentro da estação seca. Devido à larga extensão da ALB, a estação seca varia em função da região. Estabeleceu-se para cada imagem a data da estação seca para aquela localização com base em parâmetros climatológicos.
- Os satélites utilizados (órbita baixa e quase polar) tornam impossível adquirir todas as imagens necessárias para cobrir ABL satélite no mesmo dia/mês de referência em todos os anos. Para fornecer uma taxa anualizada de desmatamento em uma imagem, os incrementos de desmatamento nela mapeados são projetados para uma data de referência comum. Considerando o grande número de imagens cuja estação seca está entre os meses de junho e setembro, tomou-se a data de 1/agosto (dia juliano 211) como data de referência para o cálculo das taxas anualizadas.
- O **ano PRODES**, ou ano-calendário do desmatamento, refere-se ao período que vai de 01 de agosto de um ano até 31 de julho do ano subsequente. Por exemplo a taxa divulgada para o ano PRODES 2018 estima o desmatamento ocorrido entre 01/08/2017 e 31/07/2018.
- O PRODES realiza o mapeamento dos incrementos de desmatamento através de fotointerpretação por especialistas. O PRODES adota uma metodologia de mapeamento incremental.
- Na produção do mapeamento incremental, o PRODES usa uma máscara de exclusão, que encobre as áreas desmatadas nos anos anteriores. O trabalho de interpretação é feito apenas no pedaço da imagem do ano de referência que ainda contém floresta primária. Esta máscara é usada para eliminar a possibilidade de que desmatamentos antigos sejam mapeados novamente. A máscara de exclusão também inclui as áreas onde não há ocorrência natural de florestas, chamadas no PRODES de “não floresta”, além de áreas de hidrografia, sejam mapeadas como desmatamento.

A execução da metodologia de maneira operacional pode ser descrita através das fases mostradas a seguir.

### **3.3.1 Fase da seleção das imagens**

A escolha das imagens começa a partir do mês de agosto do ano PRODES de referência, de maneira a buscar imagens com menor cobertura de nuvens e mais próximas à data de referência do PRODES (01/08). O uso de imagens da “classe Landsat” garante que os resultados obtidos atualmente serão compatíveis com a série histórica produzida pelo INPE desde 1988. Atualmente são utilizadas imagens dos satélites Landsat-8, SENTINEL-2 ou CBERS-4. As imagens são obtidas diretamente no catálogo disponibilizado pelo Centro de Dados de Sensoriamento Remoto – CDSR no link <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>, ou no link da ESA.

Depois de selecionadas as imagens são realçadas de maneira a evidenciar as áreas com corte raso. A Figura 3.3 mostra um recorte de uma imagem Landsat-8 original e o efeito conseguido após a aplicação de uma operação de realce de contraste.



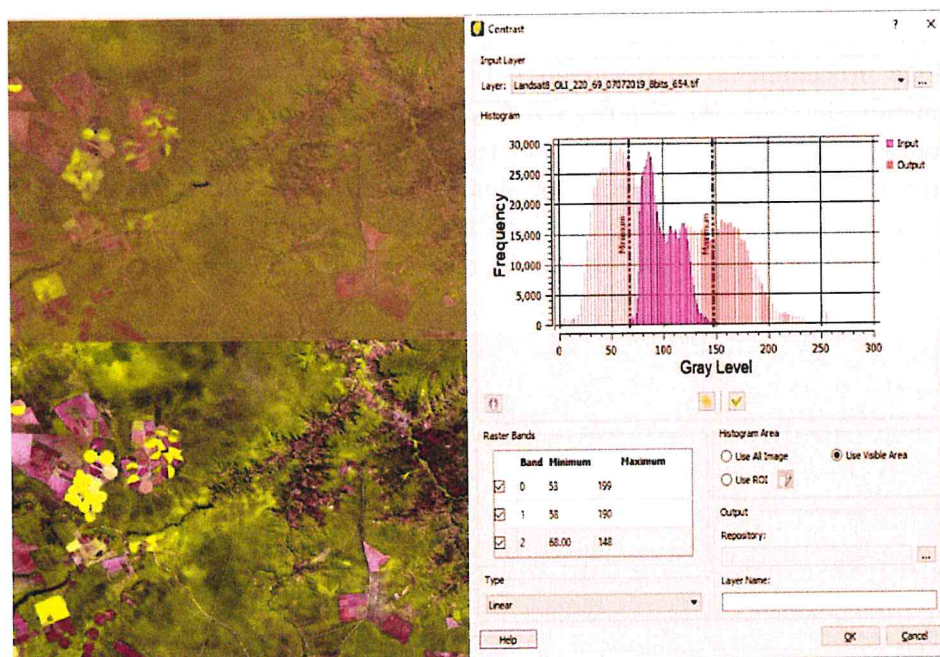


Figura 3.3 – Exemplo de aplicação de realce em imagem Landsat-8.

### 3.3.2 Fase do mapeamento dos polígonos de desmatamento:

A identificação de desmatamento é feita por fotointerpretação de imagens, realizada por especialistas treinados, que delimitam polígonos de desmatamento diretamente na tela do computador. Estes especialistas identificam o padrão de alteração da cobertura florestal para corte raso com base nos três principais elementos observáveis nas imagens: tonalidade, textura e contexto, seguindo a padronização mostrada na Figura 3.4.

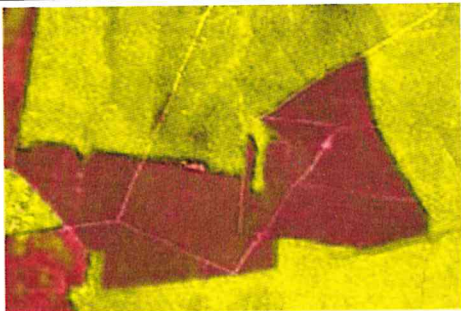
Imagem Landsat	Critério de interpretação
	<p>Tonalidade magenta/avermelhada ou verde muito claro (esmaecido). Forma regular, textura lisa, limites bem definidos entre o polígono com solo exposto e a floresta.</p> <p>A cobertura da terra tem predomínio de solo exposto ou pastagem em formação.</p>

Figura 3.4 – Padrão de interpretação de imagens para identificação de desmatamento por corte raso.



Estes elementos são analisados comparativamente entre imagens de diferentes anos. Este procedimento é executado para todas as imagens selecionados para o mapeamento do ano. Na Figura 3.5 é possível visualizar alguns polígonos de desmatamento mapeados pelo PRODES na região de Boca do Acre/AM. Os polígonos de desmatamento estão ressaltados na cor amarela e sobrepostos às imagens de 2017 e 2018. É possível identificar as mudanças entre os anos de 2017 e 2018, as quais foram mapeados como incrementos de desmatamento.



Imagem de 20/07/2017

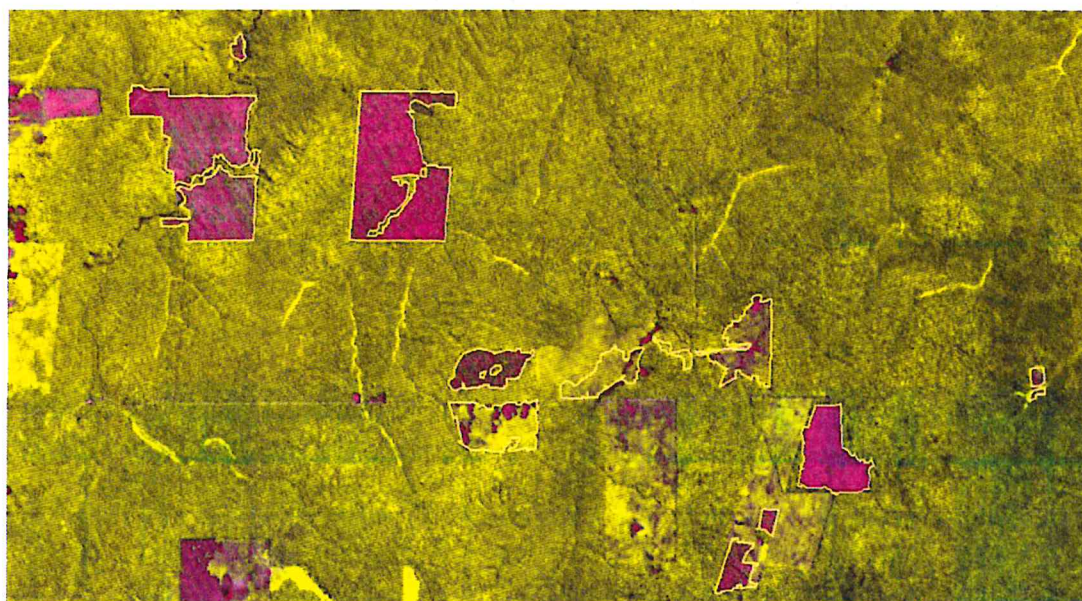


Imagem de 24/08/2018.

Figura 3.5– Recortes de Imagem Landsat-8, identificada pela órbita 001 e ponto 66, em região próxima ao município de Boca do Acre/AM, em 2017 e 2018.



O PRODES segue uma metodologia incremental, ou seja, para cada ano de referência mapeia os **novos** incrementos do desmatamento. Para assegurar que essa característica da metodologia seja seguida, a cada ano uma máscara de exclusão é atualizada, de maneira a conter todos os desmatamentos detectados pelo PRODES nos anos anteriores (Figura 3.6). Dessa maneira os fotointérpretes não mapeiam incrementos em áreas que já foram mapeadas como desmatamento em anos anteriores.

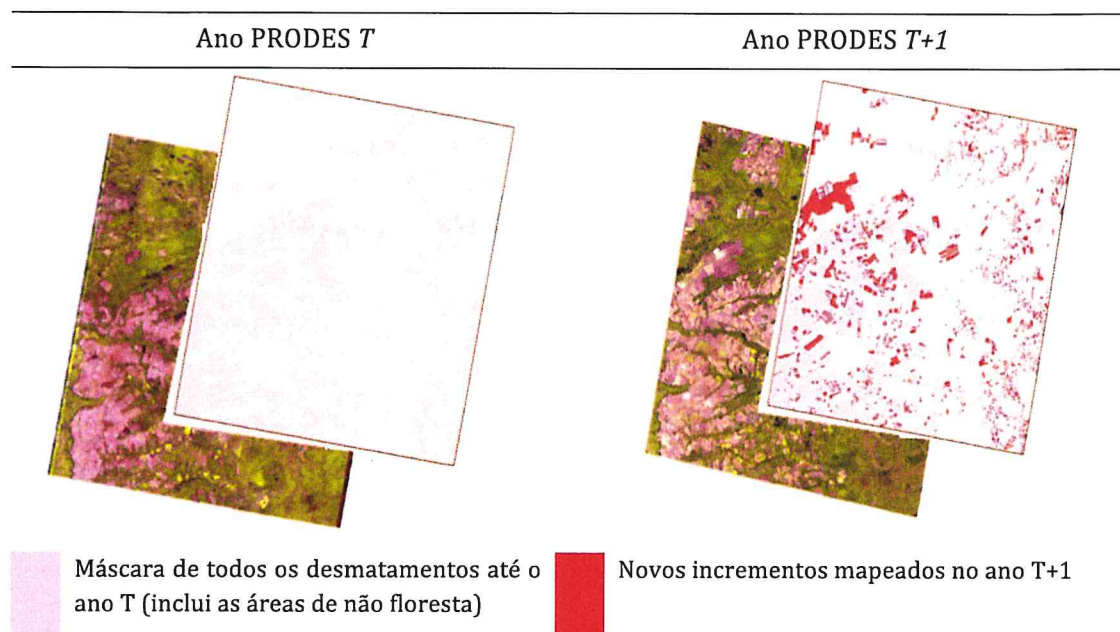


Figura 3.6 – Característica incremental do metodologia PRODES.

### 3.3.3 Fase do cálculo da taxa anual de desmatamento:

A taxa anual estima o desmatamento ocorridos dentro do ano PRODES, partindo do princípio de que toda a área de floresta dentro da ALB foi observada nesse ano. Porém, em algumas áreas da Amazônia, é impossível obter imagens livres de nuvens. Mesmo com o uso de imagens suplementares, em algumas regiões críticas, pode haver áreas não-observadas, devido a persistente cobertura de nuvens. Estas áreas não observadas deverão são levadas em conta para estimar as áreas desmatadas sob nuvens. Esta estimativa supõe que a proporção de desmatamento na área não-observada é a mesma da área de floresta observada naquela imagem.

Além disso, para incrementos observados em áreas com cobertura de nuvens em anos anteriores, no ano de detecção (quando são visualizados e mapeados os incrementos de desmatamento), são ponderados pelo número de anos anteriores que em que essa área não pode ser observada devido a cobertura de nuvem. Isso é necessário para evitar que desmatamentos detectados em determinado ano, mas que podem ter acontecidos em anos anteriores, sejam totalmente creditados ao ano corrente.

A taxa anual estima o desmatamento ocorridos dentro do ano PRODES, considerando que ele seria distribuído linearmente dentro da estação seca. Entretanto

não é possível garantir a aquisição de duas imagens na data de referência nos dois anos subsequentes para serem comparadas (como ilustrado na Figura 3.5). Para harmonizar estas diferenças de datas de aquisição, faz-se a compensação temporal de todos os incrementos, para uma mesma data de referência. O procedimento detalhado do cálculo da taxa dependerá das datas de aquisição da imagem no ano em análise e nos dois anos anteriores.

Os detalhes da estimativa sobre nuvens e da harmonização para a data de referência estão descritos no Anexo I.

A série histórica da taxa anual de desmatamento medida pelo PRODES desde 1988 é mostrada na Figura 3.7. A série histórica da taxa de desmatamento, bem como os incrementos e sua espacialização em forma de mapa pode ser visto no portal TerraBrasilis disponível no endereço <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>.

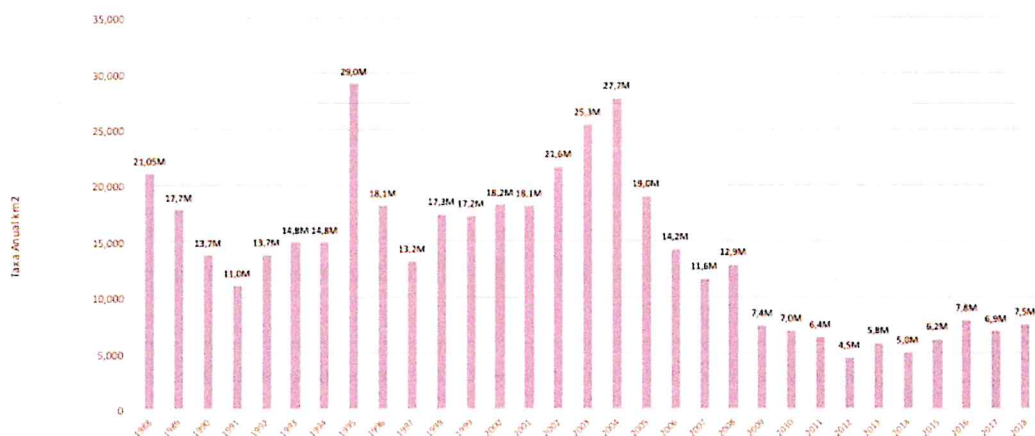


Figura 3.7 – Série histórica do PRODES.

#### 4. DETER – Materiais e Métodos

O DETER, lançado em 2004, é um sistema de apoio à fiscalização e controle do desmatamento e degradação na ALB. O DETER produz diariamente alertas de alteração na cobertura florestal para áreas maiores que 3 hectares. Os alertas indicam áreas totalmente desmatadas (corte raso) bem como áreas em processo de degradação florestal (exploração de madeira, mineração, queimadas e outras). Esses alertas estão disponíveis em ambiente de internet, via web services, para Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), sendo insumo para o planejamento das ações de fiscalização. As informações ficam ainda disponíveis na internet para as Secretarias Estaduais de Meio Ambiente, bem como para toda a sociedade no portal TerraBrasilis.

O DETER identifica e mapeia áreas desflorestadas e/ou degradadas em formações de florestas tropicais na Amazônia. A área de abrangência do DETER é a mesma do PRODES.

#### 4.1 Imagens utilizadas

O DETER utilizou até o ano de 2015 imagens dos sensores MODIS, a bordo do satélite TERRA, da NASA e WFI, a bordo do satélite brasileiro CBERS-2B do INPE com resolução espacial de 250 metros, gerando alertas com uma área mínima mapeável de 25 hectares. A partir de 2015 o DETER aprimorou sua metodologia (Diniz, et al. 2018) e passou a operar com imagens do sensor WFI a bordo do satélite CBERS-4, com resolução espacial de 64 metros, o que permitiu a emissão de alertas de degradação, além dos de desmatamento. Permitiu também a redução da área mínima mapeável para 3 hectares.

As imagens WFI possuem um campo de visada de 866 km. Esse amplo campo de visada faz com que a cada 5 dias a mesma região seja novamente imageada. Por outro lado, a órbita do satélite garante que todos os dias pelo menos uma faixa da Amazônia seja recoberta, o que permite o monitoramento contínuo de sua vegetação. Com o lançamento do CBERS-4A no fim de 2019, a expectativa é que a taxa de revisita caia para 3 dias. E com o lançamento do Amazonia-1 do INPE em 2020 a taxa de revisita deve cair para 2 dias.

No DETER é especialmente relevante compreender a distinção 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 foi detectado anteriormente, é considerado desmatamento novo independentemente da data real de ocorrência do evento.

As imagens CBERS-4 do CDSR são selecionadas e acessadas diretamente pela internet através do catálogo disponível no endereço <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. A equipe do DETER consulta diariamente o catálogo do CDSR a fim identificar as novas imagens que foram adquiridas sobre a Amazônia, e que podem ser usadas no processo de mapeamento dos alertas. Diariamente são escolhidas as imagens com menor cobertura de nuvens de modo a cobrir a maior parte da área de interesse.

A Figura 4.1 mostra, a título de exemplo, o *quick look* de uma cena CBERS-4/WFI, identificada pela órbita/ponto 162/105, obtida no dia 12 de julho de 2019. Neste exemplo é possível ver que apesar de alguma cobertura de nuvens, há uma grande parte da imagem livre de nuvens que pode ser usada no mapeamento.



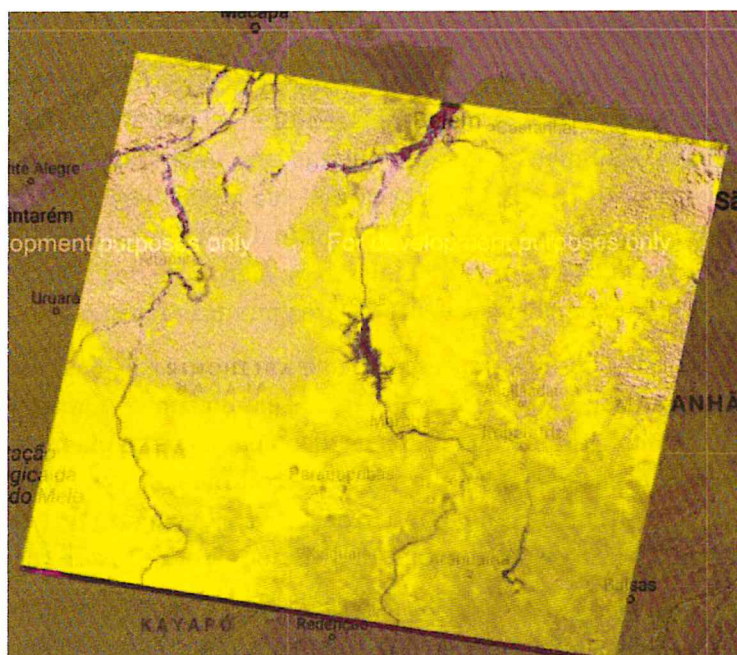


Figura 4.1 – Exemplo de imagem WFI/CBERS-4 selecionada para ser analisada no DETER.

O sensor CBERS-4/WFI capta imagens em 4 bandas espectrais, três da região visível do espectro eletromagnético (azul, verde e vermelho) e uma banda na região do infravermelho próximo, que são adequadas para o mapeamento de mudanças na cobertura vegetal. Para realçar áreas de desmatamento e degradação, trabalha-se com uma composição colorida em que as bandas espectrais, sensíveis às respostas da contribuição do solo e da vegetação, geram padrões de cores semelhantes aos que o olho humano pode distinguir, tornando mais intuitiva a detecção de mudanças na cobertura vegetal da Terra. Considerando as bandas espectrais do WFI, no DETER trabalha-se com uma composição colorida que associa a banda do vermelho (630-690 nm), infravermelho próximo (770-890 nm) e verde (520-590 nm) aos canais vermelho, verde e azul respectivamente. A imagem colorida resultante tem uma resolução espacial de 64m.

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) é uma técnica para estimar as frações solo, vegetação e sombra em uma imagem. O MLME estima a proporção dos componentes solo, vegetação e água/sombra dentro de cada pixel utilizando as assinaturas espectrais dos pixels puros ou *endmembers* (Shimabukuro & Smith 1991). O MLME pode ser descrito como:

$$r_i \equiv a * vege_i + b * solo_i + c * sombra_i + e_i \quad \text{onde:}$$

- $r_i$  é a resposta do pixel na banda  $i$  da imagem;
- $a$ ,  $b$  e  $c$  são proporções de vegetação, solo e sombra/água que compõem o pixel;
- $vege_i$ ,  $solo_i$  e  $sombra_i$  correspondem às respostas espectrais decada uma das componentes citadas e
- $e_i$  é o erro de estimação intrínseco para cada banda  $i$ .



Para a fotointerpretação são utilizadas as frações solo e sombra do MLME. Essas frações realçam, respectivamente, feições relativas à extração seletiva de madeira e queimada (Alencar et al. 2011).

## **4.2 Metodologia**

O sistema DETER registra áreas de desmatamento e de degradação florestal. As áreas de desmatamento são mapeadas quando os satélites detectam a retirada da floresta nativa e são classificadas em três tipos: desmatamento corte raso, desmatamento com vegetação e mineração. As áreas detectadas com evidências de degradação são classificadas em três tipos: corte seletivo, degradação decorrente de extração de madeira ou incêndios florestais. As áreas degradadas fazem parte do processo de desmatamento na região.

No início de cada ciclo de monitoramento do DETER, os mapas de desmatamento do PRODES do ano anterior são utilizados como uma referência das áreas já desmatadas. O mapa do PRODES, contendo o desmatamento dos anos anteriores, as áreas de não-floresta e as áreas de hidrografia, formam uma máscara de exclusão onde não é possível mapear novos polígonos de corte raso. A máscara impede que áreas já desmatadas, ou sem a presença de floresta, sejam indevidamente mapeadas em novos polígonos de desmatamento ou degradação.

A identificação de desmatamento é feita através da fotointerpretação tendo como base a imagem fração solo. Imagens AWiFS com a composição colorida 5(R), 4 (G) e 3 (B), as frações sombra e vegetação, além de séries multitemporais de imagens Landsat, ResourceSat e CBERS são utilizadas para complementar a análise das imagens, com informações contextuais. A identificação do padrão de alteração da cobertura florestal é feita com base em três principais elementos para a fotointerpretação: tonalidade, textura e contexto.

Os alertas indicados pelo DETER podem ser divididos em dois grupos. O primeiro refere-se aos alertas de desmatamento e são classificados como: desmatamento com solo exposto, desmatamento com vegetação e mineração (Figura 4.2). No segundo grupo estão os alertas de degradação, e são classificados como: degradação; corte seletivo geométrico; corte seletivo desordenado e cicatriz de incêndio florestal (Figura 4.3).

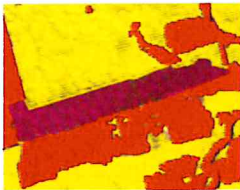
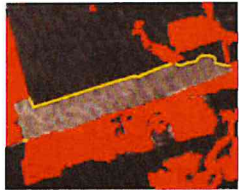
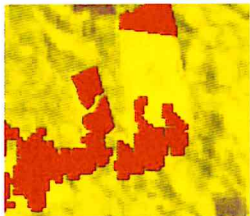

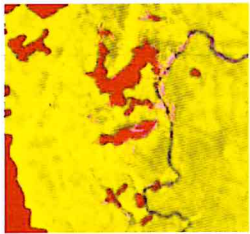
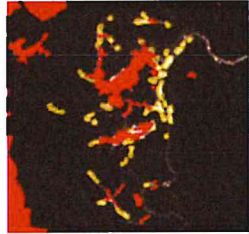

Composição Colorida WFI/CBERS-4	Imagem Fração Solo	Alerta
		Desmatamento com solo exposto
		Desmatamento com vegetação
		Mineração
 Máscara do PRODES		

Figura 4.2 – Exemplos de alertas de Desmatamento.

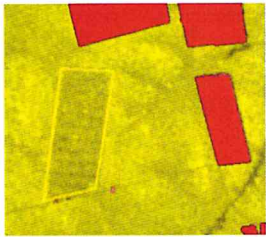
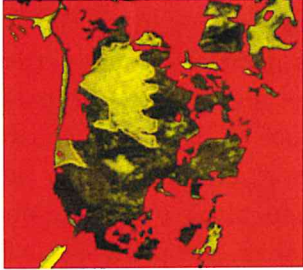

Composição Colorida WFI/CBERS-4	Imagem Fração Solo	Alerta
		Degradação
		Corte Seletivo Geométrico
		Corte Seletivo Desordenado
Composição Colorida WFI/CBERS-4	Imagem Fração Sombra	Alerta
		Cicatriz de queimada
 Máscara do PRODES		

Figura 4.3 – Exemplos alertas de Degradação.

Os polígonos são digitalizado diretamente no tela do computador, sobre a composição colorida das imagens WFI, sobreposta pela máscara dos desmatamentos anteriores, na escala de 1:100.000. Isso permite detectar os alertas em porções da imagens não coberta por nuvens, cujas áreas são maiores que 3 hectares. A Figura 4.4 mostra, como exemplo, um alerta mapeado pelo DETER em 2019.

Com essa metodologia o sistema é capaz de diferenciar distúrbio natural de distúrbio antrópico, pois o primeiro apresenta majoritariamente formas irregulares e não lineares, enquanto o segundo apresenta formas geométricas e lineares.



Localização: -5,59428 Sul, -51,70507 Oeste

Imagem WFI/CBERS-4, Cena 166/105

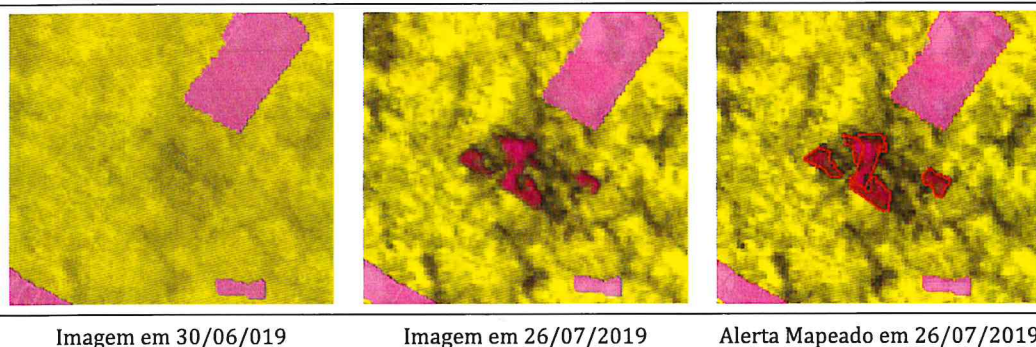


Figura 4.4 – Exemplo de um alerta do DETER. ■ Máscara do PRODES □ Alerta Mapeado.

É necessário enfatizar que o DETER captura apenas parte das alterações ocorridas, devido à menor resolução das imagens/sensores utilizadas, em relação ao Landsat, e às restrições de cobertura de nuvens. Em função da cobertura de nuvens variável de um mês para outro, a comparação entre dados de diferentes meses e anos, obtidos pelo sistema DETER, é fortemente desaconselhada.

Os dados do DETER podem incluir processos de desmatamento ocorridos em períodos anteriores ao do mês de mapeamento, cuja detecção não tenha sido possível, por limitações de cobertura de nuvens ou disponibilidade de imagens. Por essa razão, é preciso distinguir entre o tempo de ocorrência e a oportunidade de detecção, que é dependente do regime de nuvens.

Uma vez detectado, o polígono é incorporado à máscara de exclusão dos alertas, que é atualizada diariamente. Polígonos identificados como pertencentes ao grupo desmatamento ficarão com seu formato e classe inalterados até o fim do ciclo de observação daquele período DETER. Já os polígonos mapeados como pertencentes ao grupo degradação podem ser reclassificados parcial ou inteiramente para uma das classes do grupo desmatamento. Essa regra permite por exemplo, que uma área que foi inicialmente identificada como degradação, possa ser reclassificada no futuro como desmatamento com solo exposto. Essa possibilidade torna o monitoramento mais efetivo para as ações de fiscalização, uma vez que as alterações passíveis de fiscalização são identificadas e classificadas já desde o início da intervenção na cobertura florestal original.

Os polígonos de alerta são inseridos em um banco de dados de maneira automatizada, onde podem ser consultados individualmente por data (ou intervalos entre duas datas) e/ou por recortes espaciais específicos (ex. municípios). O banco de dados também permite a consulta por classe de desmatamento e ou degradação florestal.

O número de alertas mapeados diariamente varia de acordo com disponibilidade de imagens viáveis para serem analisadas. O tempo entre o mapeamento dos alertas, sua auditoria e ingestão no banco de dados é estimado em 72 horas.



## 5. Software utilizado

Tanto o PRODES quando o DETER são executados através do software TerraAmazon (Figura 5.1). Essa aplicação desenvolvida pelo INPE oferece um vasto conjunto de algoritmos de processamento de imagens e de dados vetoriais, ferramentas de edição vetorial com garantia de consistência topológica e gerência de bancos de dados geográficos, além de permitir a implementação de metodologias específicas para projetos com diferentes particularidades, por exemplo, que usam dados de sensores diferentes ou com diferentes propósitos.

Os algoritmos implementados no TerraAmazon utilizam técnicas de programação de alto desempenho, maximizando as capacidades de multiprocessadores disponíveis nos computadores atuais. Isso se reflete na robustez do sistema que é capaz de processar um grande volume de imagens, ou conjuntos de polígonos, em um tempo aceitável no cotidiano de projetos que monitoram grandes extensões geográficas, e utilizando a maior frequência temporal com que as imagens são geradas, como é o caso do PRODES e também do DETER. Os técnicos do projeto, realizam todo o processo de análise de imagens de satélite no exclusivamente no TerraAmazon, sem a necessidade de outras aplicações para a preparação das imagens usadas no monitoramento, o que agiliza o processo, equaliza os procedimentos e otimiza o trabalho.

Usando o TerraAmazon, o INPE mantém um banco de dados geográfico corporativo, que contém as imagens processadas e também os dados vetoriais resultantes (polígonos) dos mapeamentos realizados nos dois sistemas.

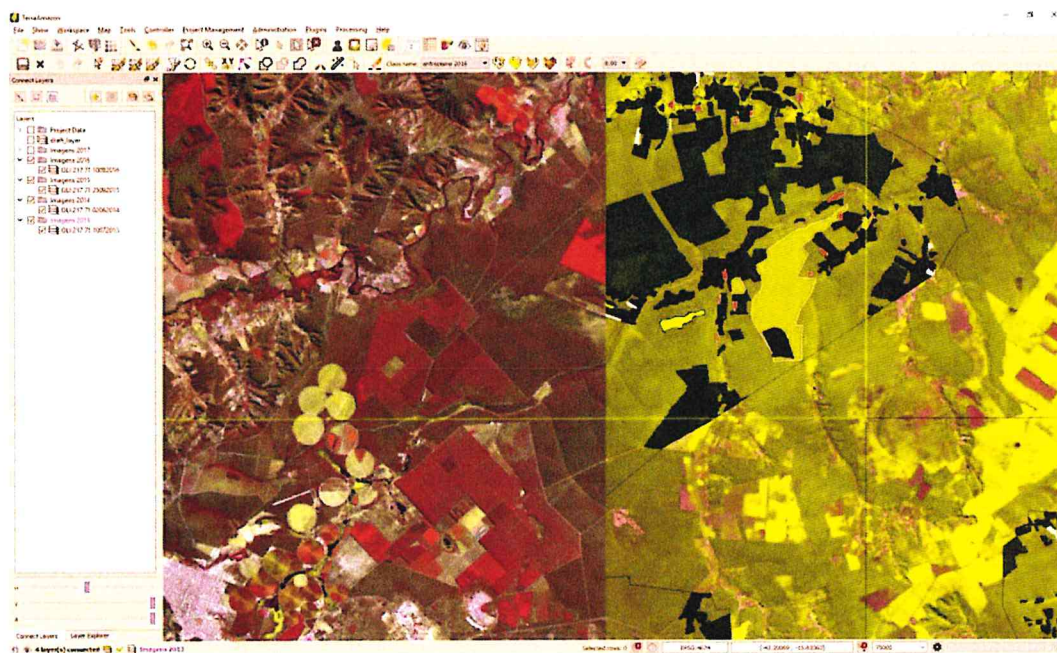


Figura 5.1 Tela do TerraAmazon.





Durante a execução do monitoramento, são mantidas duas instâncias do banco de dados, uma de produção interna à rede do INPE, e outra otimizada para a disseminação dos dados resultantes na internet, garantindo segurança da informação, redundância e tolerância a falhas. Rotinas automatizadas executam os processos de manutenção e sincronização dos bancos de dados.

## 6. Disponibilização

O cálculo da taxa de desmatamento é executada em duas etapas. A primeira etapa é realizada até dezembro de cada ano como uma estimativa da taxa de desmatamento. Para essa estimativa são processadas e analisadas todas as imagens das regiões que contiveram no mínimo 90% do desmatamento, no ano anterior, mais todas as imagens necessárias para cobrir os municípios considerados prioritários, definidos através por meio do Decreto nº 6.321 de 21 de dezembro de 2007. A segunda etapa contendo os dados consolidados são apresentados no primeiro semestre do ano seguinte, quando é concluído o processamento das imagens necessárias para cobrir toda a Amazônia. Para as áreas onde a cobertura de nuvens não permitiu o mapeamento, é feito um cálculo que estima a área desmatada sob nuvem, usando a hipótese de que a proporção da ocorrência de desmatamento em áreas sob nuvens é igual a das áreas não cobertas por nuvens. Destaca-se que a estimativa do desmatamento sob nuvens corresponde em média a apenas 5% da taxa de desmatamento calculada pelo PRODES.

Na data de divulgação pública, o valor da taxa desmatamento para o ano de referência entra para a série histórica. Os incrementos mapeados são também disponibilizados na forma de mapas que mostram sua localização no terreno, em formato digital, no portal <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>.

Já os alertas do DETER são disponibilizados na internet conforme são produzidos, ou seja, diariamente o banco de dados é alimentado com os alertas mapeados e auditados. O acesso a esse banco de dados também se dá através do portal TerraBrasiliis.

Consolidações mensais dos alertas são feitas normalmente em até uma semana após o término do mês e publicadas no portal TerraBrasilis na aba de alertas agregados. Ainda assim é preciso sempre ter em mente que: **em função da cobertura de nuvens variável de um mês para outro e da resolução espacial (tamanho mínimo da área imageada pelo sensor) das imagens utilizadas, o INPE desaconselha fortemente a comparação entre a área de alerta medida em diferentes meses pelo sistema DETER.**

O INPE enfatiza que o DETER é um sistema expedito de Alerta desenvolvido metodologicamente para suporte à fiscalização. A informação sobre áreas é para que as entidades responsáveis pela fiscalização possam identificar áreas prioritárias para fiscalização e não deve ser entendida como taxa mensal de desmatamento. O número oficial do INPE para medir a taxa anual de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal brasileira é fornecido, desde 1988, pelo projeto PRODES que trabalha com imagens de melhor resolução espacial.

## 7. TerraBrasilis

Visando modernizar a disseminação dos dados de mapeamento produzidos pelo Programa de Monitoramento da Amazônia e outros Biomas, o INPE desenvolveu um portal de internet que agrega em um único ponto de acesso os dados do PRODES e do DETER. Esse portal chamado TerraBrasilis é acessado no endereço <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>. O TerraBrasilis foi construído para implementar uma infraestrutura de dados espaciais dedicada aos dados do monitoramento (Assis et al., 2019).

O TerraBrasilis está organizado em dois grupos de funcionalidades: serviços de acesso interativo e acesso aos dados. No acesso interativo, o usuário pode acessar duas visões dos dados do DETER. A visão de mapa, mostra a localização espacial dos alertas (Figura 7.1). A segunda visão apresenta análises sobre o número, área e tipo de alertas, através de gráficos interativos. A plataforma apresenta também a possibilidade de observar essas análises agregadas por recortes espaciais e políticos como municípios, estados ou áreas de conservação (Figura 7.2).

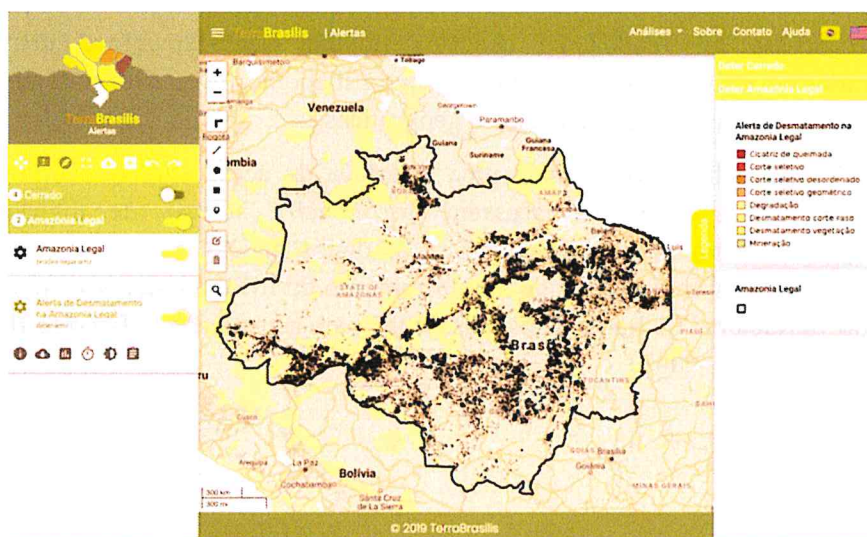


Figura 7.1 – Painel de acesso aos alertas produzidos pelo DETER desde 2016.

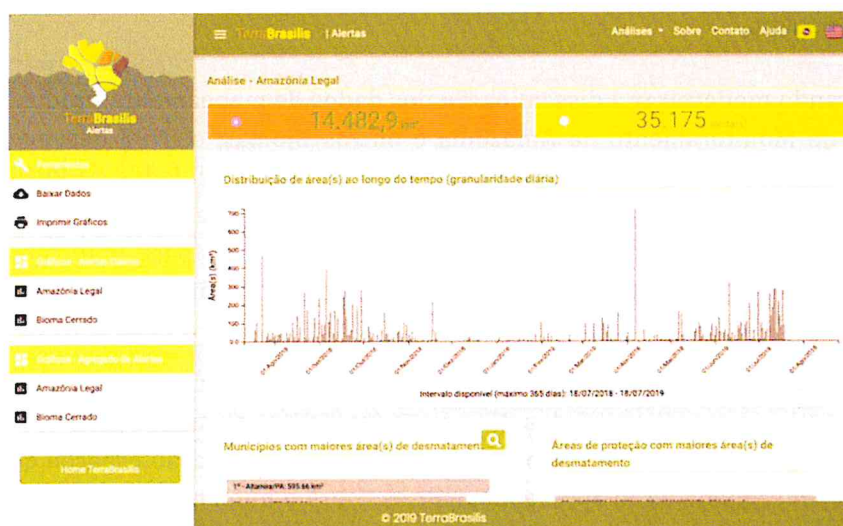


Figura 7.2 – Painel de acesso aos gráficos e consultas sobre os dados do DETER.

No acesso aos dados os usuários podem fazer download dos dados espacializados do PRODES e do DETER em formato shapefile, que é o formato padrão de intercâmbio de arquivos vetoriais de dados geográficos.

O TerraBrasilis oferece ainda uma interface de acesso via webservices, que permite que outras aplicações acessem de maneira através de interfaces de programação, de computador a computador, os dados do PRODES e do DETER. Isso permite que os dados dos projetos de monitoramento do INPE possam ser integrados à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), em acordo com o Decreto Nº 6.666, de 27 de novembro de 2008.



## Referências

- Alencar, A.; Asner, G. P.; Knapp, D.; Zarin, D. (2011) Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia, *Ecol. Appl.*, vol. 21, pp. 2397–2412.
- Assis, L. F. F. G.; Ferreira, K. R.; Vinhas, L.; Maurano, L. E. P. et al. (2019). TerraBrasilis: a spatial data infrastructure for disseminating deforestation data from Brazil. In: *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos*. Anais eletrônicos... Campinas, GALOÁ, 2019.
- Barlow, J. & Peres, C. A. (2006). Effects of single and recurrent wildfires on fruit production and large vertebrate abundance in a central Amazonian forest. *Biodiversity and Conservation*, 15, 985-1012.
- Diniz, C. G., Souza, A. A. A., Santos, D. C. et al. (2015) DETER-B: The new Amazon near real-time deforestation detection system. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8, n. 7.
- Lambin, E. F. (1999). Monitoring forest degradation in tropical regions by remote sensing: some methodological issues. *Global Ecology and Biogeography*, 8, 191-198.
- RADAMBRASIL (1976). DNPM, Rio de Janeiro.
- Rennó, C. D. (2004) *Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas*. Diss. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 148p.
- Shimabukuro, Y. E; Smith, J. A. (1991). The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE. Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 29, p. 16-20.

## ANEXO I

### Metodologia para Cálculo da Taxa e Desmatamento do PRODES

#### 1. Dados de entrada

Após o mapeamento dos incrementos do desmatamento para o ano de referência, além dos polígonos que delimitam os incrementos também é gerada uma tabela com informações agregadas sobre cada imagem processada. A Tabela 1 mostra um extrato dessa tabela, considerando que os mapeamentos foram feitos para o ano de 2004. Esse exemplo será utilizado para explicar como são feitos os cálculos da taxa de desmatamento

Tabela 1 – Resultado do mapeamento dos incrementos de desmatamento em algumas imagens.

pathrow	state	codigo	julnday	fstarea	dfsarea	increm	fstcls	dfcld_01	dfcld_02	---	dfcld_07	dfcld_out
22466	PA	1	223	12215	11969	830	559	19	0	...	0	29
22765	PA	1	197	5778	378	82	9	0	0	...	0	5
22765	PA	2	197	17990	2226	546	80	0	0	...	0	25
22768	MT	1	213	13397	8472	897	201	0	0	...	0	83
22769	MT	1	228	11465	7660	893	0	0	0	...	0	85
22867	MT	1	204	14115	5482	673	0	0	0	...	0	5
22867	MT	2	204	4045	1070	177	0	0	0	...	0	0
22967	MT	1	211	19977	5753	669	0	0	0	...	0	27
22969	MT	1	211	7205	1572	103	0	0	0	...	0	60
22969	RO	1	211	1876	1615	51	0	0	0	...	0	23
23267	RO	1	215	15130	8537	866	295	1	0	...	0	443

O significado de cada coluna na Tabela 1 é:

- *pathrow*: órbita-ponto de cada imagem;
- *state*: estado da federação coberto;
- *cod*: identifica o recorte sem nuvens (ou com o mínimo possível) de uma das imagens usadas para processar a cena toda. A união dos recortes compõe a imagem toda;
- *julnday*: dia juliano da imagem observada;
- *fstarea*: área de floresta remanescente na imagem;
- *dfsarea*: área desmatada na imagem observada anteriormente; *Increm*: incremento no desmatamento constatado na imagem;
- *fstcls*: área de floresta coberta por nuvens na imagem *Ft*;
- *dfcld\_01*: área desmatada, coberta por nuvens no ano anterior;
- *dfcld\_02*, *dfcld\_03*, *dfcld\_04*, *dfcld\_05*, *dfcld\_06*, *dfcld\_07*: área desmatada, coberta por nuvens nos (dois, três, quatro, cinco, seis e sete) anos anteriores à data de observação.
- *dfcld\_out*: área de desmatamento registrada em 2004, porém já existente em 2003 ou em anos anteriores. Este dado não é considerado na estimativa anual porque não é considerado um dado do ano corrente. Apesar de não entrar no cálculo da estimativa anual, a área desmatada é incorporada aos arquivos shape

que representam os desmatamentos acumulados até o momento (chamado de máscara PRODES).

## 2. Estimativa da área desmatada sob nuvens

Após o processamento de cada imagem é feita a estimativa da área desmatada sob nuvens. Esta estimativa supõe que a proporção de desmatamento na área não-observada é a mesma da área de floresta observada na imagem. O procedimento é ilustrado na Figura 1.

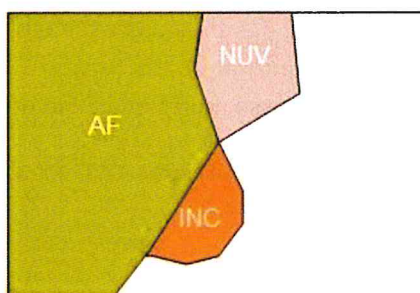


Figura 1 – Ilustração do procedimento de estimativa do desmatamento em área não observada.

Na Figura 1, sendo *AF* a área de floresta remanescente, *INC* o incremento constatado na imagem, e *NUV* a área não observada, o incremento estimado sob nuvens (*inc\_nuv*) é calculado como a proporção do desmatamento observado multiplicado pela área de nuvens. O incremento total (*inc\_tot*), usado no cálculo da taxa de desmatamento, é considerado como a soma do incremento observado com o incremento estimado sob nuvem, mais as parcelas de desmatamentos observados sobre a ocorrência de nuvens por um ou mais anos. Assim,

$$inc\_nuv = NUV * (INC / (AF + INC))$$

$$inc\_tot = INC + inc\_nuv + parcelas\_dsf$$

$$parcelas\_dsf = (dfcld\_01/2 + dfcld\_02/3 + dfcld\_03/4 + ... + dfcld\_07/8)$$

onde cada parcela é calculada em função do número de anos que a área ficou coberta por nuvens, mais o ano corrente. Assim, se uma área ficou coberta por nuvens por 2 anos e no ano corrente foi possível observar o desmatamento (*dfcld\_02*), o valor observado é dividido por 3 anos, não onerando o ano corrente.

Para *dfcld\_01* considera-se 2 anos, *dfcld\_02* considera-se 3 anos e assim sucessivamente até o máximo de 7 anos de cobertura por nuvens. Como exemplo, os dados na imagem órbita ponto 224/66, onde em 2004 foram identificados 12215 km<sup>2</sup> de área de floresta remanescente, um incremento de 830 km<sup>2</sup>, uma área de nuvens de 559 km<sup>2</sup>, e uma área de desmatamento sobre nuvens por 1 ano de 19km<sup>2</sup>. O incremento total estimado foi de 875 km<sup>2</sup>.

Quando a melhor imagem selecionada tem muitas nuvens, a parte sem cobertura é processada e imagens de outros satélites de datas próximas são usadas para interpretar a parte coberta por nuvens. Os cálculos de *inc\_nuv* são feitos para cada parte usada para compor a imagem processada final. Quando isto acontece, os anos anteriores



são também recortados com o mesmo recorte usado para processar tal imagem para não afetar o cálculo das estimativas.

### 3. Cálculo da taxa de desmatamento

#### 2.1 Determinação da estação seca

Para o cálculo da taxa de desmatamento, o primeiro passo é estabelecer qual é a estação seca associada à imagem. Na Figura 2, estão mostradas as diferentes estações seca climatologicamente definidas para a Amazônia, com os respectivos dias de início e fim. Note-se que a grande maioria das imagens está associada a uma estação seca que começa no dia juliano 151 (31/maio) até o dia juliano 242 (29/agosto). Estas imagens correspondem à região do Mato Grosso, Rondônia e Sul do Pará.

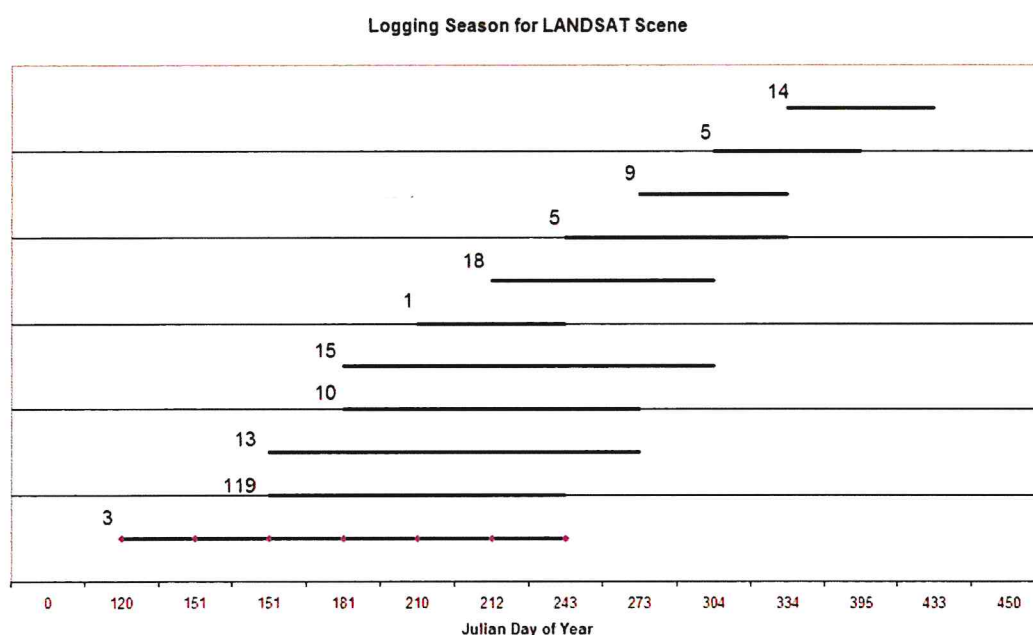


Figura 2 – Estação seca na Amazônia e número de imagens LANDSAT associadas.

#### 2.2 Estimativa proporcional para data de referência

O passo seguinte é fazer a compensação temporal de todos os incrementos, para uma mesma data de referência. Considerando o grande número de imagens cuja estação seca está entre os meses de junho e setembro (ver Figura 2), tomou-se a data de 1/agosto (dia juliano 211) como data de referência para o cálculo das taxas anualizadas. O procedimento detalhado do cálculo da taxa dependerá das datas de aquisição da imagem no ano em análise e nos dois anos anteriores. Para ilustrar o procedimento, tomou-se o exemplo no qual as duas datas de aquisição das imagens estão dentro da estação seca (vide Figura 3). Os demais casos são calculados de maneira similar.

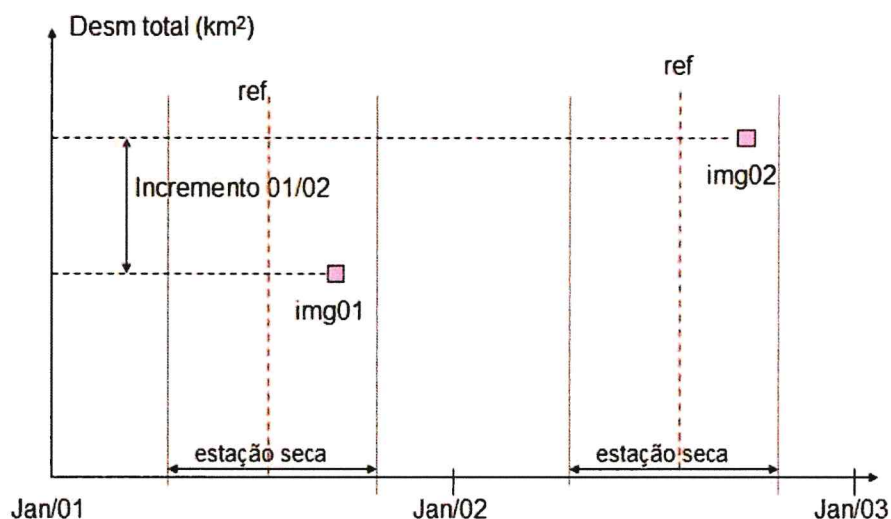


Figura 3 – Cálculo da taxa anual de desmatamento – passo 1: localização das imagens em relação a estação seca (*ref* é a data de referência).

Na Figura 3, a diferença entre o desmatamento total das duas imagens é o incremento entre as duas datas. Como o número de dias entre as duas imagens depende de fatores como a cobertura de nuvens, a diferença de data pode ser menor ou maior que um ano. Esta diferença tem de ser compensada para o cálculo da taxa. Assim, o segundo passo é o cálculo da taxa diária de desmatamento e a taxa anual, como mostra a Figura 4. Para o cálculo da taxa diária, divide-se o incremento observado pelo número de dias da estação seca entre as duas imagens.

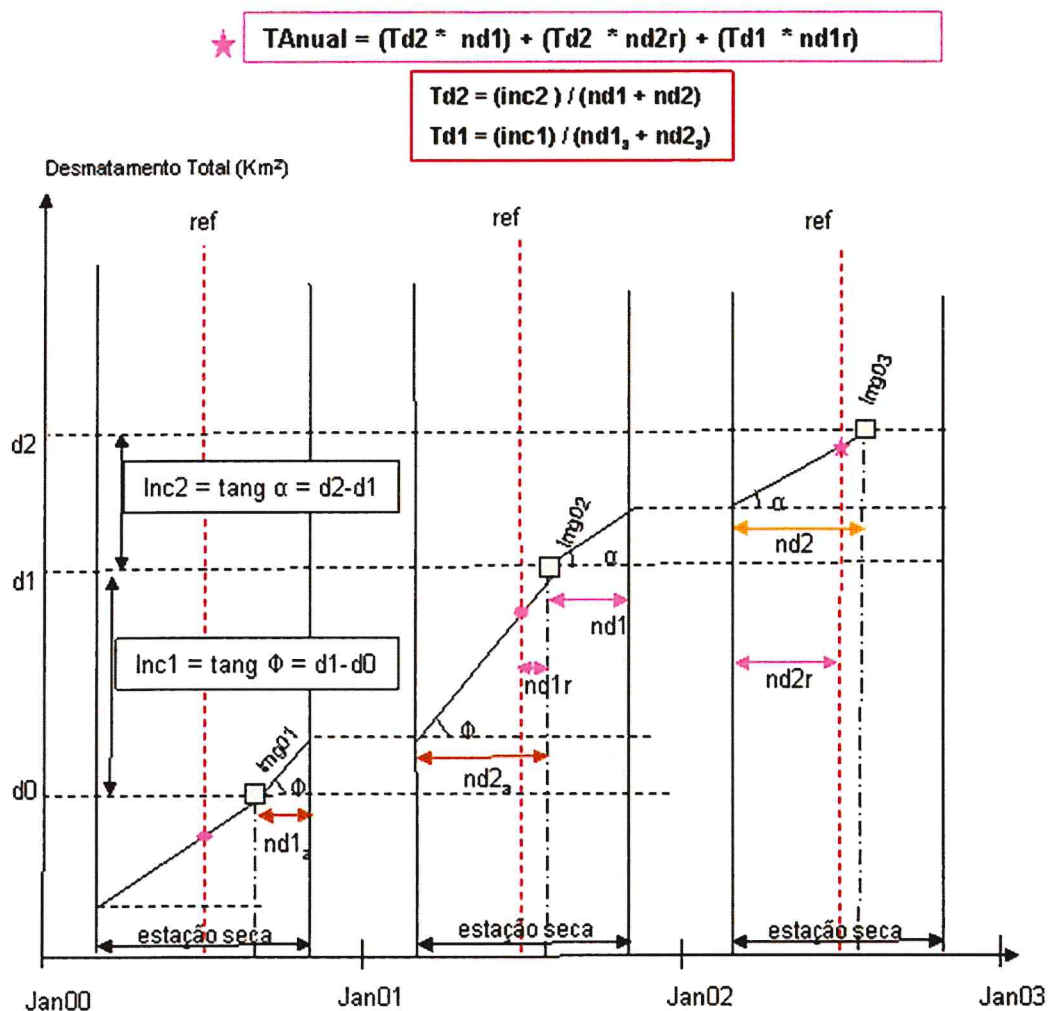


Figura 4 – Cálculo das Taxas Diária de desmatamento ( $Td2$  e  $Td1$ ) e Taxa Anual de Desmatamento para o ano observado ( $T_{Anual}$ ).

O cálculo da taxa de desmatamento anual é estimado como:

$$T_{Anual} = (Td2 * nd1) + (Td2 * nd2r) + (Td1 * nd1r),$$

onde:

- $Td2$  - taxa de desmatamento diária entre a imagem do ano analisado e a imagem do ano anterior;
- $Td1$  - taxa de desmatamento diária entre a imagem do ano anterior e a imagem do ano precedente;
- $nd2$  - número de dias de estação seca entre o início da estação seca e a imagem do ano;
- $nd2r$  - número de dias de estação seca entre o início da estação seca e a data de referência;
- $nd1r$  - número de dias da estação seca entre a data de referência e a imagem do ano anterior;



- $nd1$  - número de dias de estação seca entre a imagem do ano anterior e o final da estação seca;
- $nd1_a$  - número de dias de estação seca entre a imagem do ano precedente e o fim da estação seca;
- $nd2_a$  - número de dias de estação seca entre o início da estação seca e a imagem do ano anterior.

As Tabelas 3 e 4 mostram um exemplo de estimativa de taxas.

Tabela 2 – Dados de entrada – cena 22466

	pathrow	state	cod	julnday	fstarea	dfsarea	increm	fstcls	dfcld_01	dfcld_02	...	dfcld_07	dfcld_out
2004	22466	PA	1	223	12215.29	11969.00	829.87	558.74	18.53	0	...	0	28.53
2003	22466	PA	1	236	13661.41	11153.48	776.79	84.65	36.78	0	...	0	0
2002	22466	PA	1	209	13923.80	10402.36	751.13	635.83	0.00	0	...	0	0

Tabela 3 – Estimativa de Taxas de Desmatamento – cena 22466

	PathRow	Sta	ScId	Jul2	Jul1	Jul0	StClim	EndClim	Rate	Incram	CorrInc	...
2004	22466	PA	1	223	236	209	151	242	916.75	829.87	874.68	...
2003	22466	PA	1	236	209	214	151	242	619.79	776.79	799.73	...
2002	22466	PA	1	209	214	164	151	242	831.66	751.13	783.67	...
...	IncLstYear	CorrLstYear		PercRate		PercClds		DRate2	nd2r	nd1r	DRate1	nd1
...	776.79	799.73		5		5		10.93	61	7	6.66	26
...	751.13	783.67		-23		3		6.66	61	32	8.91	0
...	1078.83	1078.83		6		4		8.91	61	29	7.54	4

Observe que o primeiro passo é corrigir o incremento na imagem de 2004 para levar em conta a área coberta por nuvens. O incremento total estimado de acordo foi de  $874.87 \text{ km}^2$ . Com estes dados, pode-se calcular os parâmetros da equação anterior, mostrados na Tabela 3. Como se verifica, a taxa estimada para 2004 é de  $916.75 \text{ km}^2$ . Esta taxa é superior ao incremento constatado ( $829 \text{ km}^2$ ) porque a estimativa anual leva em consideração o incremento corrigido em função das nuvens existentes na imagem. Os dados apresentados na Tabela 3 são descritos como:

- *Pathrow* - órbita-ponto de cada imagem;
- *Sta* - estado da federação coberto;
- *Cod* - identifica o recorte com o mínimo de nuvens possível de uma das imagens usadas para processar a cena toda. A união dos recortes compõe a imagem toda;
- *Jul2* - dia juliano da imagem observada (ano corrente ex. 2004)
- *Jul1* - dia juliano da imagem do ano anterior (ex. 2003)
- *Jul0* - dia juliano da imagem do ano precedente (ex. 2002)
- *StClim* - Início da estação seca para a cena
- *EndClim* - Fim da estação seca para a cena
- *Rate* - taxa anual estimada pela fórmula apresentada acima ( $T_{Anual}$ )
- *Incram* - incremento no desmatamento constatado na imagem
- *CorrIncr* - incremento corrigido em função das nuvens
- *InclStYear* - incremento constatado no ano anterior





- *CorrLstYear* - incremento corrigido no ano anterior
- *PerRate* - indica a diferença em porcentagem entre *Rate* e *CorrIncr*
- *PerClds* - indica a diferença em porcentagem entre *Increm* e *CorrIncr*
- *DRate2* - taxa diária do ano corrente
- *nd2r* - número de dias de estação seca entre o início da estação seca e a data de referência do ano corrente
- *nd1r* - número de dias de estação seca entre a data de referência e a imagem do ano anterior
- *nd1* - número de dias de estação seca entre a imagem do ano anterior e o final da estação seca
- *Drate1* - taxa diária do ano anterior
- *ndnxtY*: número de dias entre a data de referência e a data de passagem da imagem. Este intervalo será computado apenas no cálculo da taxa do ano seguinte. Observe que o incremento pode ser maior que a taxa estimada, porque a taxa é projetada para a data de referência.

A taxa anual total estimada é dada pelo somatório das taxas estimadas das imagens processadas. Para minimizar o possível efeito das nuvens na estimativa anual total, optou-se por considerar apenas o incremento para as imagens que obedecem as regras 1 e 2 descritas abaixo.

**Regra 1:** seleciona as imagens com grande diferença entre *incr* e *CorrIncr* corrigido pelo efeito de nuvens no ano corrente ou no ano anterior.

$(perClds1 > 100\% \text{ e } incr1 > 50\text{km}^2)$  – ano corrente ou

$(perClds0 > 100\% \text{ e } incr0 > 50\text{ km}^2)$  – ano anterior

**Regra 2:** A regra 2 é aplicada após a regra 1 e seleciona as imagens com grande diferença entre taxa calculada no ano (sem a parcela do ano anterior  $Drate1*ndr1$ ) e o incremento corrigido.

$$100 * [(RATE - Drate1*nd1r) - CorrIncr] / CorrIncr > 50\%$$

Os parâmetros de corte usados são 100% para nuvens e 50% para taxa.

### 2.3 Taxa anual projetada

A taxa anual projetada é um resultado intermediário que estima o valor de desmatamento em função de um conjunto significativo de imagens. Este valor é calculado em função das taxas de pares de imagens em dois anos consecutivos, e dos dados efetivamente processados no ano anterior.

Tabela 4 – Projeção de Taxas Anuais

	#IMGS Pairs	RATE- Pairs Km2	#IMGS good	RATE -good (Km2)	#IMGS regra 1 e 2	INCR- regra 1 e 2 (Km2)	Sum (Km2) RATE+INCR	#IMGS Total	ProjRATE Total- Km2
2005	94	17174							18831
2004	94	24279	164	24849	52	1773	26622	216	26622

Analisando a tabela para o par 2004-2005, temos que para as mesmas 94 imagens, a taxa estimada para 2004 é de 24279 km<sup>2</sup> e para 2005 é 17.174 km<sup>2</sup>. Do total





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

(216) de imagens processadas em 2004, as estimativas para 52 imagens foram descartadas pelas regras 1 e 2 descritas acima. Para essas 52 imagens usou-se o incremento observado no lugar das taxas estimadas (1.773 km<sup>2</sup>). Assim a taxa projetada em 2005 para as 216 imagens é de 18.831 km<sup>2</sup> ( $17.174 \cdot 26.622 / 24.279$ ). A mesma regra de três é usada para o cálculo das taxas projetadas por estado.

