



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal

Gilberto Câmara

Dalton de Morisson Valeriano

João Vianeir Soares

São José dos Campos, INPE, set/2006.

Atualizado por Marisa da Motta

1	Introdução.....	3
2	Hipóteses de trabalho adotadas	4
3	Procedimento de interpretação de imagens	5
3.1	Seleção das imagens orbitais	6
3.2	Geo-referenciamento das imagens TM/LANDSAT	6
3.3	Modelo linear de mistura espectral.....	8
3.4	Segmentação das imagens frações-sombra e solo	11
3.5	Classificação das imagens fração-sombra ou solo segmentadas.....	11
3.6	Edição e mosaicagem	12
3.7	Resultado desta fase	14
4	Efeito da cobertura de nuvens	15
5	Cálculo da taxa de desmatamento	17
5.1	Determinação da estação seca	17
5.2	Estimativa proporcional para data de referência	18
5.3	Taxa Anual Projetada	23
6	Aspectos da metodologia revisados.....	24
7	Conclusões.....	24

1 Introdução

Este documento apresenta a metodologia adotada pelo INPE no cálculo da taxa de desmatamento da Amazônia, no chamado programa PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia). Esta metodologia foi desenvolvida originalmente pela equipe do INPE durante o período 1988-2002 para ser utilizada no contexto do projeto PRODES Analógico. Neste período, a interpretação das imagens era feita por interpretação visual de imagens impressas em papel fotográfico.

A partir de 2003, o INPE passou a adotar o processo de interpretação assistida pelo computador para o cálculo da taxa de desmatamento na Amazônia, chamado de programa PRODES Digital para distingui-lo do processo anterior. A metodologia adotada no período 2003-2005 está descrita neste documento. Os ajustes e aprimoramentos implementados em 2005 estão descritos neste documento.

Este documento está dividido em sete seções. Na seção 2, descrevemos as hipóteses de trabalho adotadas no procedimento. Na seção 3, apresentamos o processo de interpretação assistida pelo computador. Na seção 4, discorremos sobre a estimativa de desmatamento na área coberta por nuvens e não observada no ano em curso. Na seção 5, mostramos como é feito o ajuste para estimar a taxa anual de desmatamento para uma data de referência e como é feito a projeção da taxa anual. Na seção 6, apresentamos os principais aspectos da metodologia que foram revisados. Nas conclusões, revisamos os principais pontos do documento e apontamos para os novos desenvolvimentos em curso no INPE.

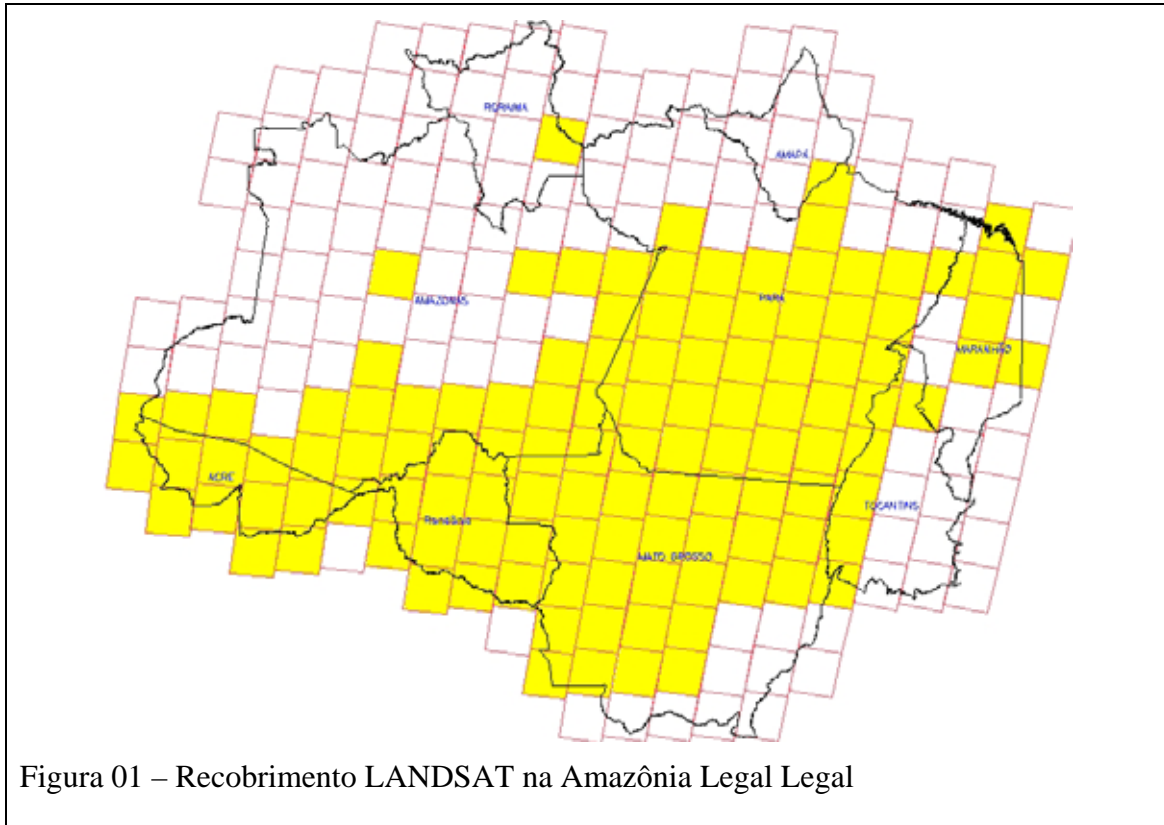
Deve-se observar que os procedimentos utilizados pelo INPE no período 1988-2002 nunca foram devidamente documentados por seus responsáveis à época. Assim, este documento é a primeira descrição disponível dos procedimentos de cálculo da taxa. Vale lembrar ainda que o INPE passou a divulgar os mapas digitais que descrevem o desmatamento da Amazônia apenas a partir de 2003. Até então, esta informação era restrita e não acessível mesmo a outros órgãos do governo, o que teve graves conseqüências, pois reduziu muito a capacidade do governo e da sociedade em combater o desmatamento.

2 Hipóteses de trabalho adotadas

A metodologia do cálculo da taxa de desmatamento da Amazônia baseia-se em alguns pressupostos:

1. As imagens utilizadas são do satélite LANDSAT, e formam uma grade que recobre toda a Amazônia, composta de um conjunto de órbitas e de pontos. Cada imagem é identificada univocamente por um par ordenado órbita-ponto (vide figura 1).
2. Parte das imagens pode não ser analisada, devido a problemas de cobertura de nuvens ou de conflito entre o tempo necessário para processamento de todas as imagens e a data prevista para a divulgação da taxa. Neste caso, as imagens são selecionadas de forma a cobrir o máximo possível de áreas desmatadas no ano anterior.
3. A partir de 2005, em casos de alta cobertura de nuvem, imagens de outros satélites (ou datas) podem ser usadas para compor a cena. O procedimento de análise é descrito na seção 3.
4. Numa imagem a ser analisada, pode haver áreas não-observadas, devido ao problema de cobertura de nuvens. Estas áreas deverão ser levadas em conta no procedimento de cálculo do incremento estimado para cada imagem, como descrito na seção 4.
5. O desmatamento ocorre apenas dentro da estação seca. Assim, para cada órbita-ponto, a estação seca foi estabelecida baseada em parâmetros climatológicos. Para fornecer uma taxa anualizada de desmatamento na imagem, os incrementos de desmatamento constatados em cada imagem precisam ser projetados para uma data de referência. Este processo é descrito na seção 5.

O recobrimento das imagens LANDSAT na Amazônia é mostrado na figura 1, onde algumas imagens utilizadas para o cálculo da taxa de desmatamento em 2005 são mostradas em amarelo.

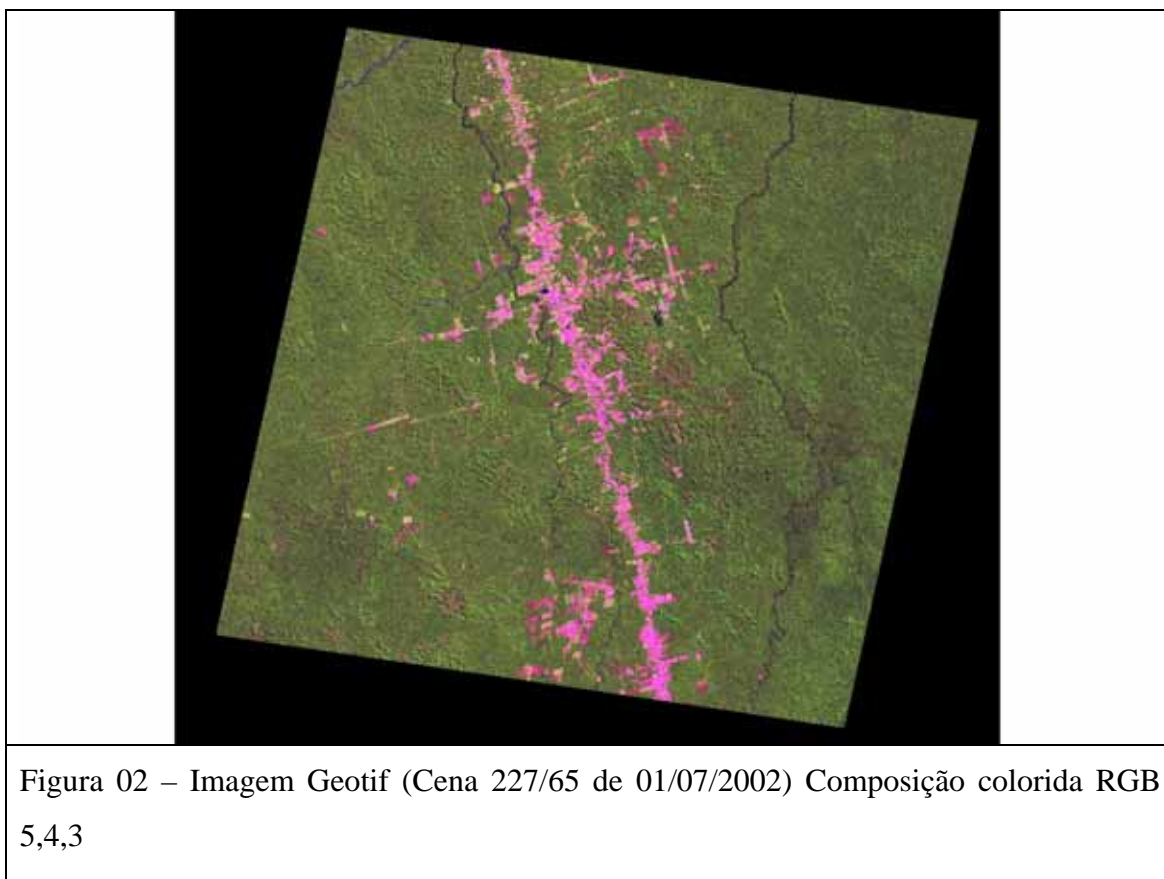


3 Procedimento de interpretação de imagens

A metodologia de interpretação de imagens consiste nas seguintes etapas: seleção de imagens com menor cobertura de nuvens e com data de aquisição a mais próxima o possível da data de referência para o cálculo de taxa de desmatamento (1º de agosto), georreferenciamento das imagens, transformação dos dados radiométricos das imagens em imagens de componente de cena (vegetação, solo e sombra) pela aplicação de algoritmo de mistura espectral para concentrar a informação sobre o desmatamento em uma a duas imagens, segmentação em campos homogêneos das imagens dos componentes solo e sombra, classificação não supervisionada e por campos das imagens de solo e de sombra, mapeamento das classes não-supervisionadas em classes informativas (desmatamento do ano, floresta, etc), edição do resultado do mapeamento de classes e elaboração de mosaicos das cartas temáticas de cada Unidade Federativa. Estas etapas são detalhadas a seguir.

3.1 Seleção das imagens orbitais

Em consulta aos arquivos da Divisão de Geração de Imagens do INPE/Cachoeira Paulista, são selecionadas imagens TM/Landsat, do ano de interesse (correspondentes geralmente aos meses de julho, agosto e setembro), com cobertura mínima de nuvens e melhor visibilidade, além de uma adequada qualidade radiométrica. As imagens de satélite são normalmente processadas com introdução de correções de sistema, nível de correção geométrica igual a 6 (reamostragem por vizinho mais próximo) e em projeção UTM, gerando um produto cartográfico com erro interno igual a 50 m. Após indicadas as bandas TM3 (região do vermelho), TM4 (região do infra-vermelho próximo) e TM5 (região do infravermelho médio), estes dados digitais são gravados num CD-ROM, em formato Geotiff.



3.2 Geo-referenciamento das imagens TM/LANDSAT

O módulo IMPIMA do ambiente computacional SPRING (Sistema de Processamento de Informações Geo-referenciadas) é utilizado neste projeto para se obter imagens no formato GRIB (Gridded binary), através da leitura de imagens por dispositivo CD-ROM

e posterior visualização. É conveniente ressaltar que a resolução espacial da imagem de entrada é de 30 metros.

A partir da criação da estrutura dos bancos de dados e dos projetos (Tabela 1) pode-se receber as imagens para serem analisadas no Sistema de Processamento de Informações Geo-referenciadas (SPRING). Estes bancos contêm os planos de informação para as categorias “imagem” e “carta temática”, representando respectivamente, as diversas bandas espectrais e/ou imagens-sintéticas e as cartas-tema de interesse. Dentre os temas definidos como legenda estão: floresta, não-floresta (áreas previamente identificadas nas imagens com base no Mapa de Vegetação do IBGE como constituída de vegetação com fisionomia diversa da florestal como Savana Arbórea-Arbustiva (Cerrado), Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo Limpo de Cerrado), Campinarana, etc), extensão desflorestada (acumulada de mapeamentos anteriores), desflorestamento do ano, hidrografia e nuvem. Na Tabela 1 pode-se observar que tanto o nome do banco de dados, quanto o nome do projeto procuram referenciar o ano do levantamento e as informações da órbita_ponto de cada imagem TM/Landsat investigada, permitindo ainda visualizar as categorias e modelos dos dados/informações de entrada.

TABELA 1- Exemplo de estrutura dos bancos de dados e dos projetos

NOME DO BANCO			
"ano do levantamento_projeto sgi_órbita ponto_data"			
NOME DO PROJETO			
"ano do levantamento_projeto sgi_órbita ponto_data"			
CATEGORIA	MODELO	PI	CLASSES
Imagem	Imagem	3 Bandas sintéticas	
CartaTema	Temático	Classificação	floresta, não-floresta, desmatamento-total (extensão) desmatamento (incremento do ano), nuvem, hidrografia.

O geo-referenciamento das imagens é feito registrando-se as imagens de satélite com cartas topográficas na escala 1: 100.000 escanerizadas, através da aquisição de alguns pontos de controle, por considerar que as imagens, quando de sua aquisição, estão geometricamente corrigidas. No registro, associam-se as coordenadas da imagem (linha, coluna) com as coordenadas geográficas (latitude, longitude) das cartas topográficas. O SPRING pode reconhecer imagens TM-Landsat com correção geométrica de sistema e tratá-las de modo especial durante o registro. Nas várias áreas da Amazônia, onde não existem cartas na escala de 1:100.000 foram utilizadas como referência, aquelas cartas disponíveis, na escala 1: 250.000 editadas pelo FIBGE ou DSG, órgãos responsáveis

pela cartografia nacional. É importante destacar que essa forma de registro imagem x carta foi empregado apenas para o ano-base (no caso, 1997 para o geo-referenciamento inicial), ficando as imagens dos anos subseqüentes devidamente registradas pelo tipo imagem x imagem. Posteriormente ao registro, é feita a importação das imagens para a estrutura dos projetos criados, conforme mencionado em item anterior.

A partir de 2005, adotou-se o georeferenciamento com as imagens ortoretificadas divulgados pela NASA – <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>.

3.3 Modelo linear de mistura espectral

O modelo linear de mistura espectral (MLME) visa estimar a proporção dos componentes solo, vegetação e sombra, para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diversas bandas do TM, gerando as imagens-fração solo, vegetação e sombra. O modelo de mistura espectral pode ser escrito como:

$$r_i = a * vege_i + b * solo_i + c * sombra_i + e_i,$$

onde r_i é a resposta do pixel na banda i da imagem TM/Landsat; a , b e c são proporções de vegetação, solo e sombra (ou água) que compõem o pixel; $vege_i$, $solo_i$ e $sombra_i$ correspondem as respostas espectrais de cada uma dessas componentes citadas; e_i é o erro de estimação intrínseco para cada banda i . As bandas 3, 4 e 5 do TM-Landsat estão sendo utilizadas, formando um sistema de equações lineares que pode ser resolvido utilizando o método dos Mínimos Quadrados Ponderados. Após a aplicabilidade do modelo de mistura, são resultantes três bandas sintéticas, representando as proporções de vegetação, de solo e de sombra existente em cada pixel da imagem.

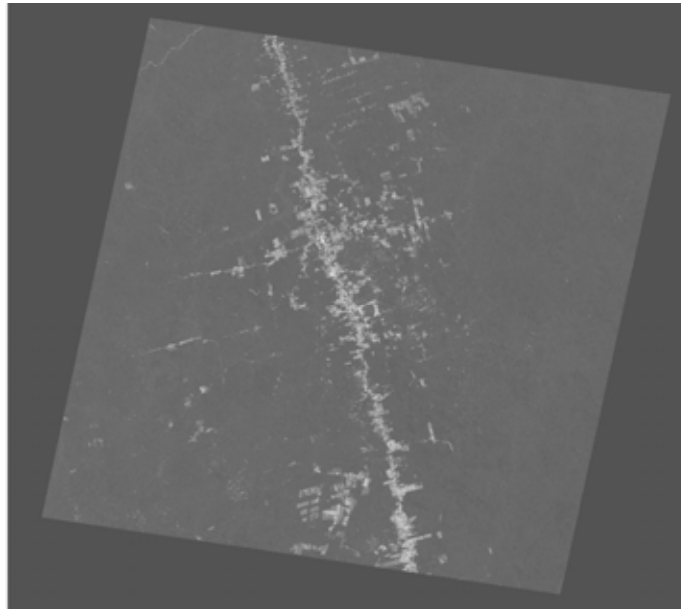


Figura 03 – Imagem da Componente Solo

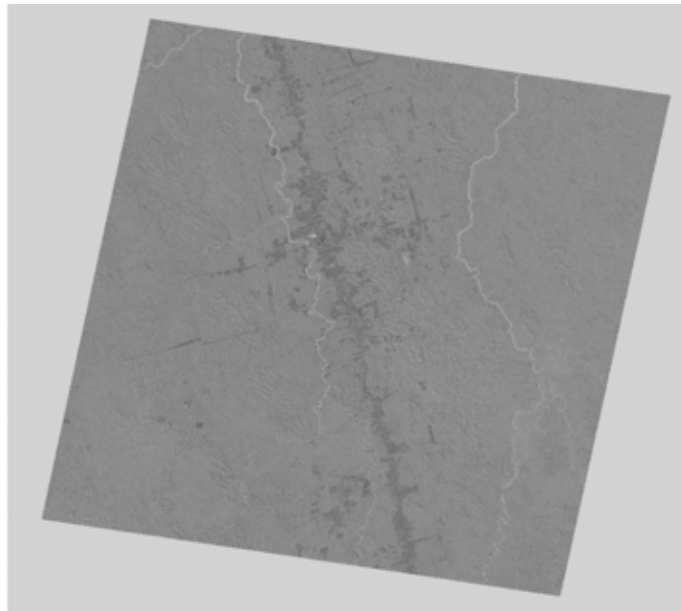


Figura 04 – Imagem da Componente Sombra

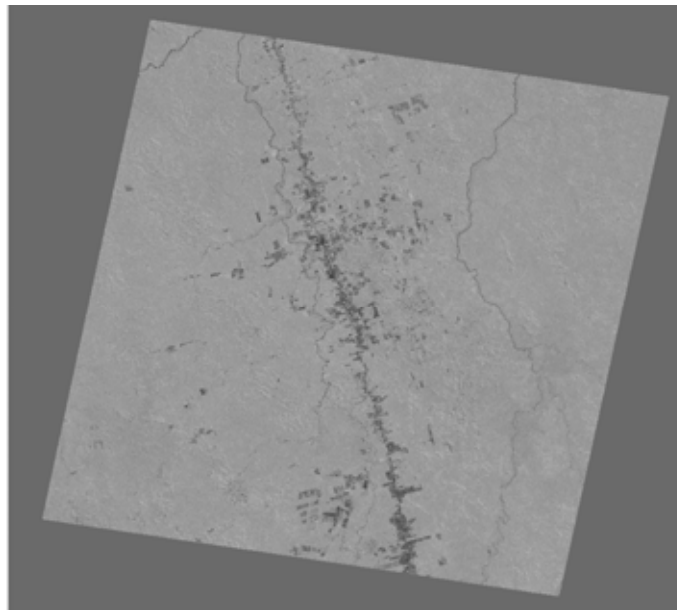


Figura 05 – Imagem da Componente Vegetação

Particularmente, em função dos alvos investigados neste trabalho, a imagem-fração sombra ou solo, tem sido geralmente utilizada no processo de identificação das áreas desflorestadas. Essa indicação de qual imagem-fração utilizar para dar seqüência no procedimento é fruto da experiência do fotointérprete ou do analista em reconhecer a complexidade temática da área de estudo. Geralmente áreas de transição/contato entre as formações florestais e aquelas de cerrado (lato sensu), por exemplo, são tratadas a partir de imagens-fração solo. Em áreas com dominância de faciações da floresta tropical a caracterização do desflorestamento é melhor definida em imagem-fração sombra, visto que áreas florestadas apresentam significativo percentual dessa componente sombra, em função dos vários estratos que compõem a estrutura de uma floresta e a irregularidade do dossel, contrastando com uma baixa quantidade de sombra no caso de áreas com ocorrência de derrubada florestal.

Ao final dessa fase, as imagens-sintéticas geradas pelo MLME e que serão empregadas para a etapa classificatória são reamostradas para 60 metros, por razões de otimização do tempo de processamento digital, minimizando o espaço em disco, sem perda do conteúdo informativo compatível com a escala de apresentação final, que é de 1:250.000.

3.4 Segmentação das imagens frações-sombra e solo

A segmentação de imagem é uma técnica de agrupamentos de dados, na qual somente as regiões espacialmente adjacentes e de características espectrais semelhantes podem ser agrupadas. Para realizar o processo de segmentação é necessário definir dois limiares: a) o limiar de similaridade, valor mínimo estabelecido pelo intérprete, abaixo do qual duas regiões são consideradas espectralmente similares e agrupadas em uma única região; b) o limiar de área, valor de mínima, dimensão, dado em número de pixels, para que uma região seja individualizada. No presente trabalho, as imagens fração-sombra ou fração-solo derivadas do MLME têm sido segmentadas pelo método de crescimento de regiões, utilizando os limiares de similaridade 8 e de área 16, pré-estabelecidos através de vários experimentos em trabalhos sobre uso e cobertura da terra, realizados na Amazônia.

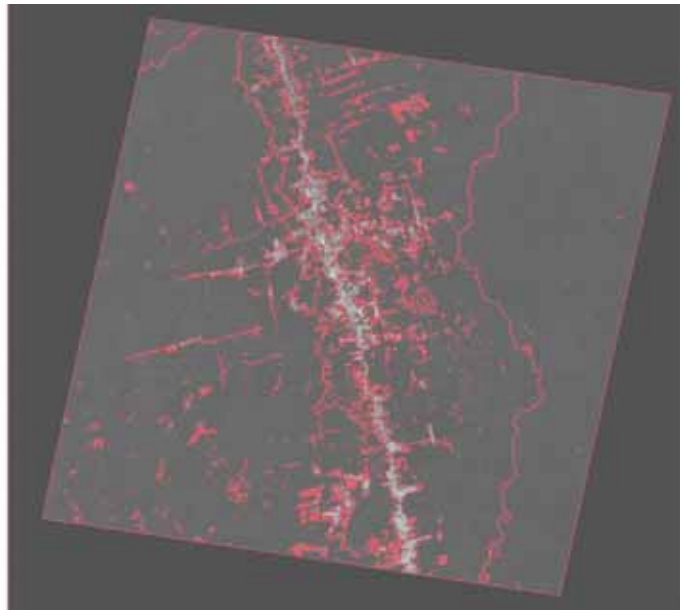


Figura 06 – Imagem da Componente Solo Segmentada

3.5 Classificação das imagens fração-sombra ou solo segmentadas

Uma vez realizada a segmentação nas imagens sintéticas derivadas do MLME selecionadas, torna-se necessário como fase sequencial de operação, a criação de um arquivo de contexto e extração de regiões, antes da fase de classificação propriamente

dita. Nesse arquivo de contexto ficam armazenadas as informações: a) tipo de classificação por regiões; b) bandas ou imagens utilizadas; e c) imagem segmentada. Na fase de extração das regiões um algoritmo extrai os atributos estatísticos (médias e matrizes de covariância) do conjunto de regiões definido pela segmentação. Após isso, tem-se o início do processo classificatório, cujas imagens-fração (sombra ou solo) segmentadas são tratadas por um algoritmo de classificação não-supervisionado de agrupamento de dados (ISOSEG), onde a discriminação de classes tem como base os atributos estatísticos de região, dentro de certos limiares de aceitação pré-determinados iguais a 95% ou 90%, conforme a complexidade da paisagem investigada. Os temas resultantes da classificação foram então associados às classes definidas anteriormente no banco de dados, cujo resultado da identificação e do mapeamento das áreas desflorestadas pode ser apresentado no formato raster ou vetorial.

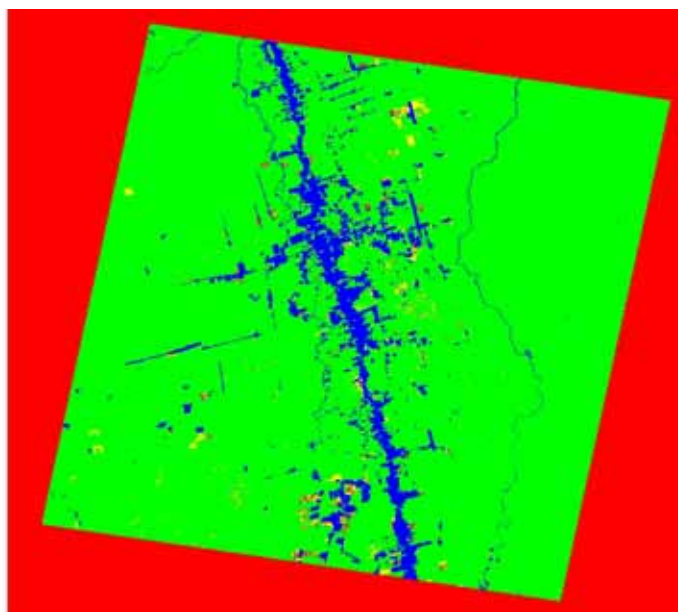


Figura 07 – Imagem Classificada

3.6 Edição e mosaicagem

Uma vez realizada a classificação de uma imagem por esse procedimento não supervisionado, torna-se necessário fazer uma pré-auditoria do mapeamento resultante. Essa etapa é denominada de “edição”, realizada por um fotointérprete, com a tarefa de analisar minuciosamente (diretamente na tela do computador tendo como plano de fundo, para comparabilidade, a imagem original em composição colorida) os polígonos

temáticos gerados pela operação conjunta de segmentação e classificação de determinada imagem-fração. Os polígonos mapeados são aceitos ou reclassificados em outras categorias de uso da terra, baseado na experiência desse fotointérprete, que avalia padrões e aspectos de contexto, além de, caso necessário, contar com dados históricos derivados do PRODES Analógico. Essa atividade de redefinição temática de polígonos é realizada em escala 1:100.000, de forma a preservar o detalhamento dos contornos do(s) segmento(s) que define(m) determinada classe. A fase de edição de temas, especialmente a ocorrência de nuvens e/ou de áreas de não-floresta, são normalmente editadas visualmente na tela do computador. Com a implementação do algoritmo de edição matricial no SPRING, observa-se maior eficiência no processo de edição feita pelo fotointérprete. Nesta edição matricial, a obtenção dos dados vetoriais, correspondentes aos polígonos editados, são obtidos através da aplicação do procedimento de conversão das informações do formato raster para vetorial.

Uma vez realizada a edição, cada imagem temática (carta-tema) é ordenada num banco específico, segundo as órbitas/pontos referenciais do satélite, para compor o mosaico da Amazônia Legal. Nesse processo de composição do mosaico, os PI de entrada que são as cartas-tema têm sua resolução espacial transformada em 120metros, para uma apresentação final de toda a Amazônia brasileira na escala de 1:2.500.000, pela grande quantidade de informações geradas na escala original do trabalho interpretativo. No caso do mosaico de cada Estado que compõe a Amazônia Legal, os PIs dos projetos carta-tema mantêm a resolução de 60 metros, porém a escala de apresentação é de 1: 500.000 (Figura 08).

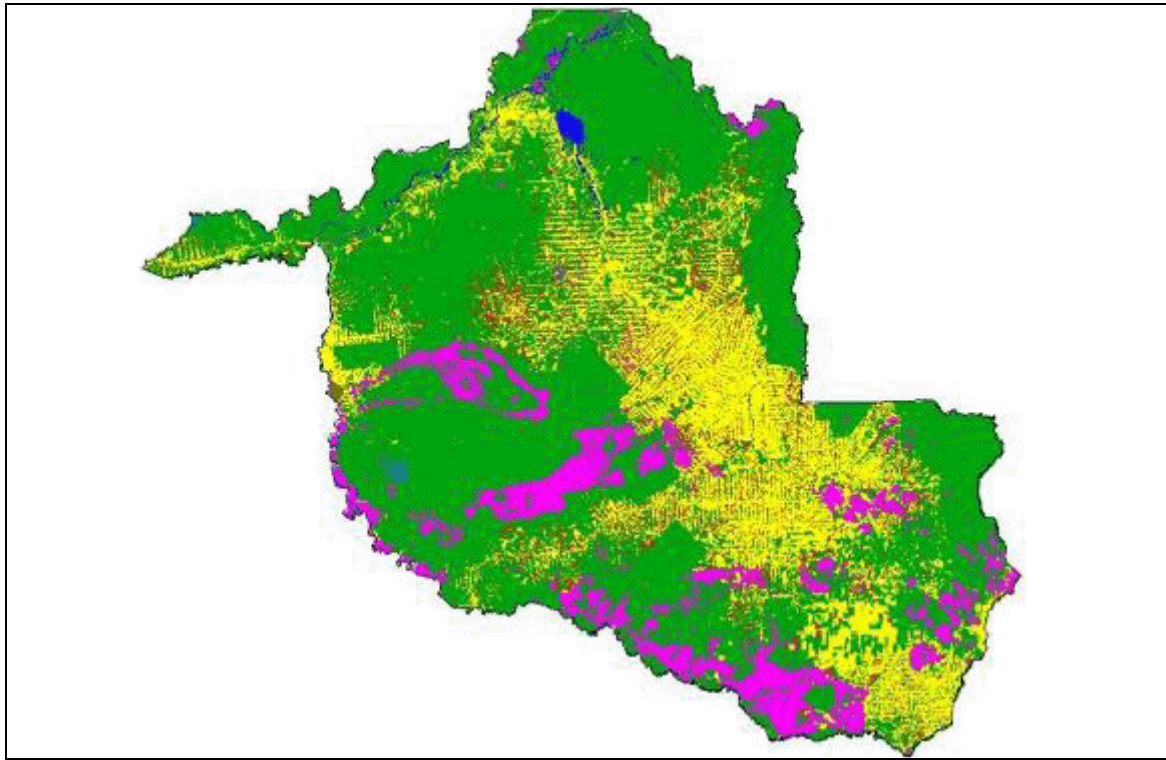


Figura 08 – Mosaico do estado de Rondônia com áreas de floresta (verde), desmatamento (amarelo) e áreas de cerrado (magenta).

3.7 Resultado desta fase

Esta fase produz dois resultados: (a) Os mapas digitais por órbita-ponto e mosaicos por estado, que são colocados na Internet para análise e conhecimento do governo e da sociedade; (b) Uma planilha com os seguintes dados para cada órbita-ponto, separados por estado:

- 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;
- **Fstclds:** área de floresta coberta por nuvens na imagem;
- **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.

A Tabela 2 mostra um exemplo dos resultados desta fase, onde são listadas algumas imagens com maior incremento do desmatamento em 2004 (km²).

TABELA 2 – Exemplo de dados para cálculo da taxa

pathrow	state	codigo	julnday	fstarea	dfsarea	increm	fstclds	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

Os cálculos posteriores (descritos nas seções 4 e 5) são realizados com base nesta planilha.

4 Efeito da cobertura de nuvens

Em muitas áreas da Amazônia, é impossível obter imagens sem cobertura de nuvens pelo menos parcial. Nestes casos, o INPE procura selecionar a imagem com menor cobertura de nuvens dentro da estação seca. Por exemplo, tome-se o caso da imagem 225/64, que cobre a chamada Terra do Meio no estado do Pará, durante o ano de 2002. Como mostra a figura 09, no período de 30/04/2002 a 23/10/2002, esta região esteve

parcial ou totalmente coberta por nuvens. O INPE escolheu para processar a imagem do dia 03/07/2002, cuja cobertura de nuvens estava mais restrita a uma única região da imagem.

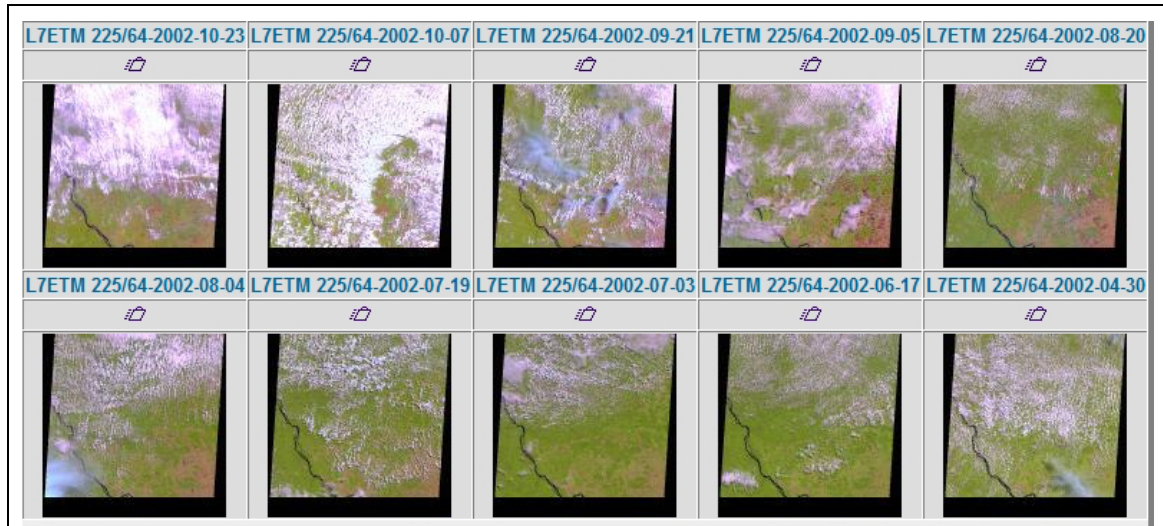


Figura 09 – Imagem LANDSAT órbita-ponto 225/64 durante o ano de 2002 e sua cobertura de nuvens.

Após o processamento da imagem como descrito na seção 3, 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 10.

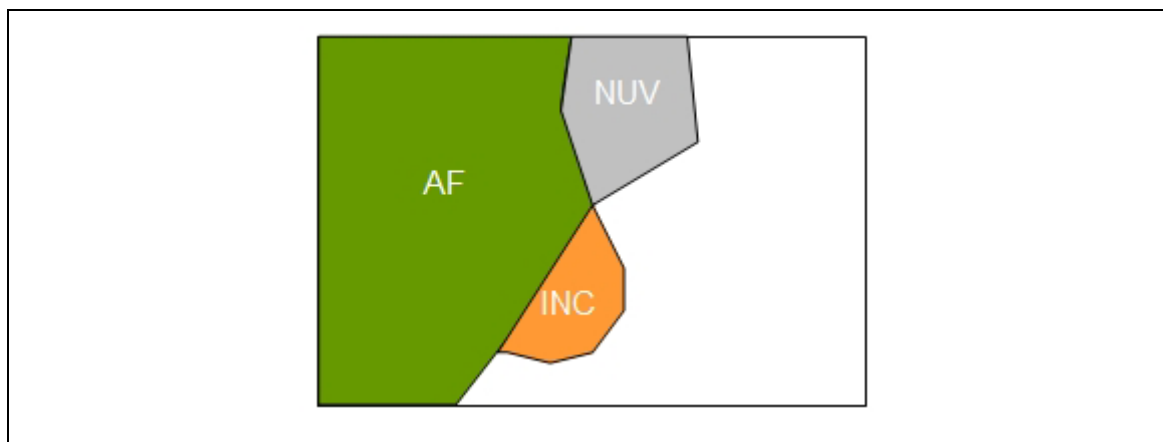


Figura 10 – Ilustração do procedimento de estimativa do desmatamento em área não observada.

Na Figura 10, 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, e 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,

$$inc_nuv = NUV * (INC / (AF + INC))$$

$$inc_tot = INC + inc_nuv + parcelas_dsf$$

$$parcelas_dsf = (dfcld_01/2 + dfcld_02/03 + dfcld_03/04 + \dots + dfcld_07/8)$$

onde cada parcela é calculada em função do número de anos onde supostamente o desmatamento ocorreu. Para $dfcld_01$ considera-se 2 anos, $dfcld_02$ considera-se 3 anos e assim sucessivamente.

Como exemplo, os dados na imagem órbita ponto 224/66, onde em 2004 foram identificados 12215km² de área de floresta remanescente, um incremento de 830 km², uma área de nuvens de 559 km², e uma área de desmatamento sobre nuvens por 1 ano de 19km². O incremento total estimado foi de 875 km².

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. Na Tabela 2 o recorte (área interpretada) é indicado pela coluna cod . Este procedimento foi adotado a partir de 2005 com o objetivo de reduzir ainda mais as incertezas ocasionadas por nuvens.

5 Cálculo da taxa de desmatamento

5.1 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 11, 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/mayo) até o dia juliano 242 (29/agosto). Estas imagens correspondem à região do Mato Grosso, Rondônia e Sul do Pará.

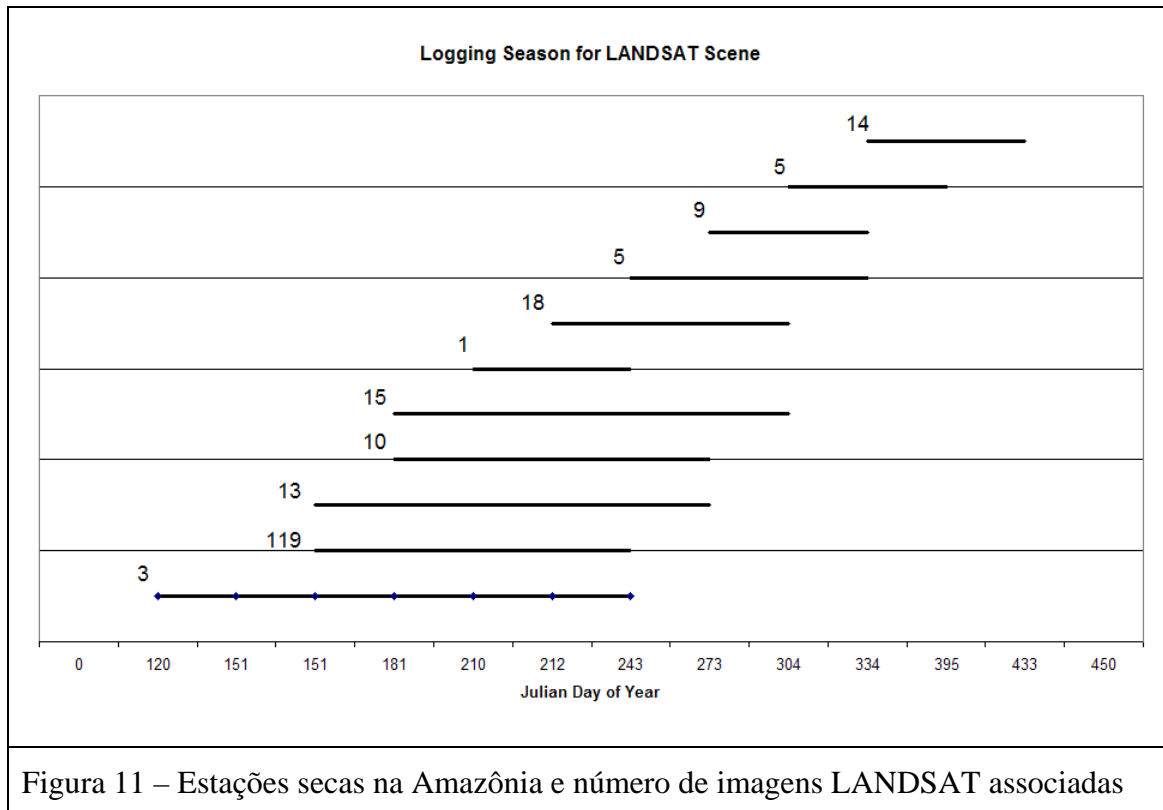


Figura 11 – Estações secas na Amazônia e número de imagens LANDSAT associadas

5.2 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 acima), 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 12). Os demais casos são calculados de maneira similar.

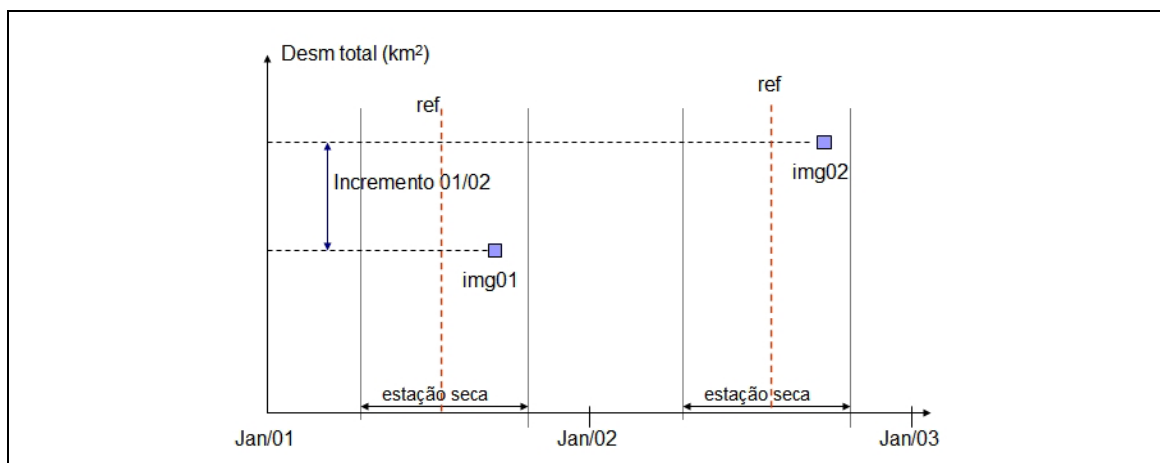
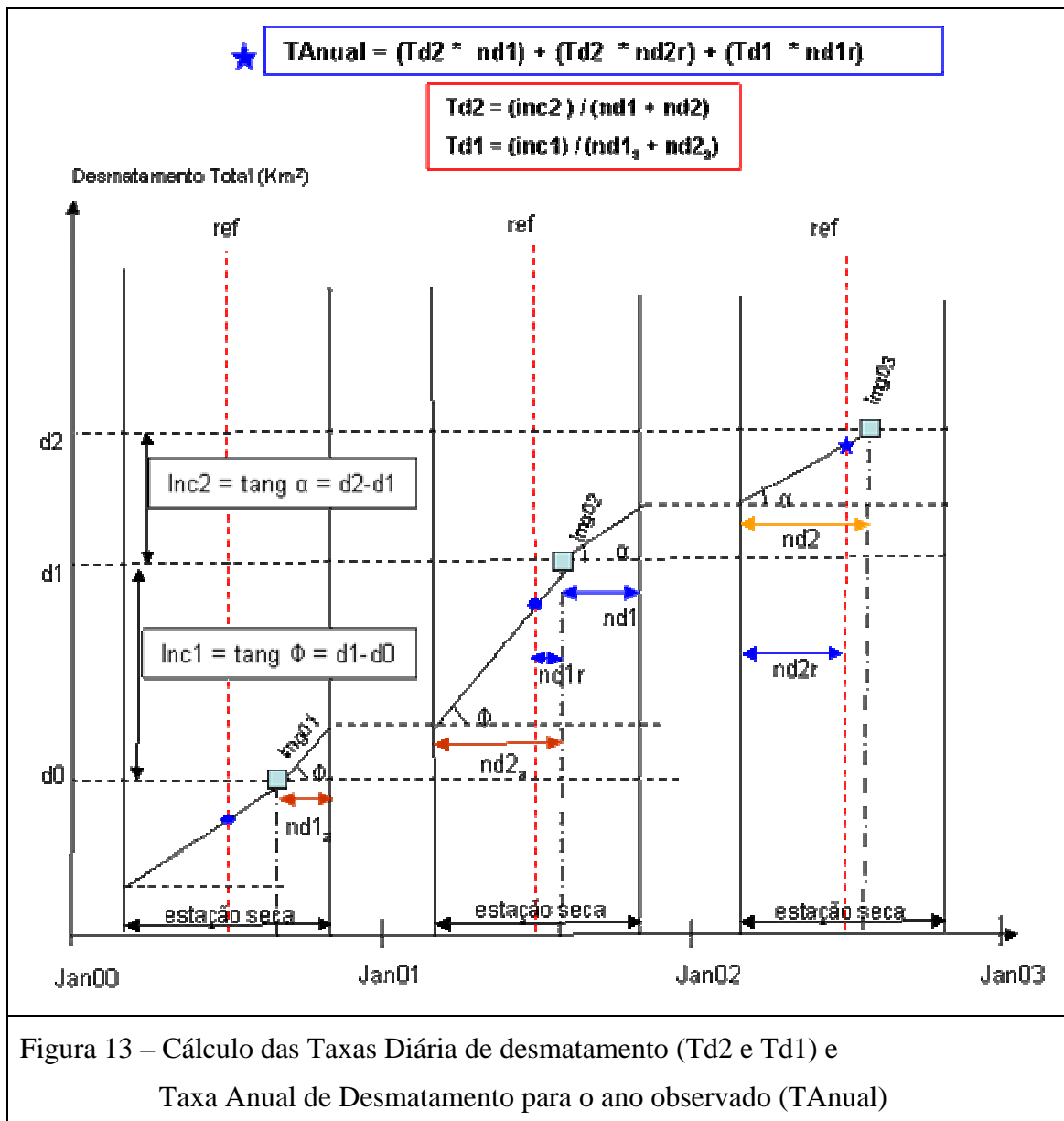


Figura 12 – Cálculo da taxa anual de desmatamento – passo 1: localização das imagens em relação à estação seca (*ref* é a data de referência).

Na figura acima, 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 13. Para o cálculo da taxa diária, divide-se o incremento observado pelo número de dias da estação seca entre as duas imagens.



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 3 – Dados de entrada - cena 22466

	pathrow	state	cod	julnday	fstarea	dfsarea	increm	fstclds	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 4 – Estimativa de Taxas de Desmatamento - cena 22466

	PathRow	Sta	ScId	Jul2	Jul1	Jul0	StClim	EndClim	Rate	Increm	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 com o procedimento apontado na seção 4, é 874.87 km². Com estes dados, pode-se calcular os parâmetros da equação anterior, mostrados na Tabela 4. Como se verifica, a taxa

estimada para 2004 é de 916.75 km². Esta taxa é superior ao incremento constatado (829 km²) porque a estimativa anual leva em consideração a incremento corrigido em função das nuvens existentes na imagem. Os dados apresentados na Tabela 4 são descritos como:

- Pathrow - órbita-ponto de cada imagem;
- State - 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 formula apresentada acima (TAnual)
- Increm - 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 $CorrInc$ 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.

$100 * [(RATE - Drate1 * ndr1) - CorrIncr] / CorrIncr > 50\%$

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

5.3 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 5 – 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 km² e para 2005 é 17.174 km². Do total (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 km²). Assim a taxa projetada em 2005 para as 216 imagens é de 18.831 km² (17.174*26.622/24.279). A mesma regra de três é usada para o cálculo das taxas projetadas por estado.

6 Aspectos da metodologia revisados

Para melhorar a metodologia do cálculo da taxa de desmatamento, foi necessário revisar os problemas da extrapolação para áreas embaixo de nuvens e do uso de imagens coletadas antes da data de referência. Considerando o histórico climatológico da Amazônia, para minimizar o problema das nuvens, foi necessário analisar um número muito maior de imagens e refazer a metodologia para permitir a inclusão de informação parcial de uma imagem. A idéia é processar apenas as partes de cada imagem que estejam livres de nuvens. Isto implica que para compor a área equivalente a uma cena LANDSAT podem ser utilizadas mais de uma imagem (inclusive de satélites diferentes). O objetivo é reduzir tanto a extrapolação para a área sob nuvens, quanto a incerteza associada a não termos imagens próximas à data de referência. Na prática, isto implica que em vez de processar cerca de 150 cenas LANDSAT por ano, seriam processadas entre 300 a 400 cenas por ano. O PRODES mais que dobra, em termos de homens-hora. Isto representa um custo adicional.

7 Conclusões

Este documento apresentou o procedimento para cálculo da taxa de desmatamento da Amazônia revisado em 2005. Este procedimento é resultante de décadas de experiência do INPE no uso de imagens de sensoriamento remoto e de análise destas imagens para o monitoramento da perda de floresta primária na Amazônia Legal por corte raso.

Hoje o INPE fornece ao governo e à sociedade brasileira toda a informação temática produzida pelo PRODES digital sobre a localização e extensão dos eventos de desmatamento na Amazônia Legal através da divulgação dos resultados pela Internet no site www.obt.inpe.br/prodes.