

DOCUMENTO TÉCNICO –Análise de mudança de do Uso da Terra / Cobertura Vegetal na Terra Indígena Sete de Setembro, período 2012 - 2013

**Heberton Barros
Claudia S.Vitel
Pedro G. Soares
Gabriel C. Carrero**



1. Objetivo

Este documento técnico descreve a metodologia utilizada para na classificação supervisionada de imagens de satélite para a obtenção da matriz de mudança do uso da terra na Terra Indígena Sete de Setembro no período de 2012 a 2013. Os resultados deste trabalho serviram de base para o “Relatório de Verificação do Projeto Carbono florestal Suruí 2013”.

2. Materiais e Métodos

2.1. Imagens de Satélites

Foram utilizadas imagens do sensor Landsat 8 TM com resolução espacial de 30m (1 pixel = $30 \times 30\text{m} = 900\text{m}^2$) para o ano de 2013. Para o ano de 2012, foi utilizado o mosaico de imagens do satélite ResourceSat 1, com 23,5m de resolução espacial (1 pixel = $24,3 \times 24,3\text{m} = 552,25\text{m}^2$), Tabela 01. A TISS é composta por duas cenas do satélite Landsat-8, cujos pontos/órbitas são 230/068 e 230/067. As duas imagens do satélite ResourceSat cobrem toda a TI. Todas as imagens utilizadas são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais¹. É importante salientar que o satélite ResourceSat 1 possui sensibilidade aos comprimentos de onda nas diferentes bandas similar ao Landsat 8 TM. As respostas espectrais dos diferentes alvos se comportam de forma similar nas imagens obtidas pelos dois Satélites².

Para o processo de classificação foi utilizada apenas a cena 230-068 do satélite Landsat 8, que inclui mais de 95% da área da TISS. A porção coberta pela imagem 230/067 é composta por floresta onde não foi verificado desmatamento ou outra classe de uso da terra através da interpretação visual das imagens observadas entre 2000 e 2009 e do sobrevoo realizado em 2010.

Tabela 01. Dados das imagens utilizadas para a definição das Classes de Uso da terra.

Vector (Satellite)	Sensor	Resolution		Coverage (km ²)	Acquisition date (DD/MM/YY)	Scene or point identifier	
		Spatial	Spectral			Orbit	Point
Landsat 8	TM	30m	0,43 - 12,51 µm	34.225,00	28/07/2013	230	068
Resourcesat-1	LISS III	23,5m	0,52 - 1,7 µm	19.881,00	07/07/2012	314	084
Resourcesat-1	LISS III	23,5m	0,52 - 1,7 µm	19.881,00	12/07/2012	315	084

¹ Imagens disponíveis para Download no site: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Em decorrência da desativação do satélite Landsat-5 em Novembro de 2011, foram utilizadas imagens do satélite ResourceSat-1 para o ano de 2012, pois possui resolução espectral e espacial similar ao Landsat-5.

² <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/ir-p6.html>

2.2. Pré-processamento

O pré-processamento das imagens constou do registro de cada uma das cenas, utilizando como referência o mosaico orto-retificado Geocover Landsat adquirido junto a University of Maryland³

Para a correção atmosférica das cenas do satélite Landsat e Resourcesat foi utilizado o algoritmo disponível na ferramenta QUAC – Quick Atmospheric Correction presente no software ENVI 4.7 (Bernstein, 2005).

As imagens de saída da correção atmosférica são convertidas em reflectância com valores escalonados entre 0 e 1.

2.3. Pré-classificação

2.3.1. Pontos de Verdade de Campo

Foram coletados pontos de amostragem de campo para definir os padrões de resposta espectral das diferentes classes de uso da terra, obtidos durante as campanhas de campo para o Inventário Florestal da TISS (outubro/novembro de 2010 e março/abril de 2011).

Para a classe “Queimadas” foram coletados pontos de amostragem de campo em Novembro de 2012, pois foi verificada a ocorrência de incêndios catastróficos fora dos padrões de queimadas observados durante a construção da linha de base do PCFS.

Os pontos foram coletados com um GPS (Garmin 76Csx) o mais próximo possível do centro de um polígono representativo de cada classe de uso da terra. No total, foram coletados 143 pontos de controle de campo (Tabela 02).

Tabela 02. Número total de pontos coletados para cada Classe de Uso da terra.

LUC	Ground Truth Points
Queimadas	38
Capoeira	37
Solo Exposto (Pastagem + Área Degradadas + Agricultura)	68
Total	143

Para as classes de uso da terra "Floresta e Hidrografia", não foram utilizados pontos de verdade de campo, pois a interpretação visual das imagens, associada a análise da resposta espectral foi suficiente para definir os limiares de separação entre as classes.

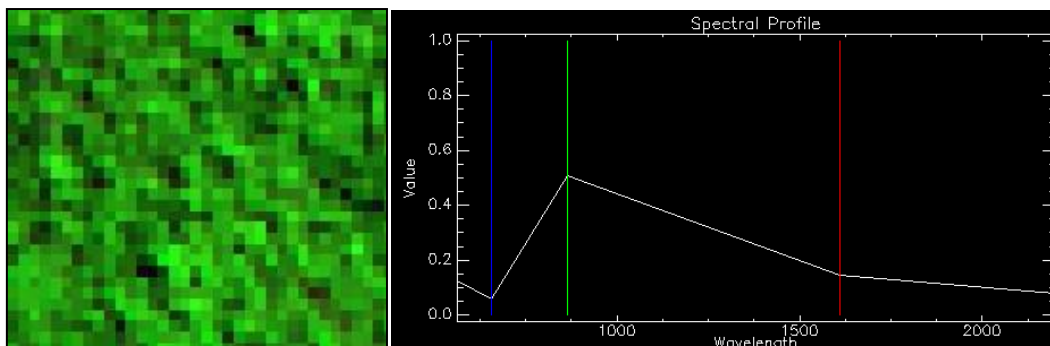
2.3.2. Padrões de Resposta Espectral

A partir dos pontos coletados em campo e com base em bibliotecas espectrais de referência para o satélite Landsat (e.g. Lima, 2009), foram adotados os padrões de respostas espectrais correspondentes a cada classe de uso da terra.

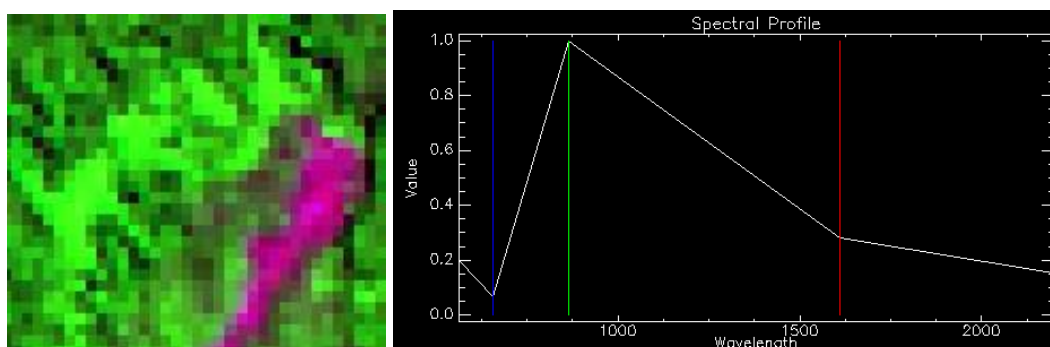
³ <http://www.landcover.org>.

Abaixo estão apresentados os padrões de respostas espectrais para construir as Regiões de Interesse (ROIs) utilizadas no treinamento do classificador para cada classe de uso da terra na TISS.

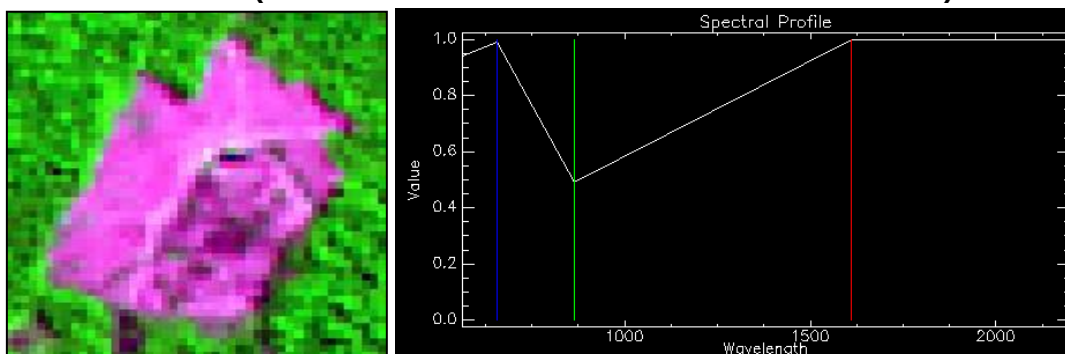
FLORESTA



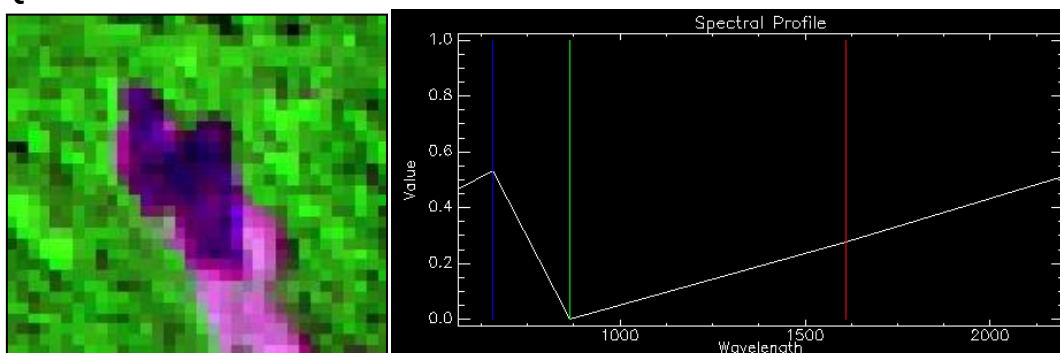
CAPOEIRA



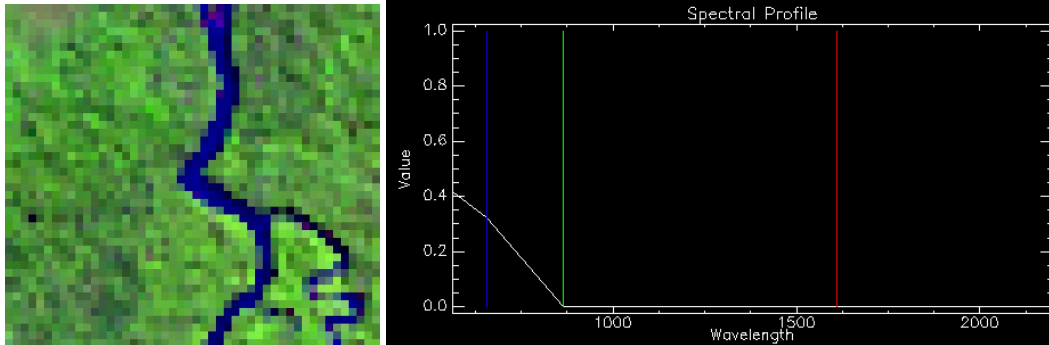
SOLO EXPOSTO (PASTAGEM + SOLO EXPOSTO + AGRICULTURA)



QUEIMADA



HIDROGRAFIA



2.4. Classificação

Foi utilizado o programa ENVI 4.7 e o classificador "Maximum Likelihood" ou de máxima verossimilhança com a opção 100% dos pixels classificados. A partir da definição de amostras espectrais (ROIs) pré definidas para cada classe de uso da terra, o classificador atribui os dados de reflectância do pixel uma probabilidade máxima de pertencer a uma determinada classe. Os pixels analisados são associados à classe de maior probabilidade dentre um conjunto finito de classes possíveis.

No ENVI 4.7, a classificação é realizada pela seguinte função proposta por Richards (1999):

$$g_i(x) = \ln p(w_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - m_i)$$

onde:

i = classe

x = dado n -dimensional (onde n é o número de bandas);

$p(w_i)$ = probabilidade de que a classe w_i ocorre na imagem e é assumido o mesmo pra todas as outras classes;

$|\Sigma_i|$ = determinante da matriz de covariância dos dados na classe w_i ,

Σ_i^{-1} = sua matriz inversa;

m_i = média de vetores.

2.5. Pós-classificação

Após a classificação foi aplicado um filtro do tipo "Majority 3x3" com a finalidade de agrupar pixels isolados aos polígonos adjacentes pertencentes a uma classe. Em seguida, os resultados foram recortados dentro da área de interesse ou "*Região de Referência*" do PCFS.

As imagens obtidas em formato *raster* foram segmentadas no software ENVI 4.7. Posteriormente, no programa ArcGis 10.1 foram calculadas as áreas de cada

polígono, sendo suprimidos os polígonos de tamanho inferior a um hectare, conforme a Unidade Mínima de Mapeamento (MMU⁴) definida para o Brasil.

Uma vez obtidos os polígonos dentro de cada classe, uma análise de mudanças foi conduzida para extrair as áreas de conversão do uso da terra.

Foi aplicada uma máscara com as áreas de uso definidas originalmente pelo projeto com a incorporação das mudanças de uso da terra observadas no primeiro período de verificação entre 2009 – 2012, desta forma, evitando a dupla contabilidade do desmatamento dentro da TISS.

2.6. Análise de mudanças

Foram atribuídos valores a cada classe nos arquivos vetoriais e em seguida convertidos para arquivos no formato raster, onde cada pixel representa uma classe de uso da terra com seu respectivo valor atribuído.

A análise de mudanças do uso da terra foi realizada através da subtração de mapas de anos consecutivos. A tabela 03 apresenta os valores atribuídos a cada classe, bem como os valores para cada transição esperada no resultado da álgebra de mapas.

Tabela 03. Transição entre classes de uso da terra, saída da álgebra de mapas após subtração entre os anos em análise.

2012 / 2013	LULC	Floresta	Capoeira	Solo Exposto	Queimadas
LULC	Valores Atribuídos	1	2	3	4
Floresta	10000	9999	9998	9997	9996
Capoeira	1000	999	998	997	996
Solo Exposto	100	99	98	97	96
Queimadas	10	9	8	7	6

Interpretação dos Resultados:

 **Diagonal Principal** (9, 98, 997, 9996) - Não houve mudança de uso da terra.

 **Acima da Diagonal Principal – Classes de Desflorestamento e Degradação**
Desflorestamento (9997) - Houve corte raso, conversão de florestas para pastagens, agricultura e abertura de aldeias.
Queimadas (9996) - Área de Florestas afetadas por queimadas com dossel afetado,

⁴ MMU - Deve seguir a metodologia VM0015 do Verified Carbon Standards, a qual determina que o MMU deve ser igual ou superior a menor unidade de área definida como floresta dentro do país que abrange a área de referência do projeto. No Brasil a Agência Nacional Designada (DNA) para isso é o MCT, o qual define como área mínima de floresta a porção de 1 ha de terra.

com exposição do solo e diminuição da cobertura florestal.

Degradação (9998) – Degradação ocasionada pelo efeito de borda e morte de árvores grandes nas áreas atingidas por incêndios florestais e em processo de regeneração.

Abaixo da Diagonal Principal – Classe de Regeneração

Regeneração (9 e 8) - Áreas em processo de regeneração afetadas por incêndio onde não houve perda total da cobertura florestal ou conversão de florestas para pastagens e agricultura.

Regeneração (99 e 98) - Áreas em processo de Regeneração onde houve perda parcial / total da cobertura florestal, contudo não foi observada conversão de uso da terra para atividades antrópicas.

Foi considerando que uma floresta derrubada não pode voltar a ser uma floresta primária no período da análise (2012-2013). Para não considerar as transições que já teriam ocorrido, foi aplicada uma máscara do desflorestamento anterior ao mapa analisado (e.g. quando foram analisadas as mudanças entre os anos de 2011/2012, uma máscara do desflorestamento ocorrido entre os anos de 2010 e 2011 foi aplicada ao resultado da subtração).

3. Resultados

3.1. Resultados da Análise de Mudanças

Para facilitar a interpretação da dinâmica do uso da terra dentro no contexto do PCFS, as áreas foram quantificadas separadamente entre: *Área do Projeto (PA – Project Area)* e *Cinturão de Vazamento (LK – Leakage Belt)*⁵.

É importante salientar, que embora apresentado os resultados encontrados para a classe “Capoeira”, os mesmos não foram contabilizadas nos cálculos de créditos gerados. Não comprometendo o projeto a reduzir ou aumentar os créditos em função da perda / incremento na área de capoeira⁶.

No período de monitoramento 2012-2013 foram verificados 86,5 ha convertidos para pastagens e 23,1 ha para a abertura de roçados na área do projeto e 6,4 ha no cinturão de vazamento. Totalizando 116,0 há convertidos de florestas para outros usos da terra.

Como consequência dos incêndios que atingiram a TISS no ano de 2010⁷, observamos que cerca de 296,4 ha encontram-se em processo de degradação dentro da área do projeto, e outros 31,3 ha se encontram em processo de degradação dentro do cinturão de vazamento.

Para a mesma situação, observamos que 218,7 ha se encontram em processo de regeneração dentro da área do projeto, e 142,7 ha dentro do cinturão de vazamento, Tabela 4.

⁵ No documento “*Suruí Forest Carbon Project monitoring report 2.0*” pode ser encontrado a interpretação do impacto dos resultados no contexto do PCFS.

⁶ As capoeiras foram analisadas para obter a taxa de reuso destas áreas ao longo do tempo. Esta classe faz parte do projeto de pesquisa da doutoranda *Claudia Suzanne Marie Nathalie Vitel*, INPA / GEEFT, informação esta utilizada no projeto de concepção.

⁷ Verificar o relatório de monitoramento do uso da terra 2009-2012, e a nota técnica dos eventos catastróficos que ocorreram durante este período.

Tabela 04. Áreas de mudança de uso da terra na TISS entre os anos 2012 e 2013 (em hectares).

Classe / Ano	2012 - 2013	
	PA	LK
Desflorestamento		
Conversão Pastagens	86.5	
Conversão Roçados	23.1	6.4
Total	109.6	6.4
Queimadas (2010 - 2011)		
Degradação (Floresta - Capoeira / SoloExposto)	296.4	31.3
Regeneração	218.7	142.7

No primeiro ano de monitoramento após os incêndios foi observada a regeneração da floresta com o lançamento de folhas novas pelas árvores maiores (>DAP), uma resposta da vegetação na tentativa de sobrevivência das árvores. Isto faz com que o solo seja encoberto, com estas áreas queimadas sendo enquadradas na “classe florestas”.

Observamos em algumas destas áreas a degradação da floresta ocasionada pela morte de árvores grandes em um período de dois a três anos após os incêndios, processo este intensificados pelos efeitos de borda. Como resultado estas áreas passam a ser classificadas como capoeiras e/ou solo exposto no processamento das imagens (Anexo I - Figuras 1 a 6).

3.2. Avaliação da acurácia da classificação

A avaliação da acurácia da classificação foi realizada na imagem de 2013, seguindo recomendações da VM0015 v1.1. (Parte 2, passo 2.5 – Avaliação da Precisão do Mapa).

Os pontos utilizados para avaliação da acurácia foram coletados durante a verificação de campo em Julho de 2014 e das etapas de verificação que ocorreram no ano de 2013⁸ referente ao período de verificação do projeto 2009-2012.

Para a coleta de pontos, foram tomados os centros dos polígonos como referência para localização em campo de uma determinada classe de interesse. Estes polígonos correspondem as mudanças de uso da terra detectados nesta análise.

⁸ Em 2013 foi realizada a verificação em campo da mudança de uso da terra na TI Sete de Setembro referente ao período de verificação de 2009-2012, sendo utilizados pontos coletados para a verificação da classificação da imagem do mesmo ano.

Tabela 05. Número total de pontos coletados em campo para cada Classe de Uso da terra.

Classes de uso da terra	Pontos por classe
Floresta	21
Vegetação Antropizada em Equilíbrio	75
Total	96

3.3. Matriz de Confusão e Acurácia

Com as informações de verdade de campo em mãos foi gerada a matriz de confusão proposta por Congalton (1991) onde é expressa a acurácia: Global, da Produção, do Usuário, bem como os erros de omissão e comissão. A acurácia global foi de **81,25%**, valor que satisfaz os requisitos da metodologia VM0015 v1.1. Nas tabelas 06, 07 e 08 a seguir estão expressos os resultados da análise de acurácia.

Tabela 06. Matriz de confusão gerada a partir da verificação dos resultados em campo.

Dados do Mapa	Dados de Referência			
	Floresta	Vegetação Antropizada em Equilíbrio	Total Geral	User's Accuracy
Floresta	19	16	35	54.29%
Vegetação Antropizada em Equilíbrio	2	59	61	96.72%
Total Geral	21	75	96	Overall Accuracy
Producer's Accuracy	90.48%	78.67%	Overall Accuracy	81.25%

Tabela 07. Resultados das análises de acurácia de produção e do usuário.

Classe de Uso do Solo	Producer's Accuracy	User's Accuracy
Floresta	90.48%	54.29%
Vegetação Antropizada em Equilíbrio	78.67%	96.72%

Tabela 08. Resultados da análise dos erros de Omissão e Comissão.

	Omission	Comission
Floresta	9.52%	45.71%

Vegetação Antropizada em Equilíbrio	21.33%	3.28%
-------------------------------------	--------	-------

4. **Bibliografia**

Bernstein, L. S., S. M. Adler-Golden, R. L. Sundberg, et al, 2005. Validation of the QUick atmospheric Correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi- and hyperspectral imagery. SPIE Proceedings, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI. Vol. 5806, pp. 668-678.

Congalton, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment. 37: 35-46.

Lima, R.N.S. 2008. Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas no mapeamento e análise de fragmentos florestais no município de Juiz de Fora- MG em 1987 e 2008. Dissertação de Mestrado. UFJF - Juiz de Fora, MG.

Richards, J.A. 1999. Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.

ANEXO I -REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura 1. Aspecto de uma área atingida pelos incêndios de 2010 onde houve a degradação da floresta pela morte das grandes árvores e perda completa do dossel – Aldeia Gahere.



Figura 2. Nestas áreas degradadas pelos incêndios onde houve a exposição do solo, pode ser observada a dominância de samambaias na regeneração, espécies agressivas conhecidas por colonizar áreas degradadas com solos pobres, drenados e ácidos.



Figura 3. Perfil de manchas de florestas nas áreas atingidas pelos incêndios de 2010 onde sobreviveram as árvores maiores preservando parte da cobertura do dossel – Aldeia Gahere.



Figura 4. Aspecto da floresta em regeneração 4 anos após os incêndios de 2010 – Aldeia Gahere.



Figura 5. Aspecto da floresta em regeneração 4 anos após os incêndios de 2010 – Aldeia Gahere.



Figura 6. Área degradada pelos incêndios de 2010 hoje ocupada por capoeiras –2 Aldeia Gahere.



Figura 7. Área atingida pelo incêndio em 2010 com perda total do dossel. Presença de capoeiras com até dois metros de altura – Aldeia Bethel.



Figura 8. Área atingida pelo incêndio em 2010 com perda total do dossel. Presença de capoeiras com até dois metros de altura – Aldeia Bethel.



Figura 9. Ponto de Verificação DF-01-KAB-2013. Áreas convertida para agricultura entre 2012 e 2013 - Aldeia Kabaney, Linha 15.



Figura 10. Ponto de Verificação DEG-03-NAG-2013. Área queimada para conversão pra pastagens. Embora possa ser observada a formação de capoeiras com até 5 metros de altura, estas áreas foram incluídas no cálculo de conversão, uma vez que existem evidências de intensão de derrubada dessas capoeiras para a formação de pastagens – Aldeia Nagachip, Linha 7.



Figura 11. Áreas convertidas para Pastagens – Aldeia Nagachip – Linha 07.