

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**VANELLY ERICA SOUSA NASCIMENTO**

**MAPEAMENTO DO AVANÇO DOS PROCESSOS DE DESMATAMENTO NA  
REGIÃO DA FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS, PARÁ, BRASIL**

**Itaqui**

**2016**

**VANELLY ERICA SOUSA NASCIMENTO**

**MAPEAMENTO DO AVANÇO DOS PROCESSOS DE DESMATAMENTO NA  
REGIÃO DA FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS, PARÁ, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa, campus Itaqui, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Dr. Sidnei Luís Bohn Gass

**Itaqui**

**2016**

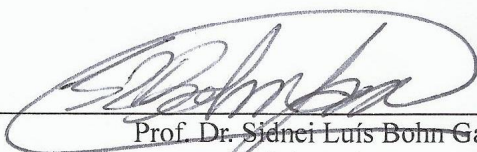
**VANELLY ERICA SOUSA NASCIMENTO**

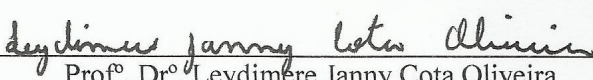
**MAPEAMENTO DO AVANÇO DOS PROCESSOS DE DESMATAMENTO NA  
REGIÃO DA FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS, PARÁ, BRASIL**

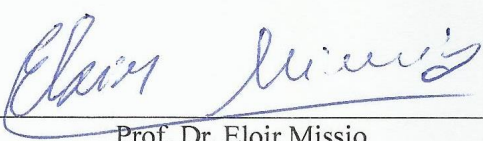
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa, campus Itaqui, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Ciência e Tecnologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 21/11/2016

Banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass  
Orientador  
Unipampa Campus Itaqui

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leydimere Janny Cota Oliveira  
Unipampa Campus Itaqui

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eloir Missio  
Unipampa Campus Itaqui

## RESUMO

O sensoriamento remoto tem se tornado de extrema importância para o monitoramento do ecossistema com o objetivo de preservação do meio ambiente. O acompanhamento é executado pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI), sendo estas as ferramentas mais utilizadas para tal vigilância. O estudo foi realizado pela análise de imagens de satélite do Landsat5, Landsat7 e Landsat8 na região da Floresta Nacional de Carajás, localizada no sudoeste do Pará, Brasil. A área possui aproximadamente 400 mil hectares e possui uma extensa biodiversidade, além de uma grande riqueza mineral. O objetivo desse projeto foi identificar os processos de avanço do desmatamento no entorno da Floresta Nacional de Carajás e no seu interior através da análise de produtos de sensoriamento remoto e pela comparação entre os dois índices de vegetação, a fim de concluir qual deles produz melhores resultados. O índice mais utilizado em estudos desse cunho é o NDVI, que possui um intervalo de -1 a 1, variando com a densidade de vegetação. Sua melhora culmina no SAVI, que em sua equação é adicionada uma constante L. Fez-se necessário elaborar classes diferentes para os índices de vegetação e para cada imagem, com a finalidade de ajustar o melhor possível para obter resultados mais adequados. Contudo, ocorreram algumas imprecisões que precisam ser ajustados em estudos futuros.

Palavras-Chave: sensoriamento remoto; índice de vegetação; NDVI; SAVI.

## ABSTRACT

Remote sensing has become of extreme importance for the monitoring of the ecosystem in order to preserve the environment. Monitoring is executed out by the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Adjusted Vegetation Index for Soil (SAVI), which are the most used tools for such monitoring. The study was carried out in the satellite image analysis of Landsat5, Landsat7 and Landsat8 at Carajás National Forest region, located in the southwest of Pará, Brazil. An area of about 400 thousand hectares and has an extensive biodiversity, besides to great mineral wealth. The objective of this project was to identify the processes of advancement of deforestation inside and around the Carajás National Forest, through the analysis of remote sensing products and the comparison between the two vegetation index, in order to conclude which one produces better results. The most used index in studies of this kind is NDVI, which has a range of -1 to 1, varying with the density of vegetation. Its improvement culminates in SAVI, which in its equation is added a constant L. It was necessary to elaborate different classes for vegetation indexes and for each image, in order to adjust the best possible to obtain more adequate results. However, there have been some inaccuracies that need to be adjusted in future studies.

Keywords: remote sensing, vegetation index, NDVI, SAVI.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. JUSTIFICATIVA.....	11
3. OBJETIVOS.....	11
3.1 Objetivo geral.....	11
3.2 Objetivos específicos.....	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	20
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

## 1 INTRODUÇÃO

A Floresta Nacional de Carajás é uma unidade de conservação que compõe o Mosaico de Carajás. Foi criada por meio do Decreto Federal 2.486, de 02 de fevereiro de 1998 com uma área de aproximadamente 400 mil hectares abrangendo os municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte que ficam localizados no Estado do Pará, como pode ser observado na figura 1. A Floresta apresenta grandes interesses ambientais, em especial o extrativismo vegetal e mineral (STAU e SCUPINO, 2016).

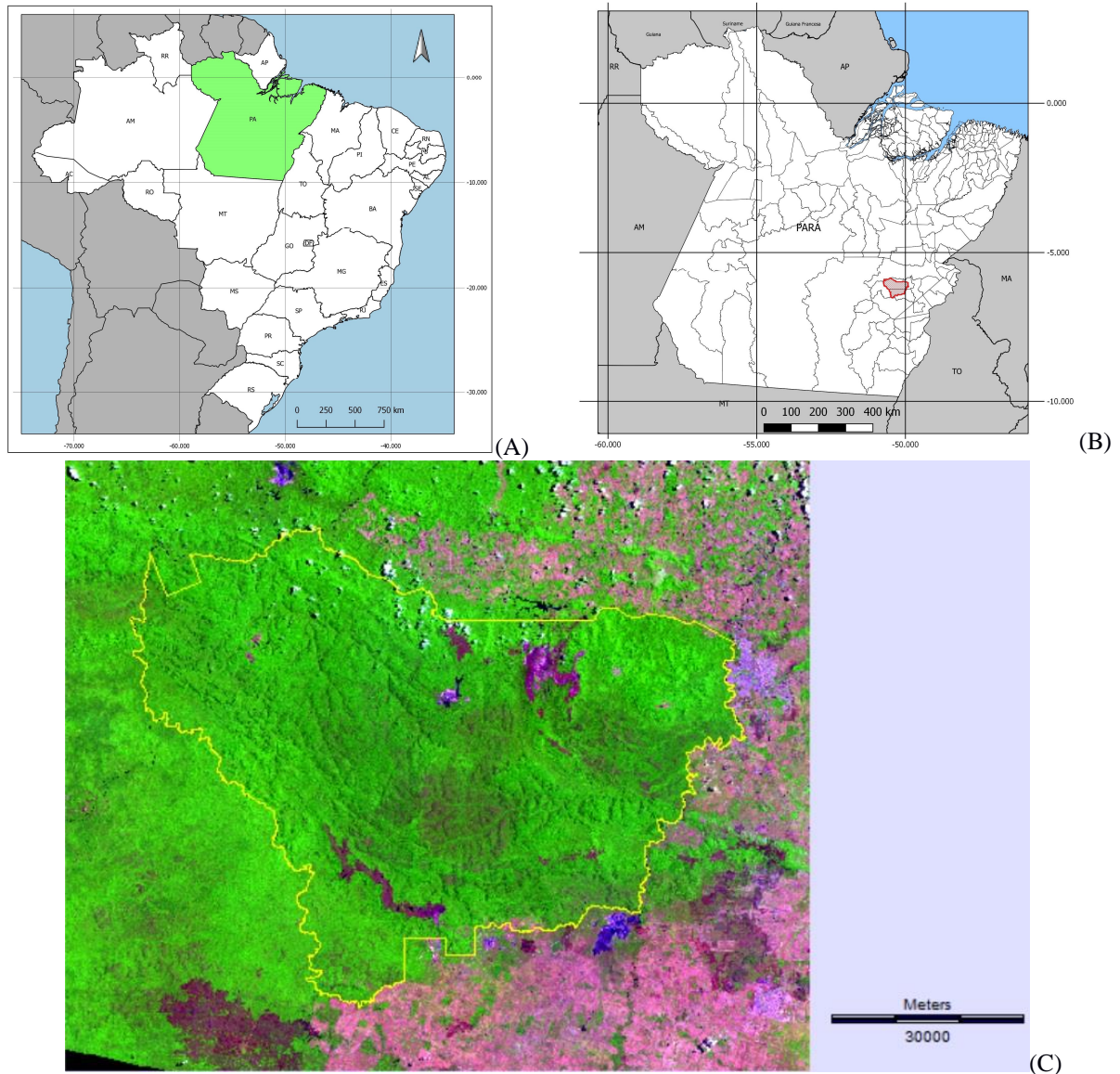
Na Floresta é feito o uso sustentável, em que se permite fazer a coleta e o uso de seus recursos naturais. Essas e quaisquer outras atividades devem ser feitas com o mínimo de impacto possível, e medidas mitigadoras e compensatórias devem ser definidas para promover a restauração ou recuperação das áreas afetadas, e não apenas para reduzir o impacto. Programas de pesquisa e de conservação específicos são essenciais para que os planos mitigatórios sejam executados, os programas geralmente motivam ações voluntárias dos empreendedores que atuam na região, como a Vale, por exemplo (STAU e SCUPINO, 2016).

A região possui uma grande riqueza mineral e esse fato atraiu muitas pessoas para os municípios próximos na década de 1980. No interior da Floresta Nacional de Carajás são realizadas diversas ações de pesquisas científicas, conservação, visitação, e proteção de animais em risco de extinção em especial as aves.

Também é nesta Unidade de Conservação que existe o maior projeto de mineração do Brasil, onde são exploradas diariamente toneladas de Ferro, Ouro, Manganês, Granito e Cobre (STAU e SCUPINO, 2016).

No Brasil existe o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, mais conhecido como SNUC, instituído pela lei 9.985/2000 (BRASIL, 2000), cujo objetivo principal é conciliar uma melhor preservação do meio ambiente e o seu uso de forma sustentável. O SNUC visa além de conservar os ecossistemas e a biodiversidade, a geração de renda, emprego desenvolvimento e uma melhora na qualidade de vida da população local (MMA, 2016).

Figura 1 – Localização da área de estudo



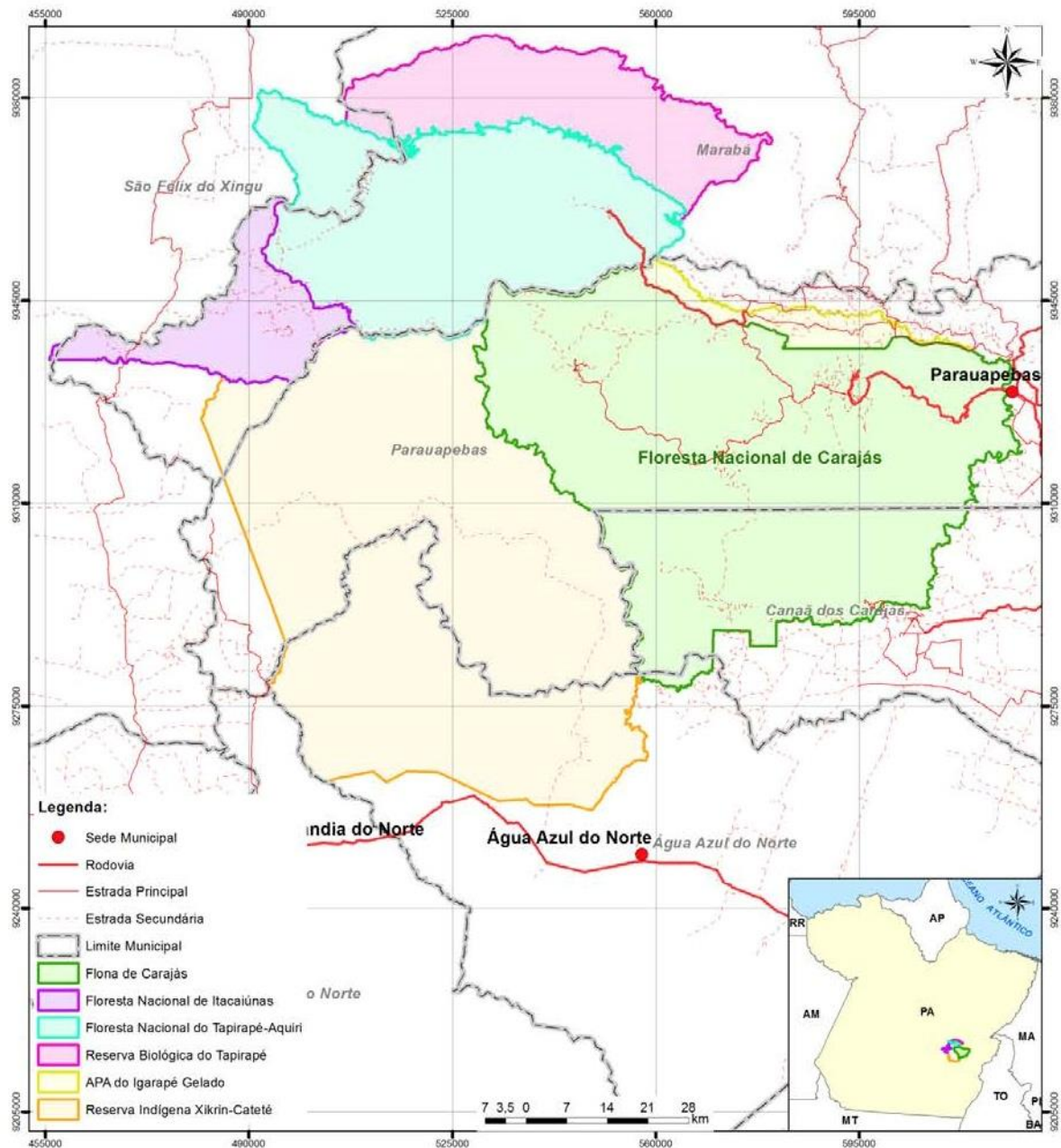
(A) Localização do estado do Pará (B) Localização da Floresta Nacional de Carajás (C) Composição colorida 6-5-4 em RGB da imagem Landsat 8, de 12/09/2016, da região da Floresta Nacional de Carajás  
 Fonte: dados do IBGE e do Ministério do Meio Ambiente

Na região da Serra dos Carajás existe um conjunto de Unidades de Conservação, que compõem o mosaico de Carajás, como pode ser observado na figura 2, de diferentes categorias de manejo: a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí (192.550 hectares), a Reserva Biológica de Tapirapé (99.700 hectares), a Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado (20.640 hectares), a Floresta Nacional de Carajás (392.725 hectares), a Reserva Indígena Xikrin do Cateté (439.151 hectares) e a Floresta Nacional de Itacaiúnas (82.450 hectares), que formam um bloco contíguo de 1,31 milhões de hectares. Isso possibilita um melhor monitoramento da região o que ajuda na conservação da paisagem e da biodiversidade, através da proteção mais eficiente contra caça, retirada ilegal de madeiras, invasões,



garimpagem e incêndios florestais. Também potencializa o uso racional dos recursos naturais, pois numa mesma região podem ser delimitadas áreas para o extrativismo vegetal, pesquisa, projetos agroflorestais, mineração, manejo florestal, conservação solo, da água e da biodiversidade (ROLIM et.al., 2006; STAU e SCUPINO, 2016).

Figura 2 ó Mosaico de áreas protegidas de Carajás



Fonte: Stau & Scupino, 2016.

O modelo tradicional da ocupação da Amazônia tem levado a um significativo aumento do desmatamento na Amazônia Legal, sendo este um fenômeno de natureza bastante complexa, que não pode ser atribuído a um único fator (ALENCAR et al., 2004).

As questões mais urgentes em termos da conservação e uso dos recursos naturais da Amazônia dizem respeito à perda em grande escala de funções críticas da Amazônia frente ao avanço do desmatamento ligado às políticas de desenvolvimento na região, tais como especulação de terra ao longo das estradas, crescimento das cidades, aumento dramático da pecuária bovina, exploração madeireira e agricultura familiar (mais recentemente a agricultura mecanizada), principalmente ligada ao cultivo da soja e algodão (FEARNSIDE, 2003, ALENCAR et al., 2004 e LAURANCE et al., 2004).

O INPE, através do projeto PRODES, monitora a Amazônia Legal e desde 1998 produz anualmente taxas de desmatamento na região que vem ser de grande valia para o governo brasileiro na questão de avaliação e estabelecer políticas públicas para o controle do desmatamento ilegal (INPE, 2016).

Esse aumento das atividades econômicas em larga escala sobre os recursos da Amazônia legal brasileira tem aumentado drasticamente a taxa de desmatamento que, no período de 2002 e 2003, foi de 23.750 km<sup>2</sup>, a segunda maior taxa já registrada nessa região, superada somente pela marca histórica de 29.059 km<sup>2</sup> desmatados em 1995 (INPE, 2004).

Em 2016 houve um aumento de 29% em relação ao ano anterior, este o qual mediram 6.207 km<sup>2</sup>. No entanto, esta taxa mais recente representa uma queda de 71% de acordo com os valores registrados em 2004, ano este que foi iniciado o Plano para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm) que nos dias atuais é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (INPE, 2016). Segundo o INPE (2016), no período de agosto de 2015 a julho de 2016 foi registrado uma taxa de 7.989 km<sup>2</sup> de cortes rasos

As taxas anuais são estimadas a partir dos incrementos de desmatamento identificados em cada imagem de satélite que cobre a Amazônia Legal. A primeira apresentação dos dados é realizada para dezembro de cada ano, na forma de estimativa. Os dados consolidados são apresentados no primeiro semestre do ano seguinte (INPE, 2016)

Sensoriamento remoto é o termo utilizado na área das ciências aplicadas para se referir à obtenção de imagens à distância, sobre a superfície terrestre. Tais imagens são adquiridas através de sensores ou câmeras que são colocados a bordo de aeronaves ou de satélites, também conhecidos como satélites de observação da Terra (RUDORFF, s. d.). Um sensor a bordo do satélite gera um produto de sensoriamento remoto denominado de imagem ao passo que uma câmera aerofotográfica, a bordo de uma aeronave, gera um produto de sensoriamento

remoto denominado de fotografia aérea (RUDORFF, s. d.). Outros autores, como Menezes e Almeida (2012) definem sensoriamento remoto como uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres.

O sensoriamento remoto surge como alternativa para monitoramento do ecossistema devido à necessidade de preservação do meio ambiente. O Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), por exemplo, é uma ferramenta de muita utilidade para analisar variáveis específicas, pois esta oferece informações com um custo moderado e rapidez (GIONGO et al., 2010). Isso por que a facilidade de acesso a bancos de imagens de satélite que fornecem um grande campo de visão sobre a área é facilitado com a disponibilização gratuita de dados.

Segundo Pavão et al. (2015) o sensoriamento remoto tem sido de suma importância tecnológica para o monitoramento de áreas de gestão ambiental, como por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI) que são muito utilizadas como ferramenta no monitoramento da cobertura vegetal.

## **2 JUSTIFICATIVA**

Justifica-se a realização do presente estudo pela importância de se fazer uma análise do quanto a Floresta Nacional de Carajás foi desmatada ao longo dos últimos vinte anos (1996 à 2016) devido a mineração, que é uma atividade muito forte nesta região, além das demais atividades existentes na floresta. Por outro lado, a compreensão dos processos de desmatamento no entorno da Floresta Nacional são importantes para planejar a sua conservação.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo geral**

Identificar os processos de avanço do desmatamento no entorno da Floresta Nacional de Carajás e no seu interior através da análise de produtos de sensoriamento remoto.

### 3.2 Objetivos específicos

Foram selecionados os seguintes objetivos específicos para a presente pesquisa:

- Identificar o avanço do desmatamento sobre a Floresta Nacional de Carajás;
- Mapear o avanço interno do desmatamento na Floresta Nacional de Carajás, comparando-o com as áreas de mineração;
- Identificar qual o índice de vegetação que melhor se aplica para o mapeamento dos processos de desmatamento na área selecionada.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8, com 30 metros de resolução espacial, conforme apresentado pela tabela 1. As imagens foram adquiridas através de download gratuito nos catálogos on-line do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram selecionadas imagens que contivessem baixa quantidade de nuvens para que os resultados obtidos com os processamentos pudessem ser o mais fieis possíveis com a realidade da área de estudo.

Tabela 1 ó Imagens de satélite utilizadas para o estudo

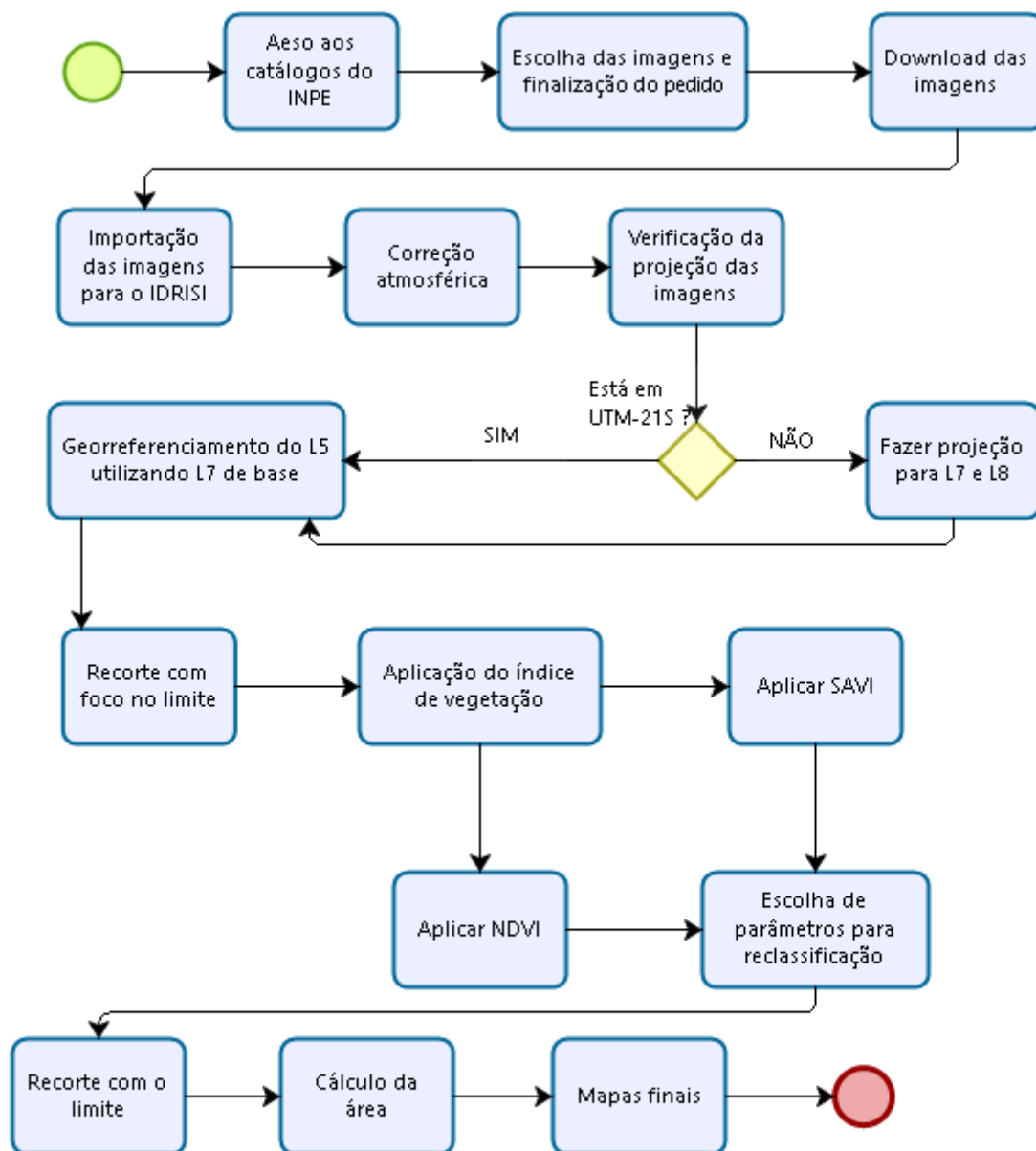
Satélite	Sensor	Bandas espectrais	Data da imagem
Landsat 5	TM	3 ó vermelho - 0.63-0.69 $\mu\text{m}$ 4 ó infravermelho - 0.76-0.90 $\mu\text{m}$ 5 ó infravermelho - 1.55-1.75 $\mu\text{m}$	03/07/1996
Landsat 7	ETM+	3 ó vermelho ó 0.63-0.69 $\mu\text{m}$ 4 ó infravermelho ó 0.76-0.90 $\mu\text{m}$ 5 ó infravermelho ó 1.55-1.75 $\mu\text{m}$	23/07/2006
Landsat 8	OLI	4 ó vermelho - 0.64-0.67 $\mu\text{m}$ 5 ó infravermelho - 0.85-0.88 $\mu\text{m}$ 6 ó infravermelho - 1.57-1.65 $\mu\text{m}$	12/09/2016

Fonte: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

Adaptado pela autora

O processamento dos dados foi realizado a partir do módulo IDRISI Image Processing do software TerrSet 18.21 (EASTMAN, 2016). Para chegar aos resultados apresentados foram executados os procedimentos descritos a seguir e representados pelo fluxograma da figura 3.

Figura 3 ó Fluxograma representando os procedimentos de processamento das imagens de satélite



Fonte: Elaborado pela autora, 2016

As imagens foram obtidas do catálogo de imagens do INPE e realizou-se a sua importação para o IDRISI Image Processing para executar os procedimentos necessários para obter as imagens finais.

Após a importação das imagens foi executada a sua correção atmosférica. Este procedimento é necessário para minimizar os efeitos atmosféricos da radiação em uma cena. A atmosfera afeta a radiação refletida pela superfície que é captada pelo sensor, por causa dos fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética. Nem sempre é necessária a aplicação da correção atmosférica, depende do resultado desejado, no entanto para fins de monitoramento da superfície terrestre ao longo do tempo essa fase é essencial para deixar os dados multitemporais na mesma escala (Sanches et al., 2011). Os dados referentes às radiações mínima (Lmin) e máxima (Lmax) e o comprimento de onda dos sensores TM e ETM+ foram atualizados de acordo com Chandler et al. (2009) e do sensor OLI foi de acordo com os metadados da imagem Landsat 8.

Tabela 2 ó Parâmetros de correção atmosférica

Banda	Data	Hora Central	Comp. Onda Central	Dn hazer	Lmin	Lmáx	Dn max	Elev. Solar
<b>Landsat 5 ó TM</b>								
3	03/07/1996	12:44	0,66	3	-0,117	26,4	255	41,6148
4	03/07/1996	12:44	0,841	6	-0,151	22,1	255	41,6148
5	03/07/1996	12:44	1,676	10	-0,037	3,02	255	41,6148
<b>Landsat 7 ó ETM+ - GLS</b>								
3	23/07/2006	13:18	0,662	9	-0,5	23,44	255	49,2839
4	23/07/2006	13:18	0,835	11	-0,51	24,11	255	49,2839
5	23/07/2006	13:18	1,648	26	-0,1	4,757	255	49,2839
<b>Landsat 8 ó OLI</b>								
4	12/09/2016	13:30	0,655	32	-4,93	59,73	65536	61,6556
5	12/09/2016	13:30	0,865	29	-3,01	36,55	65536	61,6556
6	12/09/2016	13:30	1,61	32	-0,75	9,09	65536	61,6556

Fonte: elaborada pela autora a partir de Chander, et al. (2009) e dos metadados das imagens Landsat 8.

As imagens dos satélites Landsat 7 e Landsat 8, quando adquiridas pelo catálogo do INPE, são disponibilizadas com orientação a norte. Esta é uma configuração padrão adotada pela NASA e pela USGS. Neste caso, torna-se necessária a reprojeção das mesmas para a substituição da orientação para sul. Considerando a qualidade geométrica das imagens, este procedimento não altera o georreferenciamento das mesmas, apenas a sua orientação.

O próximo passo foi recortar as imagens e assim analisar somente a área da Floresta Nacional de Carajás e o seu entorno. O recorte foi executado considerando uma distância de 10 km para além dos pontos mais extremos ao norte, ao sul, ao leste e ao oeste do limite da reserva, para que fosse possível analisar o seu entorno.

Em seguida, foram aplicados os Índices de Vegetação para poder fazer a comparação

entre eles e ver o resultado do desmatamento ao longo dos anos.

Segundo GASS e VERDUM (2014) a aplicação do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), também conhecido por Índice de Vegetação por Diferença Normalizada é a mais utilizada no sensoriamento remoto para caracterizar em uma área a cobertura vegetal. A partir do NDVI consegue-se estipular a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área, ou seja, quanto mais densa a fitomassa verde maior será o índice de vegetação. Nas imagens de satélite, a banda do infravermelho próximo reflete mais energia conforme a vegetação verde aumenta e a banda do vermelho reflete menos para assim potencializar a razão e realçar mais a vegetação (MELO et. al, 2011).

O NDVI é determinado pela razão da diferença da banda do infravermelho próximo (NIR) e a banda do vermelho (R) e a soma dessas mesmas bandas, como mostra a equação 1.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

NDVI: Índice de vegetação por diferença normalizada;

NIR: Infra vermelho próximo (0,76 a 0,90  $\mu$ m);

R: vermelho (0,63 a 0,69  $\mu$ m).

Após a aplicação da equação 1, obtém-se como resultado uma imagem na qual os valores variam de -1 a 1. Os maiores valores de NDVI condizem aos ND (Número Digital) mais elevados, ou seja, mais próximos a 1, referindo-se às áreas de vegetação mais densa. Por sua vez, os menores valores equiparam-se aos ND baixos, os quais representam as áreas de vegetação estressada ou áreas desnudas (VIGANÓ et. al., 2011).

Este é um método que por meio da diferença normalizada entre a refletância no infravermelho próximo e a absorção de luz na região do vermelho permite determinar o vigor da vegetação. Dessa maneira é possível monitorar e associá-los a características da região selecionada (GASS E VERDUM, 2014)

Utilizam-se apenas as bandas 3 e 4 das imagens do Landsat 5 e 7, pois são as que correspondem a região do vermelho e ao infravermelho próximo. Já no Landsat 8 são utilizadas as bandas 4 e 5 já que são as que correspondem as bandas necessárias. Segundo Melo et al. (2011) os valores do NDVI variam de -1 a +1, sendo que quanto mais próximo a 1 maior é a cobertura vegetal da área. A água reflete melhor na banda do vermelho do que na banda do infravermelho, portanto os valores gerados no índice ficam mais próximos a -1. As nuvens refletem de forma parecida tanto no vermelho quanto no infravermelho e ao aplicar NDVI o valor se aproxima de zero. Já os solos expostos ou com pouca vegetação obtém



resultados positivos, no entanto com valores baixos.

Embora o NDVI seja bastante utilizado ele apresenta algumas limitações, as quais implicam nos resultados alcançados, tais como interferência devido a cor do solo e nos efeitos de umidade. Desenvolveu-se, então, um índice que pudesse melhorar os valores de NDVI sem necessidades de medições em campo para cada área de análise (VIGANÓ et. al., 2011). A partir disso, foi criado um índice melhorado utilizando uma constante, L, enquanto fator de ajuste, à vista disso, o Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) obtido a partir da equação 2.

$$\text{SAVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{R})}{(\text{NIR} + \text{R} + \text{L})} \times (1 + \text{L}). \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

SAVI: Índice de vegetação

NIR: Infra vermelho próximo (0,76 a 0,90  $\mu\text{m}$ );

R: vermelho (0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$ );

L: variável de valor 0 a 1.

A constante L pode apresentar valores de 0 a 1, variando segundo a própria biomassa. Os valores ótimos de L, conforme Viganó et al. (2011) são:

L = 1 (para baixas densidades de vegetação);

L = 0,5 (para médias densidades de vegetação);

L = 0,25 (para altas densidades de vegetação).

Segundo Viganó et. al.(2011), é mais utilizado o fator L= 0,5 uma vez que integra uma maior variação de condições de vegetação. Ainda assim, o SAVI limita-se em função dos diferentes biomas e situações agrícolas, uma vez que os valores da constante são generalizados, não considerando as especificidades dos ambientes analisados, mas apenas a densidade vegetada.

Após as aplicações do NDVI e do SAVI nas imagens executou-se a reclassificação dos valores com o propósito de gerar as seguintes classes de uso do solo: água, solo exposto e floresta. Nos resultados e discussões serão apresentados os intervalos adotados e as imagens geradas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo em vista que foram utilizadas imagens de uma grande escala temporal (20 anos) foi necessário gerar classes distintas para cada imagem, pois os parâmetros oscilaram, em especial, ao diferenciar a água de solo exposto. Embora em alguns casos os valores para as



duas classes foram os mesmos. A classificação diferenciada para cada imagem permitiu identificar água e solo exposto, no entanto ainda algumas áreas ocorreram ruídos no processo de classificação.

Como foram utilizados dois índices distintos com o intuito de avaliar qual deles melhor se aplica à região em questão, foram utilizados os intervalos de classe descritos na tabela 3 para a geração das imagens finais deste estudo, representadas pelas figuras 5, 6 e 7.

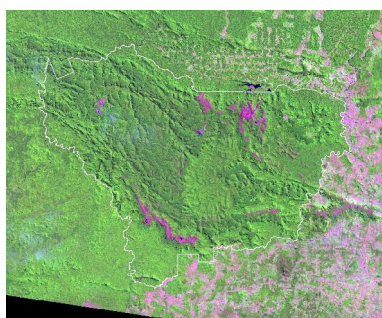
Tabela 3 ó Intervalos de classe para a geração das imagens finais

Classe	Índice de cobertura vegetal	NDVI			SAVI		
		1996	2006	2016	1996	2006	2016
1	Água	-1 a -0,6	-1 a -0,15	-1 a -0,03	-1 a -0,1	-1 a -0,05	-1 a 0,025
2	Baixo	-0,6 a 0,25	-0,15 a 0,1	-0,03 a 0,1	-0,1 a 0,15	-0,05 a 0,15	0,025 a 0,1
3	Moderadamente baixo	0,25 a 0,3	0,1 a 0,2	0,1 a 0,2	0,15 a 0,2	0,15 a 0,2	0,1 a 0,2
4	Médio	0,3 a 0,4	0,2 a 0,3	0,2 a 0,3	0,2 a 0,3	0,2 a 0,3	0,2 a 0,3
5	Moderadamente alto	0,4 a 0,45	0,3 a 0,45	0,3 a 0,45	0,3 a 0,45	0,3 a 0,45	0,3 a 0,45
6	Alto	0,45 a 1	0,45 a 1	0,45 a 1	0,45 a 1	0,45 a 1	0,45 a 1

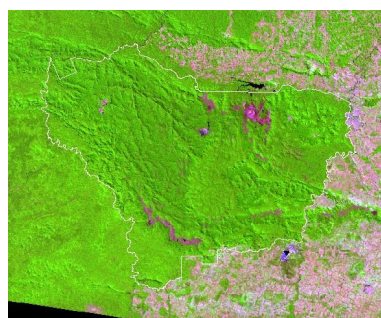
Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Analisando as imagens de satélite representadas pelas figuras 4a, 4b e 4c, observa-se que houve uma grande área de desmatamento no entorno da reserva ao longo dos 20 anos avaliados. Isso foi devido ao grande crescimento na região em decorrência das atividades da mineração, da expansão agrícola e da pecuária. O avanço da mineração no interior da reserva provocou um aumento do desmatamento. Contudo, este processo foi mais lento do que aqueles que são observados na área lindeira a reserva.

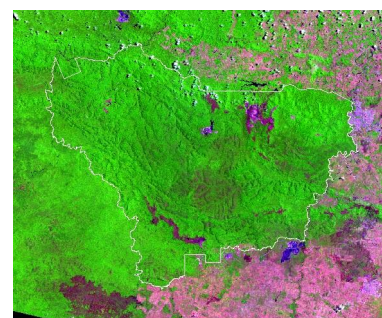
Figura 4 ó Composições coloridas das imagens de satélite utilizadas para o estudo



4a ó composição colorida 543 em RGB da imagem do satélite Landsat 5, de 03/07/1996



4b ó composição colorida 543 em RGB da imagem do satélite Landsat 7, de 23/07/2006

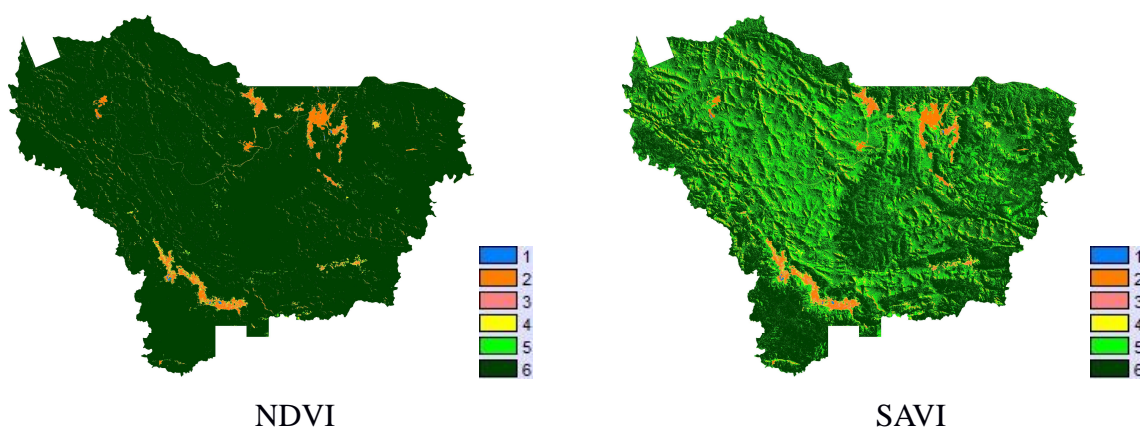


4c ó composição colorida 654 em RGB da imagem do satélite Landsat 8, de 12/09/2016

Em ambas classificações dos índices de vegetação foram definidas cores para melhor identificação das áreas, aproximando das cores mais reais. A água ficou em uma tonalidade azul, para identificação de lagos, rios e barragens. Onde há um baixo índice de vegetação, as áreas com solo exposto, utilizou-se um tom laranja, estas são regiões que foram desmatadas para diferentes finalidades. As zonas com vegetação moderadamente baixa e média refletem de forma parecida tanto na banda do vermelho e do infravermelho, apresentando valores baixos, no entanto positivos. A estas áreas foram atribuídas cores salmão e amarela para identificar área com pouca vegetação. As áreas com índice moderadamente alto e alto são regiões de florestas mais densas e estas receberam coloração nos tons de verde para representá-las.

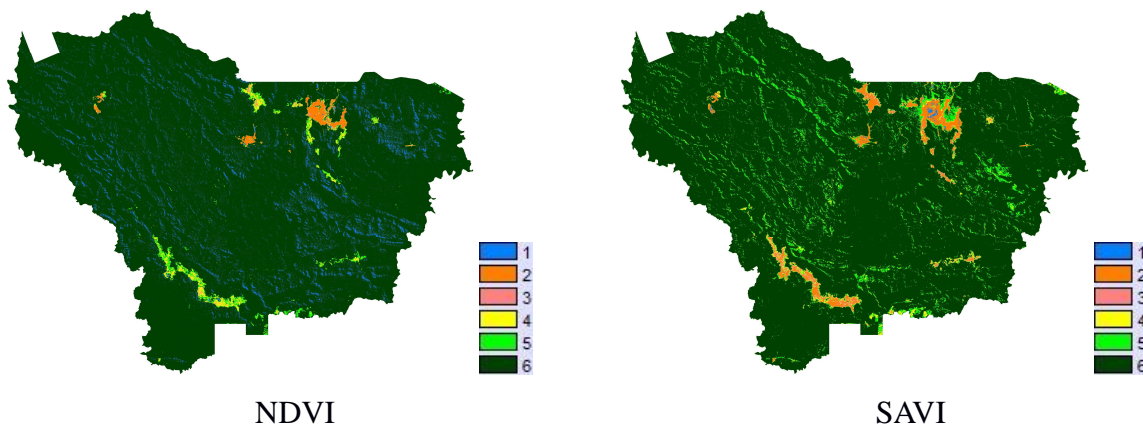
Ao analisar as imagens do landsat5, referentes ao ano de 1996, há umas pequenas falhas em meio à floresta a cena em que foi aplicado o NDVI, essas são as sombras causadas pelas serras. Na imagem do SAVI esses relevos são mais perceptíveis, pois aparecem com uma diferenciação na tonalidade das cores, os vales e as sombras aparecem em cores mais escuras em quanto as regiões que pegam mais sol aparecem com uma cor mais clara, ou seja, onde há sombra pode ser confundido com uma vegetação mais densa, pois o índice ficou com uma cotação alta.

Figura 5 ó Resultados para o ano de 1996



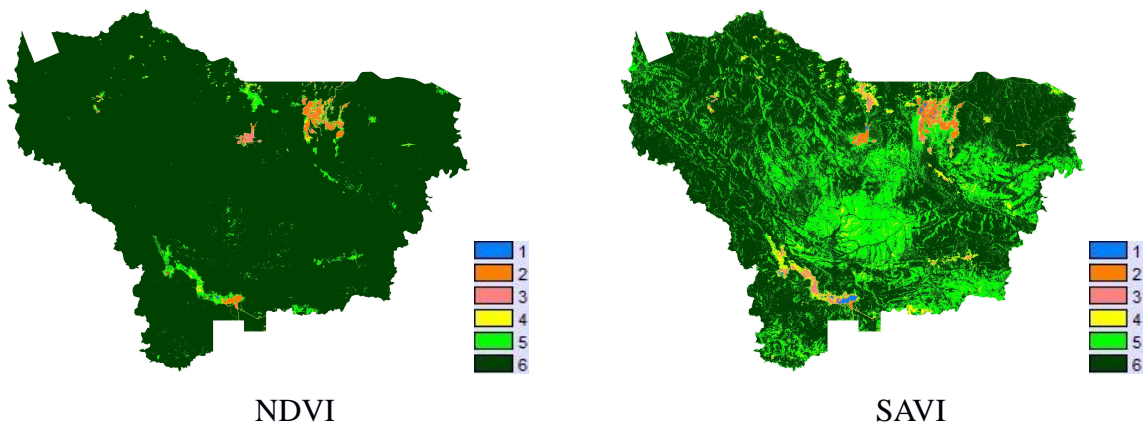
Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Figura 6 ó Resultados para o ano de 2006



Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Figura 7 ó Resultados para o ano de 2016



Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Na imagem do landsat7, referente ao ano de 2006, há alguns ruídos nas imagens após a aplicação dos índices de vegetação. No NDVI as sombras causadas pelas serras aparecem como água, os pixels tem o mesmo valor do índice. O SAVI é pouco confiável nos resultados ao diferenciar água e solo exposto, uma vez que o valor da água e do solo expostos são idênticos em alguns pixels. Todavia, é bem visível o desmatamento na região.

A imagem do Landsat8, referente ao ano de 2016, aplicadas ao SAVI foi a que melhor se ajustou identificando as áreas de lavouras e pecuárias, enquanto no NDVI está sendo uma considerada área com índice de vegetação moderadamente alto enquanto na verdade é de classificação média. Ainda sobre o NDVI, há certos espaços que os valores do índice aparece alto, em outras palavras a zona que sofreu desmatamento aparece, em certos pontos, uma área preservada, mas ao aplicar o SAVI o resultado é um pouco diferente, o espaço preservado é de menor área. O SAVI apresenta melhor também o desenvolvimento das cidades próximas

(mais ao nordeste da imagem Parauapebas e ao sudoeste Canaã de Carajás). Na foto original do Landsat8 há umas manchas na floresta e quando aplica o NDVI as manchas somem, o índice caracteriza tudo como uma vegetação densa, já no SAVI as manchas são levadas em conta e ficam bem visíveis.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises feitas nas imagens geradas, verificou-se que o índice de melhor aplicação é o SAVI. Houve um maior detalhamento nas imagens resultantes, não se distanciando muito das imagens de origem se destacando certas particularidades que a princípio não se observava e nem ficaram claros quando aplicado o índice NDVI.

Mesmo com os resultados apresentados pelo SAVI, é relevante aplicar, em estudos futuros, o mesmo índice mas com a constante L diferente da utilizada no presente estudo. Este procedimento, associado ao refinamento das classes, poderá reduzir os ruídos observados nos resultados apresentados.

As análises apresentadas representam uma interpretação visual dos dados, sendo necessário ainda, a compatibilização dos mesmos para a sua quantificação. Neste sentido, as classes definidas deverão ser revisadas em estudos futuros.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A.; NEPSTAD, N; MCGRATH, D; MOUTINHO, P; PACHECO, P; DIAZ, M. D. C. V.; FILHO, B. S. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica**. Manaus: IPAM, 2004.

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o artigo 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 19 de julho de 2000.

CHANDER, G; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment** 113 (2009) 8936903.

EASTMAN, R. **TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling software**. Worcester: ClarkLabs, 2016.

FEARNSIDE, P. M. **A floresta Amazônica nas mudanças globais**. Manaus: INPA, 2003.

GASS, S. L. B.; VERDUM, R. Avaliação da cobertura vegetal e uso da terra na bacia hidrográfica do arroio Taquari-Miracatu, sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil, utilizando dados de sensoriamento remoto. In: **XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, XXV Expositiva**. Anais Gramado, 2014. Disponível em <[http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/529/CT04-83\\_1404771517.pdf](http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/529/CT04-83_1404771517.pdf)> Acessado em 01 de nov. de 2016.

GIONGO, P. R.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; ROCHA, H. R.; MEDEIROS, S. R. R. de; NAZARENO, A. C. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.3, p.279-287, 2010.

INPE. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em 19 de outubro de 2016.

INPE. **PRODES estima 7.989 km<sup>2</sup> de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2016**. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=4344](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4344)>. Acesso em 08 de dezembro de 2016.

LAURANCE, W. F.; COCHRANE, M. A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P. M.; DELAMÔNICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S. e FERNANDES, T. **The Future of the Brazilian Amazon**. *Science* 291, 2001, pp. 438-439.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. de. **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos Cavalos, Crateús ó CE**. *RAE GA*, Curitiba, 23, p. 520-533, 2011.

MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Cnpq, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema Nacional de Unidades Conservação ó SNUC**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/sistema-nacional-de-ucs-snuc>>. Acesso em 08 de dezembro de 2016.

PAVÃO, L. L.; PAVÃO, V. M.; QUERINO, C. A. S.; BENEDITTI, C. A.; QUERINO, J. K. A. S.; MACHADO, N. G. M.; BIUDES, M. S. Índices de vegetação, NDVI e SAVI, em áreas de campos naturais e floresta densa em Humaitá - AM nos anos de 2009 e 2010. Anais **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

ROLIM, S. G.; COUTO, H.T.Z.; JESUS, R. M. de; FRANÇA, J.T. **Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Itapirapé-Aquiri, Serra dos Carajás (PA)**. *Acta Amazonica*, Manaus. v.36, 2006.

RUDORFF, B. F. T., **Produtos de Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em 19 de out. de 2016.

SANCHES, I. D.; ANDRADE, R. G.; QUARTAROLI, C. F.; RODRIGUES, C. A. G. **Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat5 ó TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto ó SBSR: Curitiba. 2011.

STAU, D. C. P.; SCUPINO, M. R. C. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Carajás.** Volume I. Brasília: ICMBIO, 2016.

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. J. S.; **Análise do desempenho dos índices de vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem aster.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto ó SBSR: Curitiba. 2011