



Uso de Imagens Multiespectrais na Análise da Cobertura Vegetal em Área de Concessão Florestal em Rondônia

Use of Multispectral Images in the Analysis of Vegetation Cover in a Forest Concession Area in Rondônia

Camila Vieira Martins & Adriano Reis Prazeres Mascarenhas

Universidade Federal de Rondônia, Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal

Avenida Norte Sul, 7300, Nova Morada, 76.940-000, Rolim de Moura, RO – Brasil

E-mails: camila.florestal@hotmail.com; adriano.mascarenhas@unir.br

Recebido em: 23/01/2018 Aprovado em: 27/06/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_104_116

Resumo

No Brasil, a concessão de florestas públicas para exploração madeireira é uma iniciativa do poder público para coibir a exploração ilegal e a grilagem a fim de preservar o patrimônio nacional. Entretanto, o conhecimento a respeito dos impactos promovidos nessa modalidade de exploração é incipiente, haja vista que a obtenção de dados em campo pode ser morosa e de alto custo. Dessa forma, as geotecnologias inserem-se nesse contexto por apresentarem métodos de obtenção de informações com rapidez e relativa precisão. Portanto, com o presente trabalho objetivou-se analisar a variação da cobertura vegetal em uma área de floresta pública sob diferentes intensidades de exploração madeireira no regime de concessão florestal, aplicando-se imagens multiespectrais e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). O local de estudo foi a Floresta Nacional do Jamari, na qual considerou-se duas áreas exploradas por dois anos consecutivos: a Unidade de Produção Anual 01 (UPA 01) com intensidades de corte $9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $10,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, em 2010 e 2011, respectivamente, e a Unidade de Produção Anual 02 (UPA 02) com intensidades de corte de $24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, em 2012 e 2013, respectivamente. As análises foram realizadas antes, durante e após a exploração madeireira e os resultados obtidos foram submetidos ao teste t pareado ($p < 0,05$). Na UPA 01, exceto entre os anos de 2011 e 2012, não houve diferenças significativas nos valores de cobertura vegetal. Já em relação à UPA 02, não se verificou diferenças em nenhum dos períodos avaliados. Deste modo, foi possível verificar o efeito da exploração florestal e estimar a cobertura vegetal, contudo, o uso de geotecnologias para essa finalidade tem caráter complementar ao monitoramento em campo, pois os valores de NDVI estão sujeitos às intervenções ambientais naturais ou antrópicas, podendo subestimar ou superestimar os resultados.

Palavras-chave: Amazônia; unidade de conservação; manejo florestal; geotecnologias; recursos florestais

Abstract

In Brazil, the concession of public forests for logging is a government initiative to curb illegal exploration and occupation in order to preserve the national patrimony. However, the knowledge about the impacts promoted in this way of exploration is incipient, considering that field data collection can be lengthy and costly. Therefore, geotechnology is inserted in this context by presenting methods of obtaining information with speed and relative precision. So, the objective of this work was to analyze the vegetation cover variation in a public forest area under different logging intensities in the forest concession regime, applying multispectral images and the normalized difference vegetation index (NDVI). The study site was the Jamari National Forest, where two areas were explored for two consecutive years: the Annual Production Unit 01 (UPA 01) with cutting intensities of $9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ and $10.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in 2010 and 2011, respectively, and the Annual Production Unit 02 (UPA 02), with cutting intensities of $24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ and $3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, in 2012 and 2013, respectively. The analyzes were performed before, during and after logging and the results were submitted to the paired t-test ($p < 0.05$). In the UPA 01, except between the years 2011 and 2012, there were no significant differences in the values of vegetal cover. Regarding UPA 02, there were no differences in any of the periods evaluated. In this way, it was possible to verify the effect of the forest exploitation and to estimate the vegetation cover, however, the use of geotechnologies for this purpose is complementary to the field monitoring, since NDVI values are subject to natural or anthropogenic environmental interventions, being able to underestimate or overestimate the results.

Keywords: Amazon; conservation unit; forest management; geotechnology; forest resources.

1 Introdução

Diante da crescente expansão da supressão das áreas de vegetação natural no Brasil nas últimas décadas, que em muitas ocasiões foi fomentada pelo agronegócio, o principal pilar econômico do País, surgiram diversos questionamentos em relação ao uso racional dos recursos naturais, haja vista que muitas ações promoveram danos irreversíveis aos biomas, principalmente na Amazônia (Kohlhepp, 2002). Diante desses gargalos, o Ministério do Meio Ambiente e o Ministério de Ciência e Tecnologia, criaram mecanismos de combate ao desmatamento: a intensificação da fiscalização ambiental e o embargo da comercialização de grãos produzidos em áreas que foram desmatadas ilegalmente. Essas ações de maneira geral, promoveram queda considerável nas taxas de desmatamento (Oberling, 2013).

De forma complementar, outra ação desenvolvida consistiu na criação do sistema nacional de unidades de conservação (SNUC), por meio da Lei nº 9985 (Brasil, 2000) que se baseia em um sistema de gestão territorial, no qual existe a possibilidade de exploração dos recursos madeireiros e não madeireiros em unidades de conservação de uso direto, em especial as florestas nacionais (FLONAS), por meio de concessões florestais.

Nesse contexto, o primeiro registro de experiência nessa modalidade de exploração em florestas públicas no Brasil foi no ano de 2008 em Rondônia, na floresta nacional do Jamari, criada por meio do Decreto nº 90.224 (Brasil, 1984). Objetivando-se coibir a exploração ilegal e a grilagem preservando assim o patrimônio público. No entanto, estudos a respeito dos impactos promovidos em áreas de concessão florestal após a exploração, atendendo às premissas dos PMFS, são insuficientes e para se ter uma resposta a respeito do que definitivamente ocorre com a floresta necessita-se realizar a coleta de dados em campo, o que muitas vezes pode retardar e onerar o diagnóstico.

Diante desses aspectos, verifica-se a necessidade de aplicar-se técnicas alternativas na obtenção de dados e ainda que forneçam uma análise complementar da dinâmica de exploração florestal. Nesse contexto, as geotecnologias podem contribuir na

obtenção de informações de forma rápida (antes, durante e depois da perturbação na floresta), com relativa precisão e baixo custo, contribuindo para o monitoramento, planejamento e tomada de decisão do gestor florestal (Facco *et al.*, 2016).

Dentre as opções disponíveis, pode-se destacar os índices de vegetação obtidos por bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo das imagens obtidas por sensores orbitais, sendo que o mais comum é o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), que permite levantar informações a respeito da quantidade de biomassa verde, crescimento e desenvolvimento da vegetação (Martins & Silva, 2014)

Portanto, objetivou-se com este estudo avaliar padrões de mudança da cobertura vegetal em área de exploração florestal na modalidade de concessão florestal na Floresta Nacional do Jamari através de imagens de satélite de média resolução espacial, pelo método de índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

2 Material e Métodos

2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área considerada para o estudo foi a área de concessão florestal denominada Unidade de Manejo Florestal 03 (UMF III), com área de 46.184,253 mil hectares, localizada na Floresta Nacional do Jamari, cuja área é de 225.799,75 hectares, abrangendo os municípios de Candeias do Jamari, Itapuã do Oeste e Cujubim no estado de Rondônia. A área de concessão para exploração florestal da UMF III é de responsabilidade da empresa AMATA S.A. e foi subdividida em 25 Unidades de Produção Anual (UPA) para um ciclo de produção de 25 anos AMATA (2010), no entanto para o desenvolvimento deste trabalho foram consideradas a UPA 01 e UPA 02, as quais foram exploradas no período de 2010 a 2011 e 2011 a 2012, respectivamente (Figura 1).

A área total da UPA 01 é de 1.586,78 ha, com uma área de efetiva exploração de 1.359,88 ha e a UPA 02 tem uma área total de 1.946,10 ha e área líquida de exploração florestal de 1.743,30 ha (AMA-

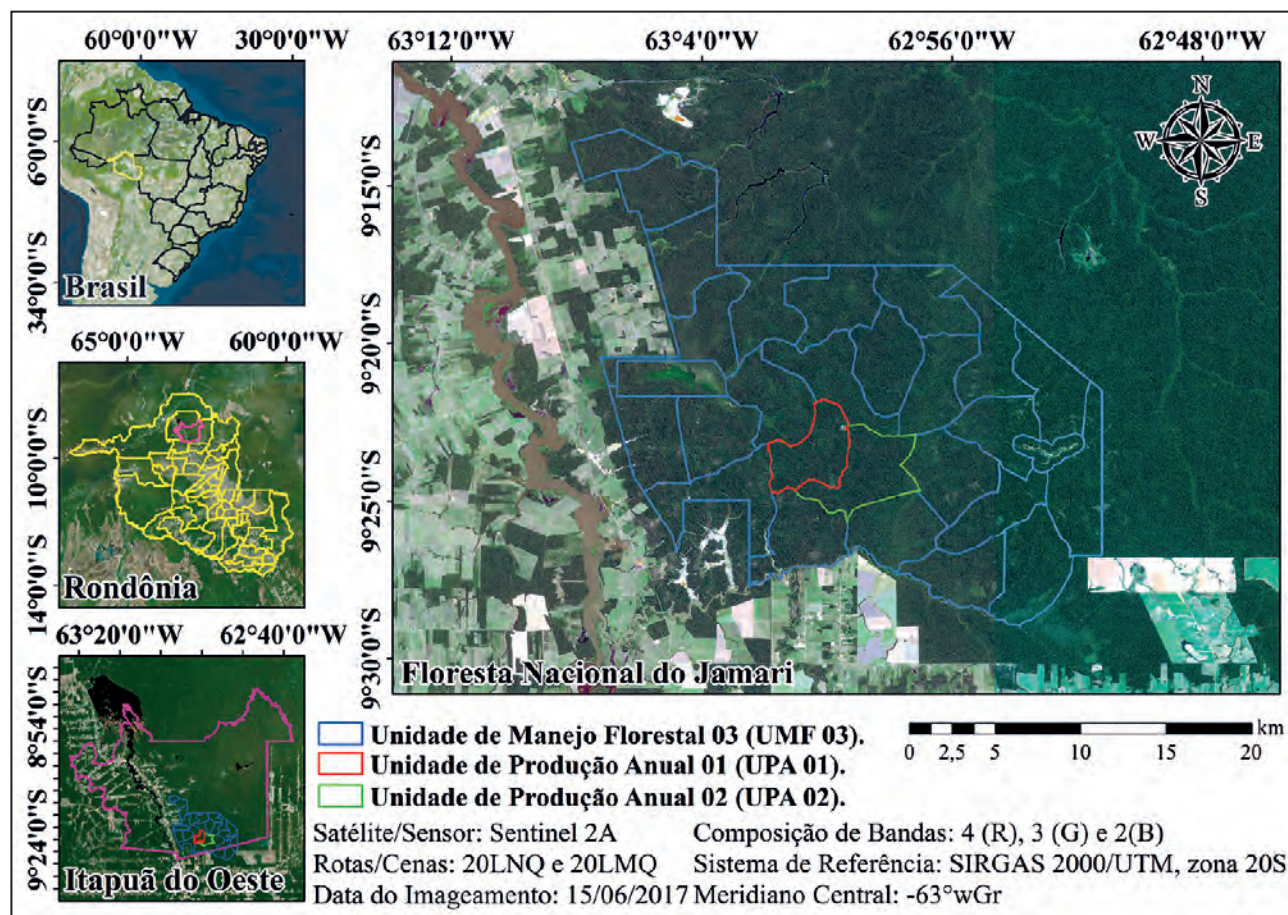


Figura 1 Mapa de localização da Unidade de Manejo Florestal III, destacando as unidades de produção anual 01 e 02 (UPA 01 e UPA 02), na Flona do Jamari, RO.

TA, 2010; AMATA, 2012). A produtividade da UPA 01 em 2010 representou um volume de $9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e em 2011 foi $10,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, já em relação a UPA 02, no ano de 2012, o volume explorado foi na ordem de $17 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e em 2013 o volume explorado foi de $3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (SFB, 2017).

2.2 Caracterização da Região do Estudo

O clima da região, conforme a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Am (tropical úmido ou sub-úmido) com temperatura média anual de 25°C e pluviosidade média anual de 2100 mm (Alvares *et al.*, 2013). Os solos ocorrentes na região são os: Latossolos e Argissolos, com predomínio do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Silva *et al.*, 2013), e a vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Aberta Submontana (IBGE, 2012).

2.3 Aquisição das Imagens Orbitais

Foram utilizadas imagens multiespectrais do satélite Landsat 5, sensor TM e Landsat 8, sensor OLI, as quais foram adquiridas nos catálogos de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e *United States Geological Survey* (USGS), na Tabela 1 encontram-se as informações a respeito das características das imagens (INPE, 2009; INPE 2010; INPE, 2011; INPE, 2012; USGS, 2013; USGS, 2014; INPE, 2015; INPE, 2016). Contudo, a seleção das imagens, para análise da cobertura vegetal das UPAs 01 e 02, foi baseada considerando-se três intervalos temporais, o primeiro correspondente a um ano antes da exploração florestal, o segundo durante os dois anos de exploração e o terceiro três anos subsequentes ao fim da exploração.

| Satélite / Sensor | Resolução Espacial | Resolução Radiométrica | Bandas Espectrais | Órbita / Ponto | Data do Imageamento |
|-------------------|--------------------|------------------------|-------------------|----------------|---------------------|
| Landsat 5 / TM | 30 m | 8 bits | 5R 4G 3B | 232/066 | 31/07/2009 |
| Landsat 5 / TM | 30 m | 8 bits | 5R 4G 3B | 232/066 | 18/07/2010 |
| Landsat 5 / TM | 30 m | 8 bits | 5R 4G 3B | 232/066 | 16/08/2011 |
| Landsat 5 / TM | 30 m | 8 bits | 5R 4G 3B | 332/066 | 05/08/2012 |
| Landsat 8 / OLI | 30 m | 16 bits | 4R 5G 6B | 232/066 | 23/08/2013 |
| Landsat 8 / OLI | 30 m | 16 bits | 4R 5G 6B | 232/066 | 14/08/2014 |
| Landsat 8 / OLI | 30 m | 16 bits | 4R 5G 6B | 232/066 | 21/08/2015 |
| Landsat 8 / OLI | 30 m | 16 bits | 4R 5G 6B | 232/066 | 16/08/2016 |

Tabela 1 Características das imagens da série Landsat referentes a região da Flona do Jamari, Itapuã do Oeste, Rondônia.

2.4 Pré-Processamento das Imagens Multiespectrais

Os procedimentos de preparo, tratamento de informações e elaboração dos mapas foram realizados utilizando-se o *software* SIG *ArcGIS Desktop* versão 10.5 do ano de 2017, com licença educacional sob o número de registro EVA346750770 (ESRI, 2017). O sistema de referência utilizado para todas as imagens foi SIRGAS 2000, zona 20 S, meridiano central -63° wGr e sistemas de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM). Em seguida, aplicando-se *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Map Algebra – Raster Calculator*, as imagens dos satélites Landsat 5/TM e Landsat 8/OLI foram submetidas a transformação do número digital (ND) em reflectância conforme Silva *et al.* (2009) e USGS (2016), respectivamente. Já a etapa posterior, consistiu em realizar a composição de bandas do Landsat 5/TM na conformação R (5), G (4) e B (3) e Landsat 8/OLI na conformação R (6), G (5) e B (4), para melhor representar os limites entre solo, vegetação e água, respectivamente, com as seguintes cores: magenta, esverdeado e azulado. Nessa etapa, empregou-se a seguinte rotina *ArcToolbox – Data Management Tools – Raster – Raster Processing – Composite Bands* disponível no *ArcGIS*. No caso das imagens

do Landsat 8/OLI, fez-se necessário realizar o ajuste de suas projeções para o hemisfério sul, por meio dos passos *ArcToolbox – Data Management Tools – Projections and Transformations – Raster – Project Raster*, a fim de compatibilizá-las com o restante do banco de dados.

Posteriormente, realizou-se o georreferenciamento das imagens, tomando-se como base cartográfica os limites do polígono, na extensão *shapefile*, da UMF III, fornecida por SFB (2017), com os mesmos sistemas de projeção e coordenadas citados anteriormente, por meio da rotina *Georeferencing – Shift – Update Georeferencing*, sendo assim, com as imagens georreferenciadas, realizou-se o recorte das regiões do raster correspondentes a UPA 01 e UPA 02, a partir da delimitação dos vetores da base cartográfica da UMF III, para tanto aplicou-se a rotina *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Extraction – Extract by Mask*.

2.5 Obtenção dos Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Essa etapa consistiu na obtenção da cobertura de vegetação, a qual foi mensurada a partir do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI), que é um modelo resultante da combinação dos níveis de reflectância da superfície, por meio da diferença das bandas espectrais do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR). Para tanto, aplicou-se a metodologia demonstrada por Liu (2006), na qual o processo de cálculo se faz pela diferença entre a reflectância na faixa do infravermelho próximo (NIR) e a reflectância na região do vermelho (RED) do espectro visível, dividido pela soma das mesmas, para sua normalização. Para isso, nas imagens do Landsat 5/TM foram utilizadas as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo), enquanto que para as imagens do satélite Landsat 8/OLI, as bandas aplicadas foram 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo). Esta etapa foi realizada mediante a rotina *Windows – Image Analysis – NDVI* e rotina *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify*, disponíveis no *ArcGIS*.

Posteriormente, para elaboração dos mapas temáticos, considerou-se, novamente, as premissas mencionadas por Liu (2006), nas quais o NDVI tem

seu valor variando de -1 a +1, sendo que os valores negativos correspondem às áreas de corpos de água e sombra, valores entre 0 e 0,55 correspondem a áreas de solo exposto, valores entre 0,55 e 0,70 correspondem a vegetação esparsa e valores acima de 0,70 correspondem à vegetação. (Tabela 2). Em seguida, estimou-se as áreas correspondentes apenas às classes de cobertura vegetal ($0,55 \geq NDVI \leq 1,00$) das UPAs 01 e 02, nos diferentes períodos considerados, com o auxílio da rotina *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Map Algebra – Raster Calculator*, aplicando-se a Equação 2, na qual levou-se em consideração que a área do pixel das imagens do Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI representa 900 m² na superfície real (INPE, 2017).

$$C_{veg} = \frac{(n^{\circ} \text{ pixels da classe} \times \text{área do pixel})}{10000} \quad (2)$$

Em que: C_{veg} = cobertura vegetal (ha), n° pixels da classe = soma do número de pixel gerado nas classes de vegetação.

2.6 Análise dos Resultados

Os valores de NDVI foram submetidos ao teste de t pareado ($p < 0,05$), a fim de identificar diferenças nos valores de cobertura vegetal antes, durante e após a exploração madeireira, além disso os resultados foram discutidos por meio de estatística descritiva.

3 Resultados e Discussão

O resultado do teste de t pareado ($p < 0,05$) encontra-se na Tabela 3, dessa forma, no que diz respeito ao período pré-exploratório da UPA 01 (2009 a 2010) e UPA 02 (2012 a 2013).

Dessa maneira, foi possível verificar-se que não houveram diferenças significativas nos valores de NDVI e ressalta-se que as imagens de 2010 e 2012 são referentes aos meses de julho e agosto, respectivamente, meses em que se iniciaram as atividades de exploração madeireira, conforme informações da AMATA S.A., assim, sugere-se que as intervenções promovidas à floresta nessa ocasião

| UPA 01 | | | | | |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Períodos | 2009-2010 | 2010-2011 | 2011-2012 | 2012-2013 | 2013-2014 |
| P valores | 0,4180 ^{ns} | 0,0631 ^{ns} | 0,0087* | 0,0577 ^{ns} | 0,8051 ^{ns} |
| UPA 02 | | | | | |
| Períodos | 2011-2012 | 2012-2013 | 2013-2014 | 2014-2015 | 2015-2016 |
| P valores | 0,7618 ^{ns} | 0,1784 ^{ns} | 0,7768 ^{ns} | 0,2155 ^{ns} | 0,0730 ^{ns} |

Tabela 2 Teste de t pareado ($p < 0,05$) para valores de NDVI em Unidade de Produção Anual 01 e 02, antes, durante e após a exploração na UMFIII na Flona do Jamari, em Itapuã do Oeste, Rondônia.

Em que: ^{ns} = não significativo e * = significativo pelo teste de t pareado de Student ($p < 0,05$).

não foram suficientes para causar variação brusca da cobertura vegetal.

Além disso, os valores de NDVI demonstrados nas Figura 2 (A, B, C e D), corroboram com a explicação desse resultado, pois nota-se que entre as classes geradas as diferenças são irrisórias, visto pela manutenção das amplitudes das classes, principalmente nos valores acima de 0,55, que indicam traços de vegetação Liu (2006).

Em complemento a esses aspectos, as pesquisas de Boratto & Gomide (2013), reforçam esse raciocínio mencionado acima, pois mencionam que quando os valores de NDVI são mais próximos de 1, mais densa é a vegetação e o valor 0 (zero) indica superfície não vegetada, nas quais quanto menores os valores de NDVI caracteriza-se áreas de vegetação estressada ou menos densas e com valores mais baixos ou negativos significa áreas sem vegetação.

Ainda nesse contexto, na Figura 3 estão apresentadas as estimativas dos valores de cobertura vegetal referentes a UPA 01 (2009 a 2010) e UPA 02 (2011 e 2012), nos diferentes anos de avaliação, em que se observou uma diferença de 3,28% para UPA 1 e 2,85% para UPA 02, essas pequenas variações podem ser atribuídas ao início da construção de estradas de acesso às unidades de trabalho e pátios de estocagem de madeira. E conforme Liu (2006) a associação com a variabilidade das condições atmosféricas que para entre os períodos de captura das

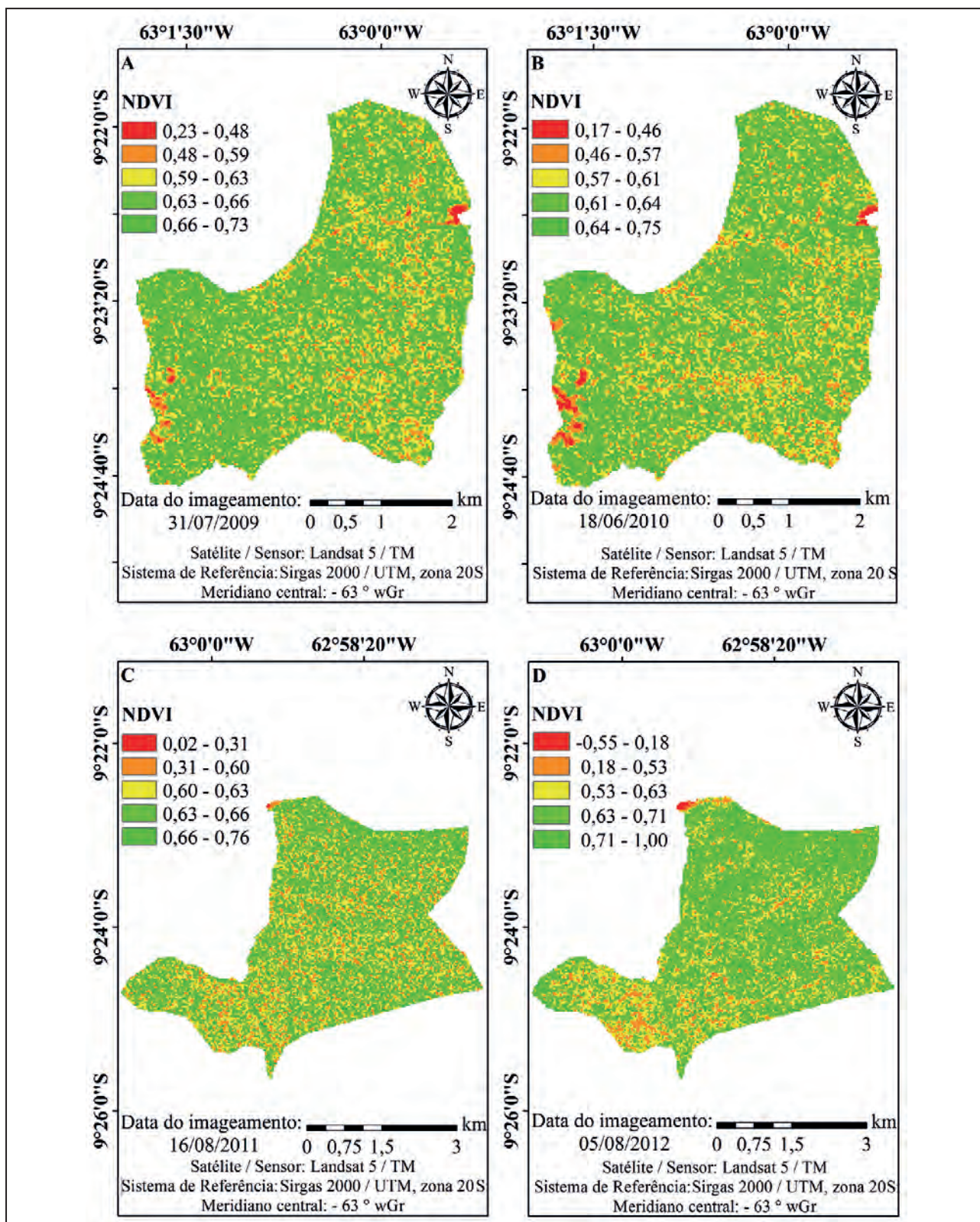


Figura 2 Mapas temáticos referentes aos NDVI, entre os anos de 2009 (A) e 2010 (B) da UPA 01 e entre os anos de 2011 (C) e 2012 (D) da UPA 02 sob regime de exploração madeireira na modalidade de concessão florestal, na Flona do Jamari em Itapuã do Oeste, Rondônia.

cenários que influenciam principalmente, a faixa espectral do infravermelho próximo.

Na sequência, entre os anos de 2010 e 2011, na UPA 1 houve um decréscimo na cobertura do dossel de 5,83%, enquanto que entre 2012 e 2013 na UPA 02 essa redução foi de 20%, sendo assim, nesse caso, faz mais sentido atribuir a essas diminuições, majoritariamente, pelos efeitos das atividades de exploração madeireira do que em relação à variação atmosférica, já que o período corresponde ao primeiro ano completo de intervenções na floresta, destacando-se que o maior valor observado na UPA 02 pode ter ocorrido em função da maior intensidade de exploração ($17 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) quando comparada com a UPA 01 ($9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), de acordo com SFB (2017).

Entretanto, em relação ao intervalo de 2011 e 2012 na UPA 01 e 2013 a 2014 na UPA 02 (Figura 3), que são períodos referentes ao segundo ano de exploração, os valores apontam um acréscimo de 9,11% da cobertura vegetal na UPA 01 e redução de 0,69% na UPA 02. Uma hipótese para os resultados observados na UPA 01, é que após a abertura das clareiras não houve mais atividade de exploração florestal e os bancos de plântulas e sementes que estavam presentes no solo, que em geral é composto por espécies heliófilas (vegetação pioneira), foram beneficiados com luminosidade e conforme Gauto (1997) essas condições podem ser promovidas em decorrência do alto número de indivíduos no local onde ocorreu a clareira. E em relação a UPA 02, a manutenção dos índices pode estar relacionada a baixa intensidade de exploração madeireira no ano de 2013 ($3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Diante desse cenário, as pesquisas de Hirai *et al.* (2012) vão ao encontro da situação evidenciada,

na UPA 01, pois os autores verificaram que os impactos causados pela exploração madeireira, por meio da construção de estradas, trilhas de arraste, clareiras e pátios de estocagem de toras, favoreceram a germinação e estabelecimento da regeneração de espécies, principalmente das pioneiras ou intolerantes à sombra (Monteiro *et al.*, 2004), complementam essa informação ao citarem que maior parte da regeneração de espécies pioneiras e cipós, são favorecidas pela entrada excessiva de luz, o que pode promover o aumento de suas copas, que em associação ao elevado número de indivíduos provenientes do banco de plântulas, pode explicar o aumento da cobertura vegetal no período mencionado

Uma melhor visualização desse aumento é demonstrada na Figura 4 (A e B), na qual os valores de NDVI para vegetação, elevaram-se, em média, 14,29% no intervalo de classe acima de 0,65 em relação ao ano de 2011, do mesmo modo, Poelking *et al.* (2007) verificaram em seus estudos que os maiores intervalos de classe de NDVI apresentaram aumento expressivo em áreas com vegetação em pleno crescimento, com baixa refletância na faixa do vermelho, e alta refletância no infravermelho próximo, além disso Silva *et al.* (2015), ao realizarem pesquisas em uma floresta manejada no estado do Amazonas, em uma localidade que apresenta a tipologia climática Am (Alvares *et al.*, 2013), também encontraram valores de NDVI entre 0,67 a 0,76 no mesmo período do presente estudo para o ano de 2011.

Todavia, deve-se considerar a hipótese que parte desse percentual de acréscimo (9,11%) pode estar relacionado a ferramenta utilizada para estimar a vegetação (NDVI), que embora tenha sido

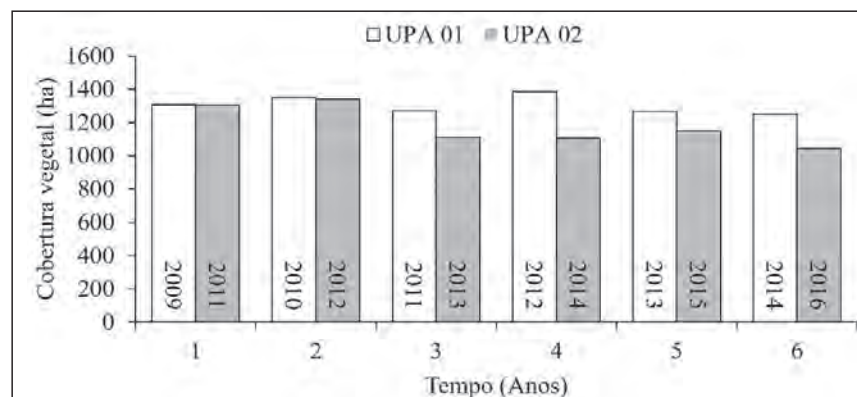


Figura 3 Estimativas das coberturas vegetais obtidas por NDVI ao longo de 6 anos, na Unidade de Manejo Florestal III, referentes as UPA 01 e UPA 02, Flona do Jamari em Itapuã do Oeste, Rondônia.

amplamente utilizada, apresenta limitações, as quais podem superestimar os resultados. Dentre as limitações dessa técnica, destaca-se o efeito da umidade, principalmente em anos com regime de chuvas atípico, em que a precipitação pode se estender por um período maior aumentando os estoques de água na floresta e reduzindo a perda de água por evapotranspiração da vegetação nativa (Bezerra *et al.*, 2011).

Esses aspectos foram evidenciados por Pismel *et al.* (2016), os quais verificaram valores de NDVI mais altos no período mais seco, e constataram que as áreas com remanescentes florestais se destacam, pois apresentam NDVI superiores a 0,60, o que indica a capacidade das espécies florestais em explorar as camadas mais profundas do solo, para suprir a escassez de água nesse período, de forma comparativa as áreas de cultivo anual ou pastagens.

Com isso, as regiões de florestas nativas apresentam estratégias de reposição de água pelas raízes mais profundas, nutrindo a atividade fotossintética e com isso mantendo a reflectância para gerar os valores de NDVI.

Igualmente, Tavares *et al.* (2015), no estado de São Paulo, verificaram que a alta precipitação observada em julho foi refletida no leve aumento e estabilização do NDVI em agosto e setembro. Os autores também mencionam que regiões tropicais apresentam o comportamento do NDVI fortemente influenciado pelo regime de chuva. Em relação a UPA 02, na Figura 5 (A e B) observa-se que o índice de vegetação por diferença normalizada reafirma a tendência apontada na Figura 3, sendo que intervalo de classe correspondente a vegetação densa praticamente não se alterou.

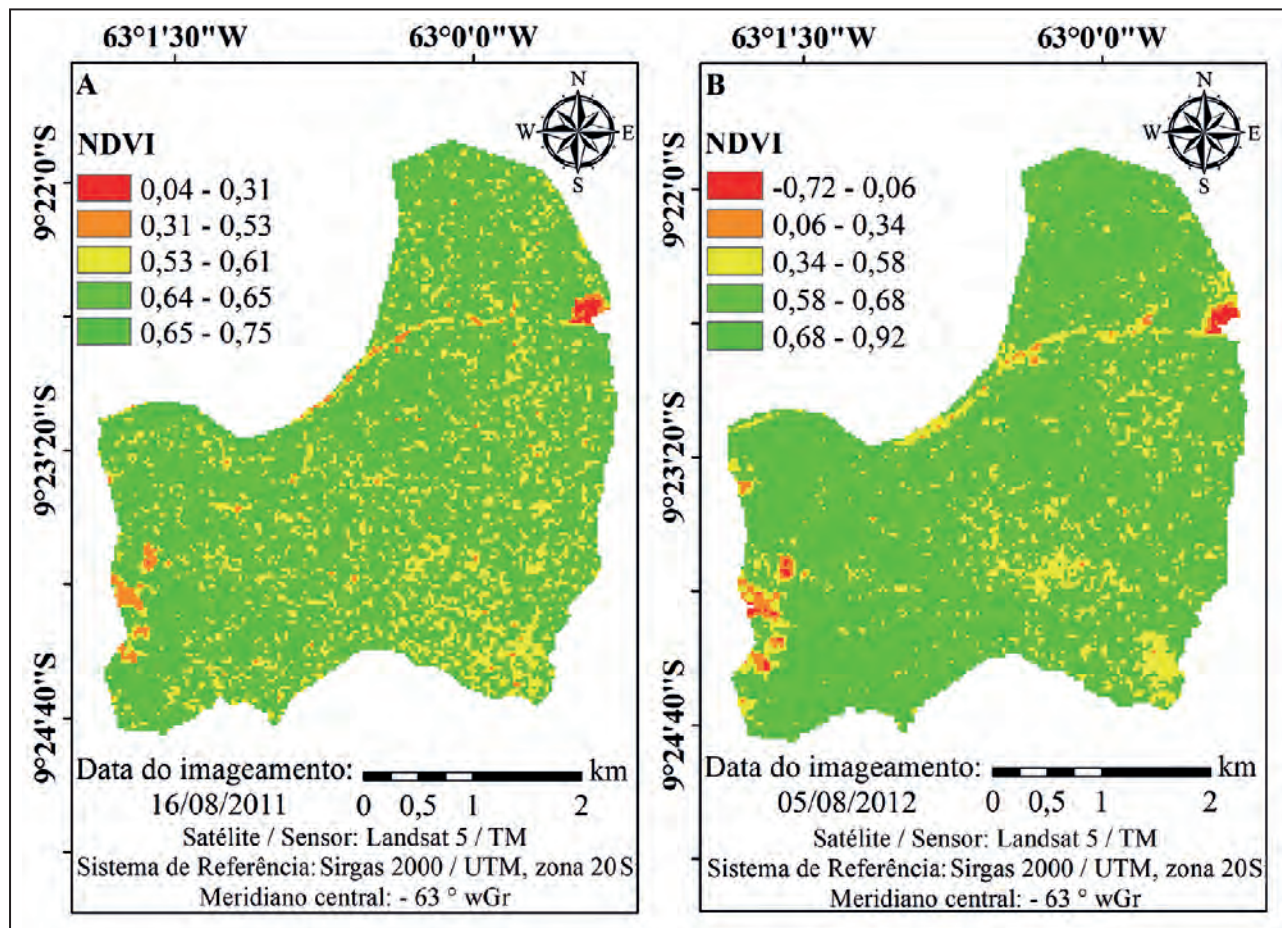


Figura 4 Mapas temáticos referentes aos NDVI, entre os anos de 2011 (A) e 2012 (B) da UPA 01 sob regime de exploração madeireira na modalidade de concessão florestal, na Flona do Jamari em Itapuã do Oeste, Rondônia.

Já em relação ao intervalo entre os anos de 2012 e 2013 (Figura 4B e Figura 6A) na UPA 01, houve uma redução de 8,59% da cobertura vegetal, mesmo não havendo mais atividades de exploração, a qual pode ser explicada a partir de um fato isolado, relatado pelo gerente de exploração florestal da AMATA S.A., no qual mencionou-se que em julho de 2013 ocorreu uma ventania muito forte, que ocasionou, de forma mais severa, danos à vegetação da UPA 01, a consolidação deste fato se dá a partir das explicações de Nimer (1989), nas quais consta que trata-se de um evento atmosférico frequente na região amazônica entre os meses de julho e agosto, devido a correntes de ar perturbadas, as quais marcam o início do inverno amazônico, com ventos de 90 km h⁻¹. Entretanto, ocorreram reduções subsequentes a este período em outras UPAs, as quais relacionam-se, provavelmente, ao aumento da densidade de plantas por espécies pioneiras nas clareiras, que

pode ocasionar uma forte competição por luz e nutrientes, acarretando na elevação das taxas de mortalidade (Santos *et al.*, 2014).

Outro aspecto que pode contribuir para ocorrência dos efeitos supracitados, refere-se ao procedimento de abate das árvores que geram danos às árvores remanescentes como, por exemplo, troncos quebrados, danos graves na casca e quebra de galhos, dessa forma após o término da exploração algumas árvores que foram danificadas, mais severamente, podem ter morrido em virtude das injúrias citadas.

As pesquisas de Martins *et al.* (1997) dão um indicativo desse efeito, pois ao estudarem atividades de exploração seletiva de madeira no município de Jaru, Rondônia observaram que as atividades de exploração danificaram severamente em média 98 árvores por hectare, o que correspondeu a quase 30% do número total médio de árvores por hectare. Em

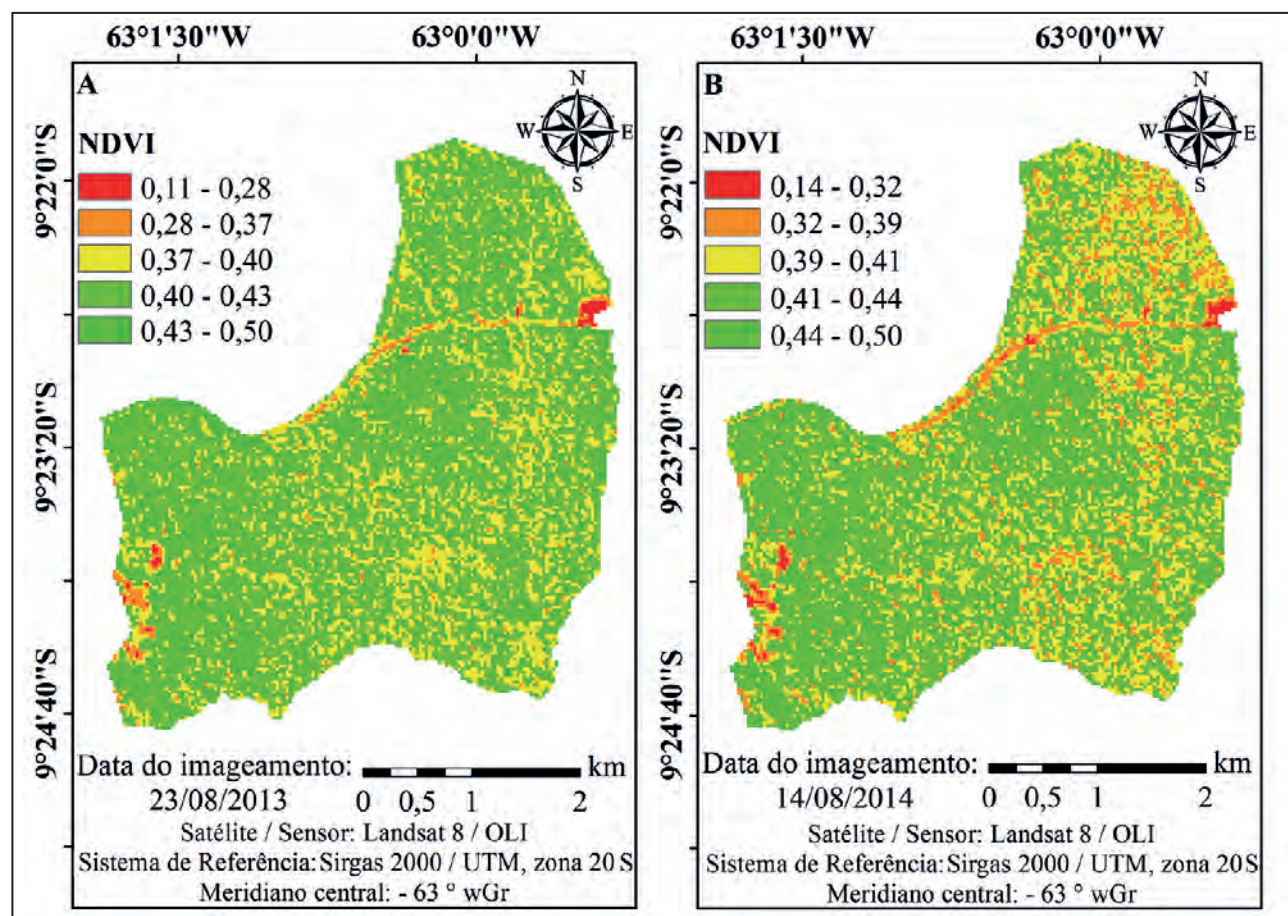


Figura 5 Mapas temáticos referentes aos NDVI, entre os anos de 2013 (A) e 2014 (B) da UPA 02 sob regime de exploração madeireira na modalidade de concessão florestal, na Flona do Jamari em Itapuã do Oeste, Rondônia.

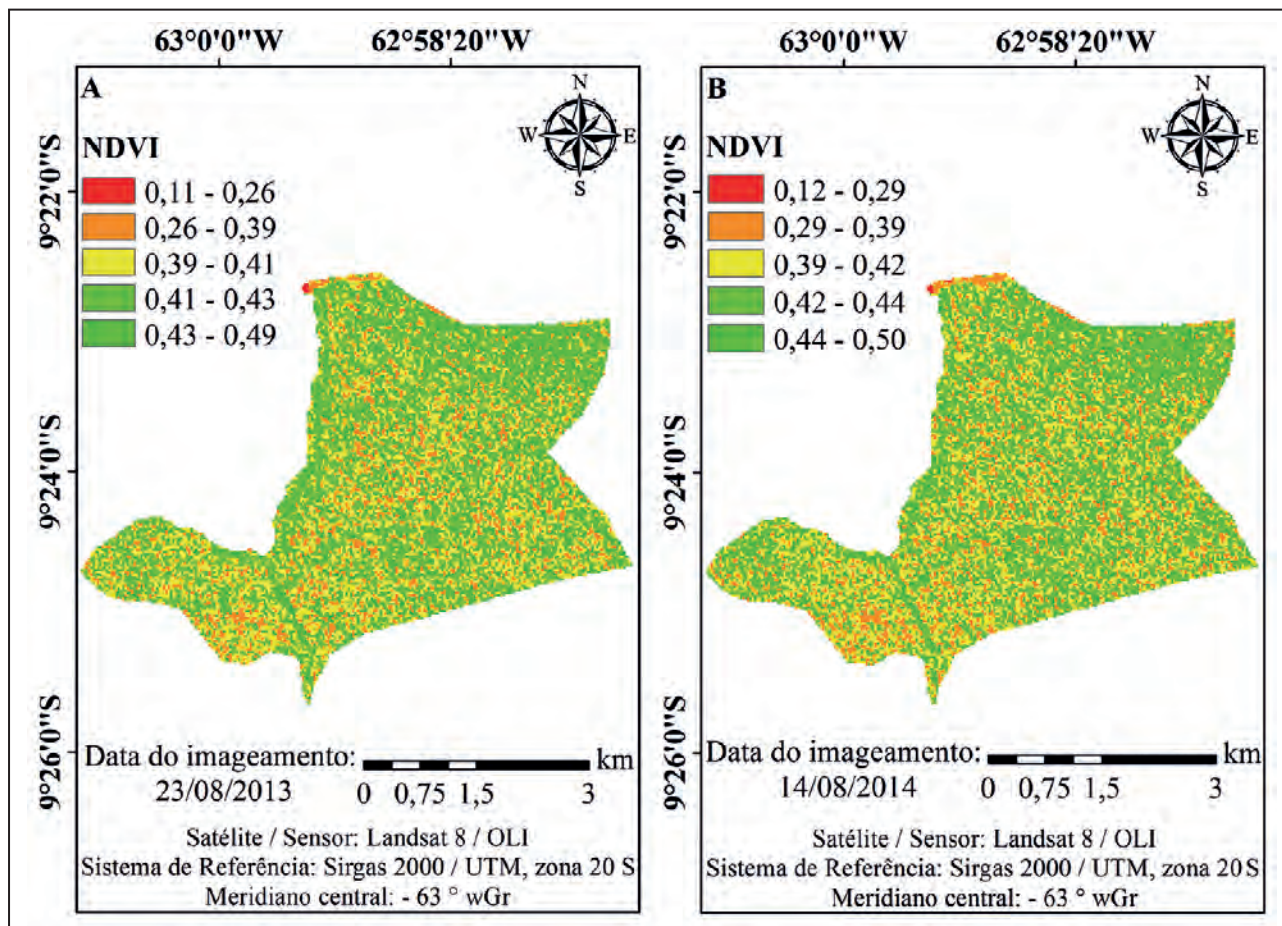


Figura 6 Mapas temáticos referentes aos NDVI, entre os anos de 2013 (A) e 2014 (B) da UPA 01 sob regime de exploração madeireira na modalidade de concessão florestal, na Flona do Jamari em Itapuã do Oeste, Rondônia.

adição, Oliveira & Braz (2006) observaram que dois anos após a exploração, ainda haviam árvores morrendo em decorrência da exploração, entretanto a mortalidade por causas naturais foi superior.

Já Souza (2015), estudando a UPA 01, do presente trabalho, verificou que a taxa de mortalidade (3,4%) foi superior à taxa de ingresso (1,5%) e Pinto (2002), avaliando a dinâmica de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia Ocidental, obteve taxa de mortalidade de 7,53% maior que a taxa de recrutamento. Adiante, no que se refere aos últimos anos de avaliação na UPA 01 (2013 a 2014), ainda é possível notar uma leve tendência de redução da cobertura florestal (Figura 6A e Figura 6B), a qual é em torno de 1,45%. Acredita-se que esse fato possa estar ainda relacionado aos reflexos das atividades de exploração, que podem estar atuando na

taxa de mortalidade tornando-a superior ao ingresso em virtude da competição das espécies pioneiras que se instalaram nas clareiras.

Outro fator que pode ter contribuído para esse efeito, é que o período em que as imagens foram adquiridas são referentes aos meses de estiagem, dessa forma, Pavão *et al.* (2015), em pesquisa realizada no Amazonas utilizando NDVI em dois períodos (seco e chuvoso), observaram que existe um aumento dos valores de NDVI entre 0,00 a 0,55, que correspondem ao solo exposto, no período seco. Além disso, no período seco, algumas espécies florestais apresentam uma estratégia para redução das perdas de água nos períodos secos, por meio da queda de folhas, dessa forma o NDVI é sensível às variações biofísicas do dossel, associada a perda de folhas das árvores, que em muitos casos, acaba diminuindo o valor do índice (Rosa & Breunig, 2015).

Na Figura 7A e Figura 7B, referentes a UPA 02 entre os anos de 2015 e 2016, respectivamente, verificou-se também uma redução da cobertura vegetal, a qual foi em torno de 10%, as explicações para isso podem ser as mesmas atribuídas à UPA 01 entre os anos de 2013 e 2014, entretanto vale ressaltar que na UPA 02 houve uma intensidade de exploração superior, o que provavelmente causou mais danos à vegetação remanescente e consequentemente aumentou a taxa de mortalidade.

Sendo assim, considerando todos aspectos citados no decorrer desse trabalho e diante dos resultados observados para a UPA 01 e UPA 02 nos diferentes anos, mesmo o tempo de avaliação sendo pequeno, pode-se notar que a variação da cobertura vegetal, após a exploração, dá indicativos de semelhança com as premissas descritas por Puig (2008), no que diz respeito aos ciclos silvigenéticos,

pois a curva de variação da cobertura vegetal ao longo do tempo apresenta tendência assintótica, porém os valores reais oscilam de ambos os lados da curva, sendo essas oscilações expressas em três etapas, que são: iniciação (forte crescimento das espécies pioneiras), diferenciação (parâmetros estruturais são superiores há um grande crescimento e alta densidade nesse período) e por último a regressão (taxas de mortalidade maiores que as de ingresso, em virtude da alta competição), ressaltando-se que essa característica é mais representada pela terceira fase na área de estudo.

Além disso, em relação ao índice de vegetação (NDVI), nota-se que é uma ferramenta com potencial de uso no monitoramento dos recursos florestais, entretanto está susceptível às variações das condições atmosféricas, e por conta disso sua aplicação está sujeita a precisão requerida, dessa forma

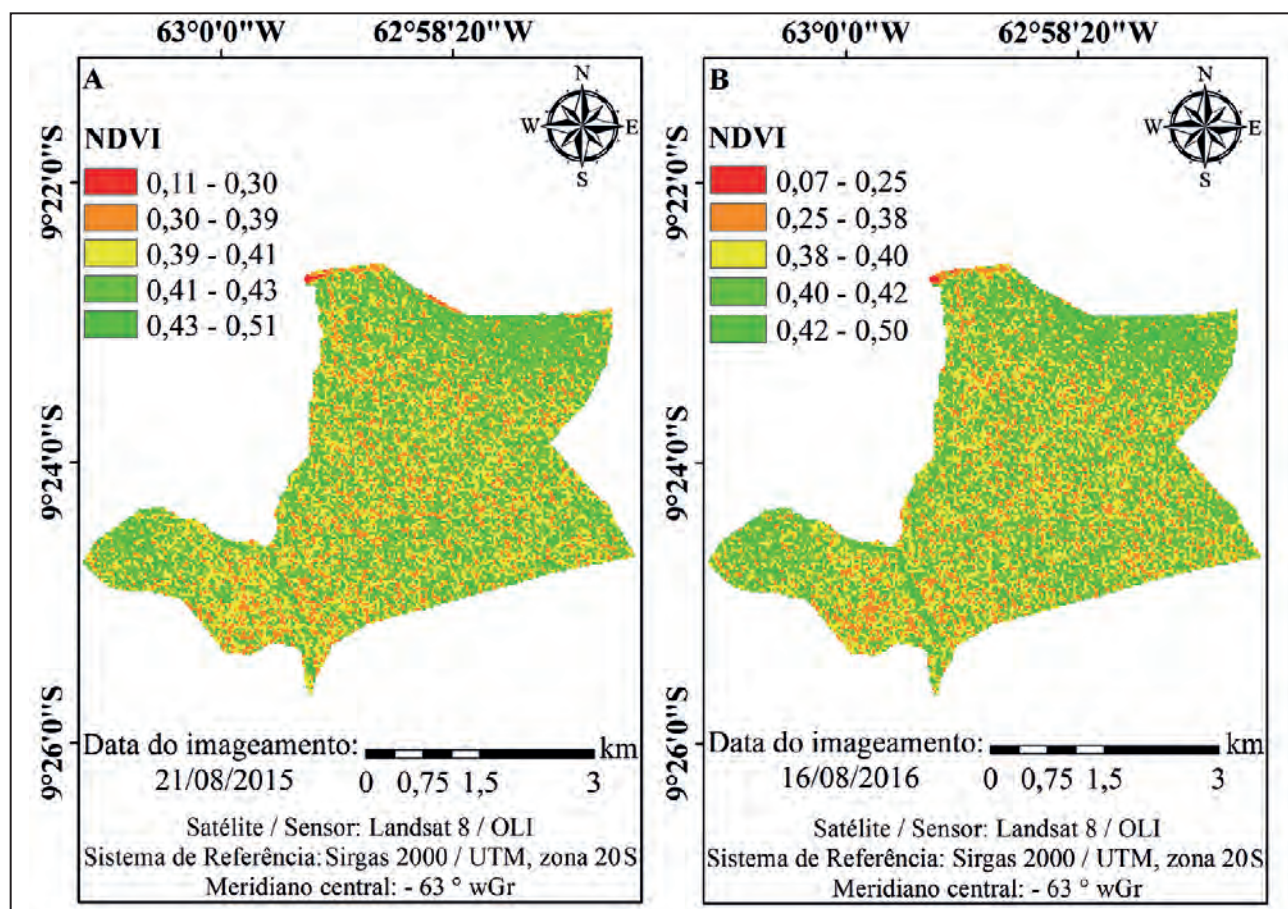


Figura 7 Mapas temáticos referentes aos NDVI, entre os anos de 2015 (A) e 2016 (B) da UPA 02 sob regime de exploração madeireira na modalidade de concessão florestal, na Flona do Jamari em Itapuã do Oeste, Rondônia.

deve-se utilizá-la de forma complementar como ferramenta de auxílio para tomada de decisões.

4 Conclusões

Foi possível verificar a mudança da cobertura vegetal em função da exploração florestal e por eventos atmosféricos naturais, por meio do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na área de concessão florestal em Rondônia.

Entretanto, o uso de geotecnologias e o acompanhamento em campo devem ser complementares, visto que as imagens utilizadas nesse estudo possuem uma resolução espacial baixa e estão sujeitas a interferências do meio ambiente, podendo subestimar ou superestimar a área de vegetação, ou os impactos das atividades de exploração madeireira.

5 Agradecimentos

Ao Serviço Florestal Brasileiro (unidade regional Purus-Madeira), Amata do Brasil (unidade de Itapuã do Oeste) e Universidade Federal de Rondônia pelo fornecimento de informações, estrutura e pessoal.

6 Referências

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.

Amata, 2010. Plano Operacional Anual UPA 01: UMF III - Flona do Jamari. São Paulo. Disponível em: <www.florestal.gov.br/documentos/concessoes-florestais/...do.../163-amata-poa-1>. Acesso em: 10 de maio de 2017.

Amata, 2012. Plano Operacional Anual UPA 02: UMF III - Flona do Jamari. São Paulo. Disponível em: <www.amatabrasil.com.br/download-arquivo?id=930>. Acesso em: 10 de maio de 2017.

Bezerra, M.V.C.; Silva, B.B. & Bezerra, B.G. 2011. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15 (7): 709-717.

Boratto, I.M.P. & Gomide, R.L. 2013. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2013. *Resumos expandidos*. São José dos Campos, INPE, p. 7345-7352.

Brasil. Decreto nº 90.224, de 25 de setembro de 1984. Cria a Floresta Nacional do Jamari, no Estado de Rondônia, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-90224-25-setembro-1984-440503-norma-pe.html>.

Brasil. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Na-

cional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm.

Environmental Systems Research Institute – ESRI, 2017. *ArcGIS Desktop, version 10.5*. Disponível em: <<http://www.desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/get-started/setup/arcgis-desktop-quick-start-guide.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

Facco, D.S.; Benedetti, A.C.P.; Filho, W. P.; Kaiser, E.A. & Osto, J. V.D. 2016. Geotecnologias para monitoramento florestal no município de Nova Palma - Rio Grande Do Sul – BR. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 20(1): 417-426.

Gauto, O.A. 1997. *Análise da dinâmica e impactos da exploração sobre o estoque remanescente (por espécie e por grupos de espécies similares) de uma floresta estacional semi-decidual em Missionen, Argentina*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Dissertação de mestrado, 130p.

Hirai, E.H.; Carvalho, C.J.R.; Silva, J.N.M.; Cavalho, J.O.P. & Queiroz, W.T. 2012.

Efeito da exploração florestal de impacto reduzido sobre a regeneração natural em uma floresta densa de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. *Scientia Forestalis*, 40 (95): 306-315.

Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2005. *Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari - Rondônia*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 250 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2012. Banco de dados georeferenciado dos recursos naturais da Amazônia legal. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapeamento_sistemico/banco_dados_georeferenciado_recursos_naturais/amazonia_legal/>. Acesso em: 19 set. 2015

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2009. Imagem do Satélite LANDSAT 5 (Land Remote Sensing Satellite) sensor TM (Thematic Mapper) bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Órbita/Ponto 232/066 de 31 de julho de 2009. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 01 de maio de 2017.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2010. Imagem do Satélite LANDSAT 5 (Land Remote Sensing Satellite) sensor TM (Thematic Mapper) bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Órbita/Ponto 232/066 de 18 de julho de 2010. < <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/mosaico.php?LAT=-8.67402573844&LON=-63.3572823474&GEOID=1101104&ORBITA=232&PONTO=66&ANO=2010&LANGUAGE=PT&RES=2&IMA=Landsat06&TEM2=GrdTm&TAM=M>> Acesso em: 01 de maio de 2017.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2011. Imagem do Satélite LANDSAT 5 (Land Remote Sensing Satellite) sensor TM (Thematic Mapper) bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Órbita/Ponto 232/066 de 16 de agosto de 2011. < <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/mosaico.php?402573844&LON=-63.3572823474&GEOID=1101104&ORBITA=232&PONTO=66&ANO=2011&LANGUAGE=PT&RES=2&IMA=Landsat06&TEM2=GrdTm&TAM=M>> Acesso em: 15 de maio de 2017.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2012. Imagem do Satélite LANDSAT 5 (Land Remote Sensing Satellite) sensor TM (Thematic Mapper) bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Órbita/Ponto 232/066 de 05 de agosto de 2009. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2015. Imagem do Satélite LANDSAT 8 (Land Remote Sensing Satellite)

- sensor OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor). Órbita/Ponto 232/066 de 21 agosto de 2015. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 30 jul. 2017.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2016. Imagem do Satélite LANDSAT 8 (Land Remote Sensing Satellite) sensor OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor). Órbita/Ponto 232/066 de 16 agosto de 2016. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 30 jul. 2017.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2017. Landsat informações - INPE/DGI. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 06 abr. 2017.
- Kohlhepp, G. 2002. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, 16(45): 37-61.
- Liu, W.T.H. 2006. *Aplicações de sensoriamento remoto*. Campo Grande, Uniderp. 908 p.
- Martins, E.P.; Oliveira, A.D. & Scolforo, J.R.S. 1997. Avaliação dos danos causados pela exploração florestal à vegetação remanescente, em florestas naturais. *Cerne*, 3 (1): 014-024.
- Martins, J.L.F. & Silva, M.H.S. 2014. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para avaliação ambiental da bacia hidrográfica do Alto Guariroba, Campo Grande, MS. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 1 (2): 499-512.
- Monteiro, A.L.; Souza Junior, C.; Barreto, P.; Pantoja, F. & Gerwing, J. 2004. Impactos da exploração madeireira e do fogo em florestas de transição da Amazônia Legal. *Scientia Forestalis*, 65(1): 11-21.
- Nimer, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro, IBGE. 427 p.
- Oberling, D.F. 2013. *Desenvolvimento e aplicação de metodologia de avaliação ambiental estratégica ao planejamento da expansão do plantio de florestas e de biocombustíveis líquidos*. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 269 p.
- Oliveira, M.V.N. & Braz, E.M. 2006. Estudo da dinâmica da floresta manejada no projeto de manejo florestal comunitário do PC Pedro Peixoto na Amazônia Ocidental. *Acta Amazônica*, 36 (2): 177-182.
- Pavão, V.M.; Querino, C.; Benedittl, C.; Pavão, L.L.; Querino, J. & Machado, N.G. 2015. Temperatura e albedo da superfície por imagens TM Landsat 5 em diferentes usos do solo no sudoeste da Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Climatologia*, 16(1): 169-183.
- Pimentel, D.J.O.; Pareyn, F.G.C.; Pinto, A.V.F.; Rabelo, F.R.C. & Silva, R.J.N. 2016. Manejo florestal sustentável no assentamento batalha, Santa Maria da Boa Vista/PE: uma reflexão socioambiental. *South American Journal of basic education, technical and technological*, 3(1): 32-40.
- Pinto, A.C.M.; Souza, A.L.; Souza, A.P.; Machado, C.C.; Minette, L.J. & Vale, A.B. 2002. Análise de danos de colheita de madeira em floresta Tropical úmida sob regime de manejo florestal sustentado na Amazônia Ocidental. *Revista Árvore*, 26(4): 459-466.
- Pismel, V.A.M.; Martorano, L.G.; Monteiro, D.C.A. & Lisboa, L.S.S. 2016. Produto MODIS associado à condição hídrica no solo para diferenciar padrões na vegetação no município de Dom Eliseu, Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, 19(12):178-190.
- Poelking, E.L.; Lauermaun, A.R. & Dalmolin, R.S.D. 2007. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 13, Florianópolis, 2007, *Resumos expandidos*, São José dos Campos, INPE, p. 4145-4150.
- Puig, H. 2008. *A floresta tropical úmida*. São Paulo, Unesp. 496 p.
- Rosa, P.A. & Breunig, F. M. 2015. Variação temporal de índices de vegetação no Parque Florestal de Nonoi. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR*, 17, João Pessoa, 2015. *Resumos expandidos*, São José dos Campos, INPE, p. 627-634.
- Santos, M.G.S.; Moraes, G.C.; Melo, L.O. & Silva, U.S.C. 2014. Estrutura e dinâmica da regeneração natural em área Manejada na floresta nacional do tapajós, Belterra-PA. *In: SEMINÁRIO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS DA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS*, 2, Santarém, 2014. *Resumos expandidos*, Santarém, ICMBIO, p. 167-171.
- Serviço Florestal Brasileiro – SFB, 2017. Balanço de produção – Floresta Nacional do Jamari (RO). Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/florestas-sob-concessao/96-concessoes-florestais/florestas-sob-concessao/jamari/370-balanco-de-producao-jamari>>. Acesso 12 jun. 2017.
- Silva, C.A.V.; Silva, H.A.; Oliveira, T.H. & Galvêncio, J.D. 2009. Uso do Sensoriamento Remoto através de Índices de Vegetação NDVI, SAVI e IAF na microrregião de Itamaracá - PE. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14, Natal, 2009. *Resumos expandidos*, Natal, INPE, p. 3079-3085.
- Silva, H.G.; Jacomine, P.K.T; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumberras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Cunha, T.J.F. & Oliveira, J.B. 2013. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, Embrapa, 353 p.
- Silva, L.C.; Cunha, J.M.; Machado, N.G.; Campos, M.C.C. & Biudes, M.S. 2015. Estimativa do balanço de radiação por sensoriamento remoto de diferentes usos de solo no sudoeste da Amazônia brasileira. *Sociedade e Natureza*, 27(2): 341-356.
- Souza, V.T. 2015. *Análise da dinâmica de uma unidade de produção anual em área de exploração na Flona do Jamari-RO*. Bacharelado em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia, Trabalho de Conclusão de Curso, 35p.
- Tavares, T.R.; Fiorio, P.R.; Martello, M.; Monteiro, D. & Strabeli, T.F. 2015. Uso de geotecnologias para monitoramento da vegetação florestal nativa em períodos de seca no município de Piracicaba-SP. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA*, 44, São Pedro, 2015. *Resumos expandidos*, São Pedro, SBEA, p. 13-17.
- United States Geological Survey – USGS. 2013. Imagem do Satélite LANDSAT 8 (Land Remote Sensing Satellite) sensor OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor). Órbita/Ponto 232/066 de 23 de agosto de 2015. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 02 ago. 2017.
- United States Geological Survey – USGS. 2014. Imagem do Satélite LANDSAT 8 (Land Remote Sensing Satellite) sensor OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor). Órbita/Ponto 232/066 de 14 de agosto de 2015. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 02 ago. 2017.
- United States Geological Survey – USGS, 2016. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>>. Acesso 12 jun. 2017.