

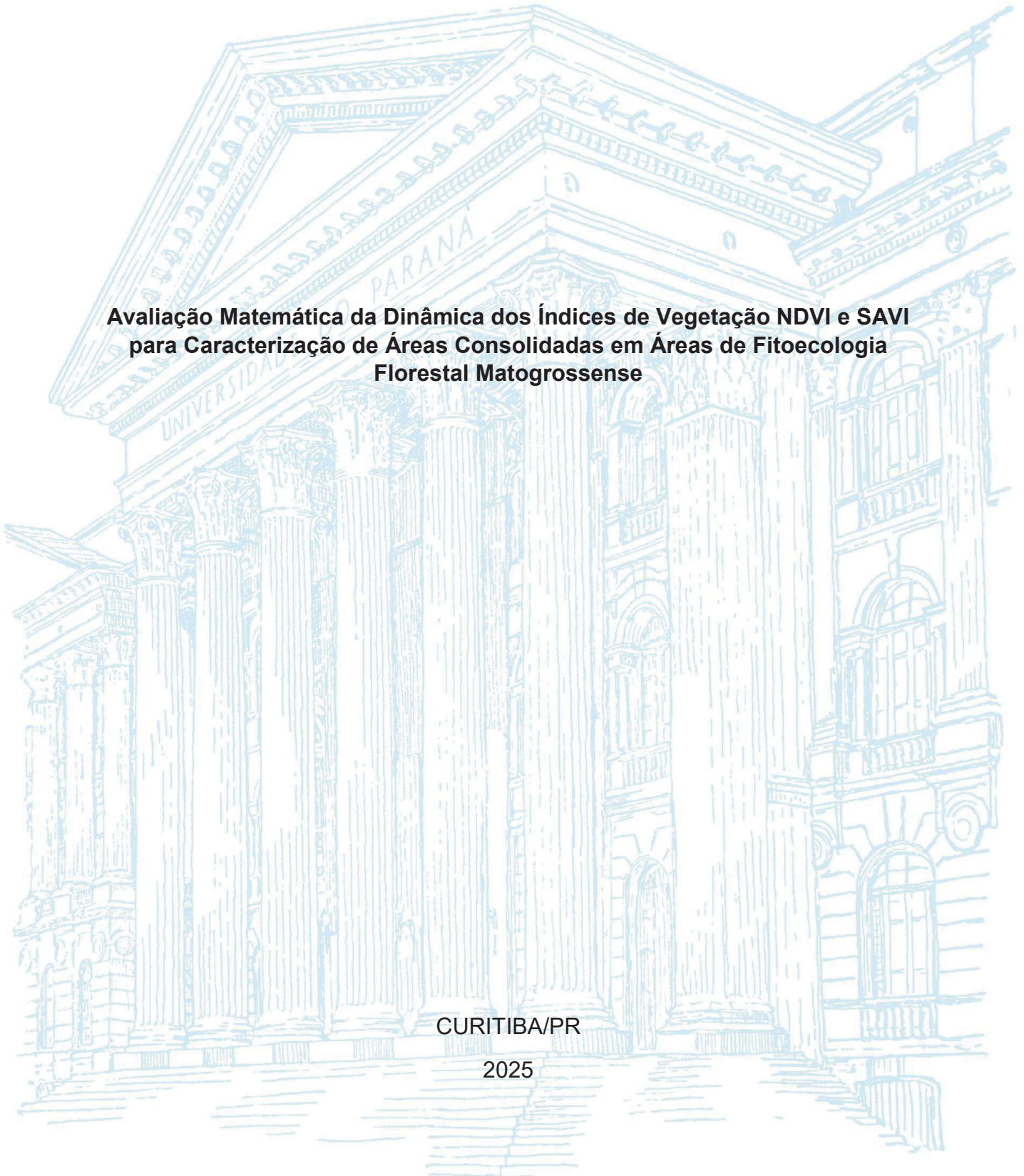
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
(PECCA)

RAFAEL LUCAS RODRIGUES SILVA

**Avaliação Matemática da Dinâmica dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI
para Caracterização de Áreas Consolidadas em Áreas de Fitoecologia
Florestal Matogrossense**

CURITIBA/PR

2025



RAFAEL LUCAS RODRIGUES SILVA

**Avaliação Matemática da Dinâmica dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI
para Caracterização de Áreas Consolidadas em Áreas de Fitoecologia
Florestal Matogrossense**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em MBA em Gestão Florestal, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias (PECCA), Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal. Orientador: Prof. Dr. Alexandre dos Santos

CURITIBA/PR

2025

AGRADECIMENTOS

A Deus toda honra e toda glória, como está em Colossenses 3: 17 “E tudo o que fizerdes, seja em palavra, seja em ação, fazei-o em nome do Senhor Jesus, dando por ele graças ao Deus Pai.” Sem a Sua graça e direção nada seria possível, cuja presença e esperança me guiaram nessa jornada de aprendizado e crescimento.

Aos meus pais, sou grato pelo amor incondicional, dedicação, pelas horas de trabalho em prol da minha formação, apoio constante e ensinamentos que levarei por toda minha vida. Vocês são meu maior exemplo de dedicação e coragem.

Aos meus irmãos sou grato pela paciência, amor, por estarem sempre ao meu lado me apoiando e celebrando cada conquista. Além disso, também agradeço à minha noiva pelo carinho, compreensão e incentivo. Sua presença foi fundamental nessa jornada, me trazendo, leveza, motivação, alegria e gratidão.

A UFPR e a todos os professores, pelo conhecimento compartilhado, pelo compromisso com a formação acadêmica e pelo apoio durante a trajetória desse trabalho.

Por fim, a cada um, que de alguma forma, contribuiu para que esse trabalho fosse concluído, deixo aqui minha gratidão.

RESUMO

O estudo avalia a dinâmica dos índices de vegetação NDVI e SAVI para caracterização de áreas consolidadas em fitofisionomias florestais no município de Alta Floresta, MT. Nesse contexto, utilizou-se do sensoriamento remoto como ferramenta principal da análise, a qual permite a análise espectral da vegetação por meio da relação entre as bandas do vermelho (B3) e infravermelho próximo (B4) do satélite Landsat 5, com resolução espacial de 30 m. O NDVI foi aplicado como indicador clássico de vigor vegetativo, enquanto o SAVI buscou minimizar a influência do solo exposto. As imagens foram processadas em ambiente SIG (QGIS 3.32.1), com extração de reflectância pixel a pixel no período de 2000 a 2008. A partir desses dados, foram obtidas médias anuais, o que permitiu a construção de séries históricas e análise temporal da vegetação mais facilitada. Os resultados indicaram maior densidade de cobertura vegetal em 2000–2001, seguida de queda progressiva até atingir valores mínimos em 2007 (NDVI = 0,27; SAVI = 0,41). Tais índices situam-se abaixo do padrão esperado para florestas nativas, evidência de que a área não mantém condição natural. A análise comparativa da dinâmica de imagem confirma uso antrópico entre 2003 e 2008, associado à redução da densidade vegetativa. Do ponto de vista legal, a interpretação está fundamentada no Decreto Federal nº 7.830/2012, no Decreto nº 8.235/2014 e no Decreto Estadual/MT nº 1.031/2017, os quais definem parâmetros para áreas degradadas, alteradas e consolidadas. Portanto, com base nos índices de vegetação e na legislação vigente, a área estudada configura-se como área consolidada, em virtude da alteração antrópica anterior a julho de 2008. O estudo reforça a importância do uso de sensoriamento remoto e análise multitemporal como suporte técnico-científico à gestão florestal.

Palavras-chave: Índice de vegetação, NDVI, SAVI, Sensoriamento Remoto, Áreas Consolidadas, Análise Multitemporal

ABSTRACT

The study evaluates the dynamics of the NDVI and SAVI vegetation indices for the characterization of consolidated areas in forest phytophysionomies in the municipality of Alta Floresta, Mato Grosso, Brazil. In this context, remote sensing was used as the main analytical tool, allowing the spectral analysis of vegetation through the relationship between the red (B3) and near-infrared (B4) bands of the Landsat 5 satellite, with a spatial resolution of 30 meters. NDVI was applied as a classical indicator of vegetative vigor, while SAVI aimed to minimize the influence of exposed soil. The images were processed in a GIS environment (QGIS 3.32.1), with pixel-by-pixel reflectance extraction for the period from 2000 to 2008. From these data, annual averages were obtained, allowing the construction of historical series and facilitating temporal analysis of vegetation. The results indicated higher vegetation cover density in 2000–2001, followed by a progressive decline reaching minimum values in 2007 (NDVI = 0.27; SAVI = 0.41). These indices are below the expected standard for native forests, providing evidence that the area no longer maintains natural conditions. Comparative analysis of image dynamics confirms anthropogenic land use between 2003 and 2008, associated with reduced vegetative density. From a legal standpoint, the interpretation is based on Federal Decree No. 7.830/2012, Decree No. 8.235/2014, and State Decree (MT) No. 1.031/2017, which define parameters for degraded, altered, and consolidated areas. Therefore, based on vegetation indices and current legislation, the studied area is classified as a consolidated area due to anthropogenic alteration prior to July 2008. The study reinforces the importance of using remote sensing and multitemporal analysis as technical and scientific support for forest management.

Keywords: Vegetation Indices, NDVI, SAVI, Remote Sensing, Consolidated Areas, Multitemporal Analysis

SUMÁRIO

Sumário

1. Introdução.....	6
1.1. Sensoriamento Remoto.....	6
1.2. NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.....	6
1.3. SAVI - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo	7
2. Metodologia	7
2.1. Imagens de satélites.....	7
2.2. Localização da Área do Estudo.....	7
2.3. Cálculo do NDVI.....	8
2.4. Cálculo do SAVI	9
2.5. Dinâmica dos Índices de Vegetação (2000 a 2008)	9
3. Resultado e Discussão	9
3.1. NDVI, SAVI e SATVeg	9
3.2. Dinâmica de Imagem.....	11
3.3. Base Legal para caracterização de Áreas Consolidadas	12
4. Conclusão.....	13
5. Referências Bibliográficas	13

1. Introdução

1.1. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento promove a aquisição de imagens da superfície terrestre, processadas e geradas por meio da detecção e medição quantitativa da interação entre a radiação eletromagnética com os alvos da superfície terrestre (JENSEN, 2009). Dessa forma, o mapeamento, com a utilização do sensoriamento, possibilita a realização de análises com objetivo de obter dados de áreas heterogêneas em diferentes tipos de escalas com alta frequência temporal e boa acurácia (XIE et al., 2019).

Além disso, esse instrumento de análise de imagem possibilita a utilização de índices de vegetação, os quais têm por objetivo identificar e caracterizar os parâmetros biofísicos da vegetação e as propriedades espectrais de acordo com a razão de diferenças de bandas espectrais das imagens. Assim, aponta o valor e qualidade da vegetação em observação, relacionado a área foliar, vigor vegetativo, atividade fotossintética, biomassa e teor de clorofila (HUETE et al., 1997; PONZONI; SHIMABUKURO, 2010; THENKABAIL, 2016).

1.2. NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

Nesse sentido, existem diferentes índices para análise da vegetação, dentre eles o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), o qual é mais sensível à situação da vegetação e a sua qualidade, por meio de seus resultados pode identificar áreas com e sem vegetação (OLIVEIRA, 2012; ROSENDO et al., 2007). Os índices de vegetação possuem grande capacidade em dar resposta ao monitoramento, conservação de área de interesse ambiental e na gestão (ANJOS, et al 2013). Rosendo et al. (2007) afirma que esse índice varia entre -1 e 1, isto é, quanto mais próximo de 1, maior será densidade da cobertura vegetal, porém, se for menor que zero, demonstra o valor a para corpos hídricos e ausência de vegetação.

A Embrapa, por meio do SATVeg, disponibiliza uma ferramenta de análise de observações de perfis temporais de Índices de Vegetação, os quais são disponibilizados em um grande banco de dados espaciais, os quais serão utilizados como meio de comparação do estudo da área proposta pelo trabalho. Essa ferramenta é desenvolvida pela Embrapa Agricultura Digital e estão

disponíveis as séries históricas completas dos índices vegetativos NDVI e EVI, derivados das imagens do sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua.

1.3. SAVI - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

O SAVI é um índice derivado do NDVI, mas apresenta a diferença de que incorpora os efeitos do solo exposto nos cálculos realizados. Segundo Huete et al. (1985), os índices de vegetação apresentam maior sensibilidade ao tipo de solo em áreas com cobertura vegetal intermediária. Para atenuar essa influência, o SAVI utiliza uma constante de ajuste, representada pela letra “L”, que tem a função de minimizar o impacto do solo nos valores obtidos pelo índice.

De acordo com Huete (1988), um valor para Ls de 0,25 é indicado para vegetação densa e de 0,5 para vegetação com densidade intermediária, quando o valor de Ls for 1 para vegetação com baixa densidade. Se o valor do SAVI for igual a 0, seus valores tornam-se igual aos valores do NDVI.

2. Metodologia

2.1. Imagens de satélites

Aquisição das bandas espectrais adequadas para a realização do trabalho do satélite Landsat 5, cuja resolução espacial é de 30m e foram corrigidas atmosféricamente e normalizadas, as cenas estão disponibilizadas no site do Serviço Geológico Americano (USGS). Além disso, também foi necessário, a composição de imagens de satélite na região visível para utilizar como contra prova aos dados obtidos pelos índices NDVI e SAVI.

2.2. Localização da Área do Estudo

É importante salientar que a área objeto de estudo está contida na fitoecologia de Floresta, de acordo com o RadamBrasil (Figura 1), no município de Alta Floresta, MT. Em relação a propriedade e localização específica da área de estudo averigou-se que a denominação é Fazenda JC01 (coordenada 55°58'39,894"W 9°43'49,566"S). Além disso, a área do estudo em discordância com a base da Uso Consolidado da SEMA está demonstrada na região informada pela Figura 2 e caracterizada pelas coordenadas presente na Figura

3. Outrossim, a Base de Uso Consolidado da Sema tem como referência a data de 14/02/2024.

Figura 1 - Mapa de Tipologia

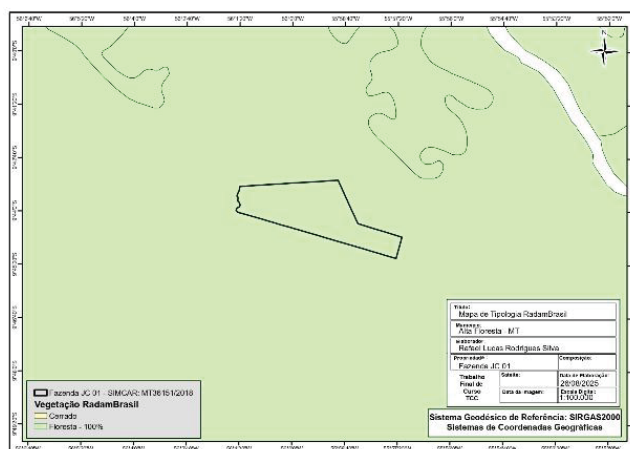


Figura 2 – Sobreposição a Base de Área Consolidada

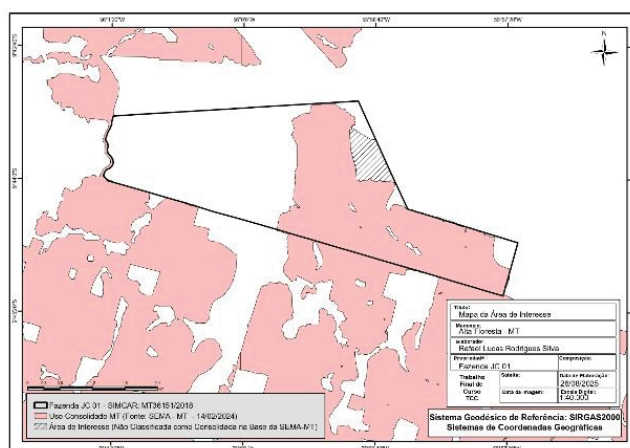
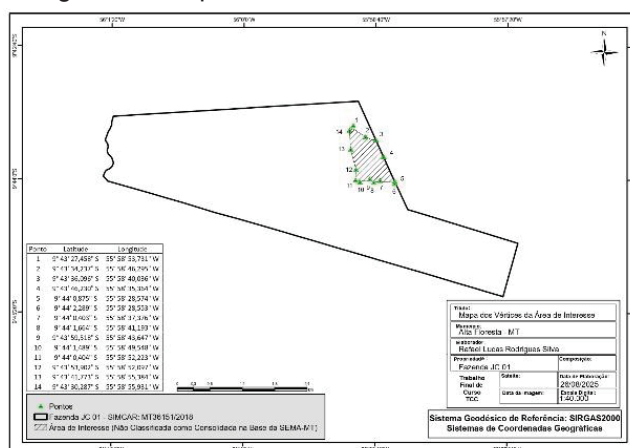


Figura 3 – Mapa dos Vértices da Área do Estudo



2.3. Cálculo do NDVI

O cálculo do NDVI seguirá a seguinte fórmula proposta Rouse et al. (1973), conforme a equação seguinte:

$$NDVI = (IFV - V)/(IFV + V)$$

Banda: do vermelho (V) e do infravermelho próximo (IFV).

2.4. Cálculo do SAVI

Seguirá o que foi proposto conforme Huete (1988):

$$SAVI = (1+Ls)x(IFV-V)/(Ls+IFV+V)$$

Banda: do vermelho (V) e do infravermelho próximo (IFV)

Ls de 0,25 é indicado para vegetação densa e de 0,5 para vegetação com densidade intermediária, quando o valor de Ls for 1 para vegetação com baixa densidade. Nesse contexto, para a área de Estudo foi considerado um Ls de 0,5, dado que a existe cobertura parcial do solo.

2.5. Dinâmica dos Índices de Vegetação (2000 a 2008)

Em primeiro lugar, será obtido os pontos centrais de todos os pixels da área de interesse utilizando ferramentas SIG, do software QGIS versão 3.32.1. Em segundo lugar será extraído os dados de reflectância de cada pixel dos índices de vegetação ano por ano. Em terceiro lugar, será realizado a somatória dos valores do índices da área em cada ano e, em seguida, será realizado a média dos valores, assim, de acordo com a somatória dos valores do NDVI realizará a divisão pela quantidade de pixels incidente na área. Por último, haverá a confecção de gráficos com os valores médios do índices de cada ano ao longo do período de interesse, com a finalidade de perceber os pontos de maiores e menores reflectância e estabelecer uma análise facilitada da mudança de estrutura vegetal na área do estudo.

3. Resultado e Discussão

3.1. NDVI, SAVI e SATVeg

Inicialmente, a dinâmica dos índices de vegetação estarão representadas graficamente nas figuras 4, 5 e 6 a seguir:

Figura 4 - Dinâmica de NDVI. Fonte: Autor

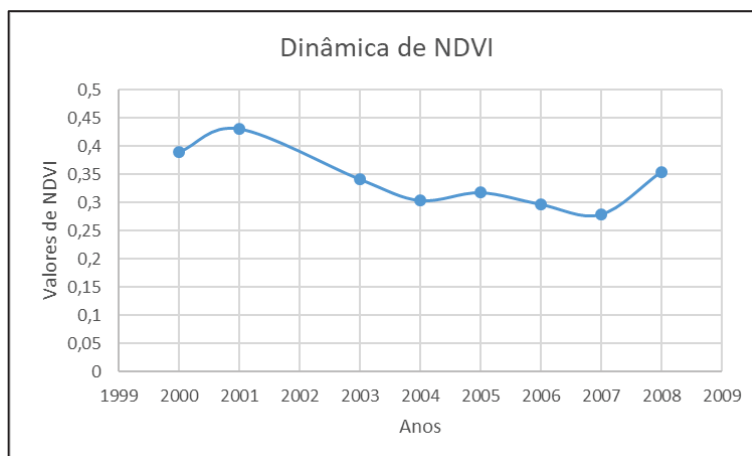


Figura 5 - Dinâmica do SAVI. Fonte: Autor

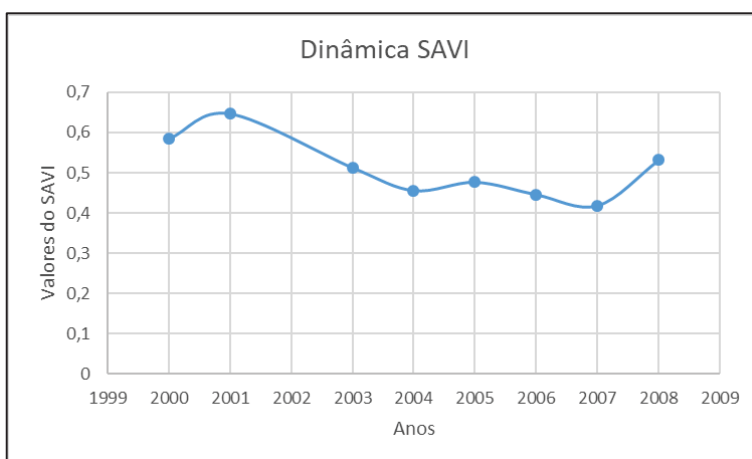
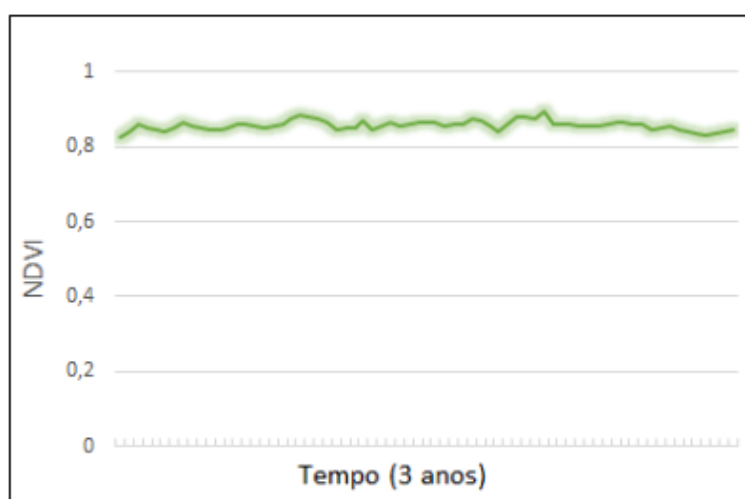


Figura 5 - Padrão SATVeg (Floresta). Fonte: Embrapa (SATVeg)



Nesse contexto, o conforme as figuras 4 e 5, dos resultados do NDVI e SAVI, respectivamente, é possível identificar na série histórica desses índices

indicam que nos anos 2000 e 2001, a estrutura da vegetação eram mais densas do que nos anos subsequentes. Além disso, dentro do período analisado, com a finalidade de averiguação de Área Consolidada, possui uma oscilação, mas no ano de 2007 possui uma mínima histórica, o qual representa uma mudança na estrutura vegetativa resultando na menor densidade da vegetação *in-loco*.

Ademais, conforme a figura 3, a qual é o padrão de 3 anos produzido pela Embrapa, que demonstra a condição vegetativa de uma área de Floresta Nativa sem sofrer alterações, informa que o padrão do índice NDVI para essa situação é de pequenas oscilações em valores próximo a 0,8, porém, para a região do estado, os maiores valores de NDVI alcançados foram 0,43 e o menor 0,27, isto é, a condição vegetativa da área não é de Vegetação Natural. Além disso, demonstra que houve uso antrópico entre os anos de 2003 e 2008.

3.2. Dinâmica de Imagem

A seguir, como contraprova estão as figuras dos mapas da dinâmica de imagem de 2000 a 2008.

Figura 6 – Dinâmica 2000

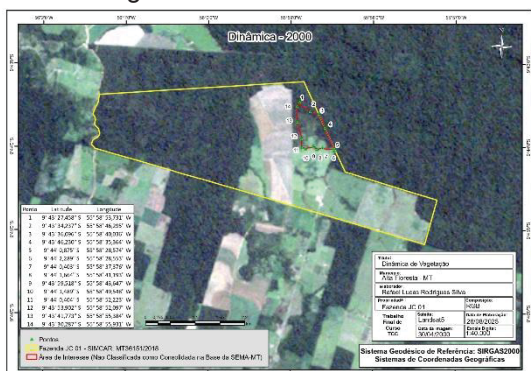


Figura 7 – Dinâmica 2001

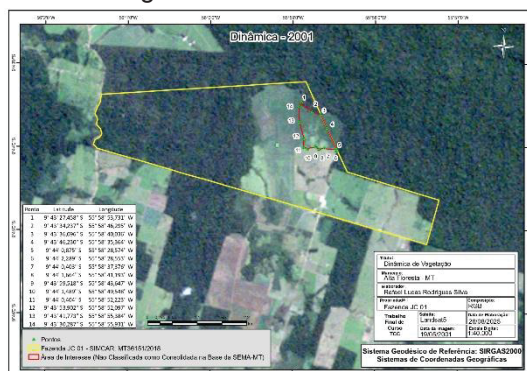


Figura 8 – Dinâmica 2003

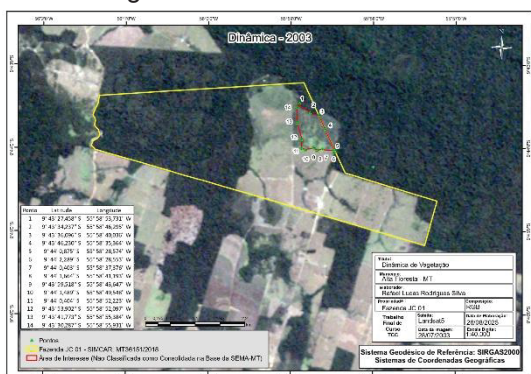


Figura 9 – Dinâmica 2004

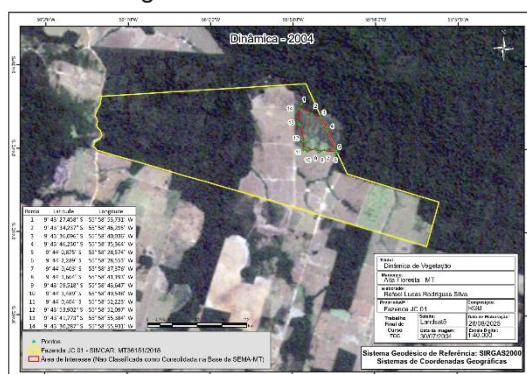


Figura 10 – Dinâmica 2005

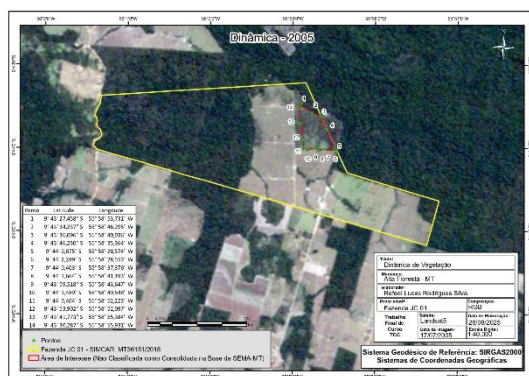


Figura 11 – Dinâmica 2006

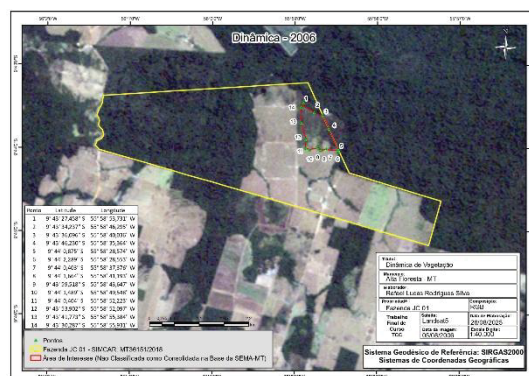


Figura 12– Dinâmica 2007

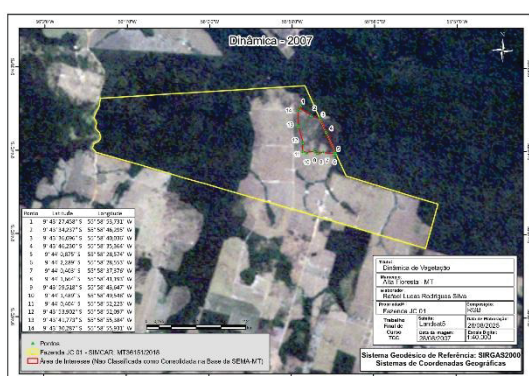
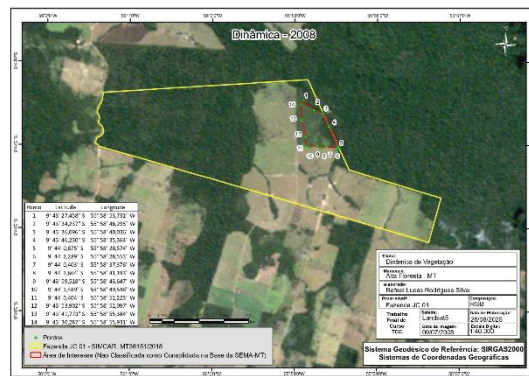


Figura 13 – Dinâmica 2008



Nesse contexto, como demonstrado nos gráficos do NDVI e SAVI e ratificado pelas dinâmicas de Vegetação, é possível validar que a área do estudo possui uso antropizado entre os anos de 2003 a 2008.

3.3. Base Legal para caracterização de Áreas Consolidadas

A legislação para caracterizar uma área como consolidada estão relacionadas aos Decreto N°7.830, DE 17 DE OUTUBRO DE 2012, o qual caracteriza, no Art. 2, inciso V,VI, descrito a seguir

V - área degradada - área que se encontra alterada em função de impacto antrópico, sem capacidade de regeneração natural;

VI - área alterada - área que após o impacto ainda mantém capacidade de regeneração natural;

Além disso, soma-se ao que está definido no Decreto N° 8.235, DE 5 DE MAIO DE 2014, no Art. 2 § 4º, descrito a seguir

§ 4º As áreas degradadas ou alteradas, conceituadas nos incisos V e VI do caput do art. 2º do Decreto nº 7.830, de 2012, serão consideradas áreas antropizadas para efeitos de cadastramento no CAR.

Ademais, conforme DECRETO 1.031 do Estado de Mato Grosso, DE 02

DE JUNHO DE 2017, no Art 48 no § 5º, descritos a seguir:

Art. 48 Para o cadastro ambiental rural será considerada consolidada, a área do imóvel rural que demonstre ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio de 5 (cinco) anos.

§ 5º A área definida como consolidada, nos termos do que estabelece o Código Florestal, não perde essa condição, salvo se voluntariamente requerida pelo proprietário/possuidor sua recategorização.

4. Conclusão

Portanto, segundo a caracterização dos índices de vegetação, os quais demonstram que os valores da área de estudo estão bem abaixo aos de áreas de Floresta em condição vegetativa natural. Além disso, é possível validar que os valores dos índice de vegetação oscilaram durante os anos do histórico e chegaram a mínimas a 0,27 do NDVI e 0,41 do SAVI, o que indica que ocorream alterações de densidade na vegetação da área resultantes de uso antropizado, o que, segundo a legislação vigente, é área de uso antropizado durante os anos de 2003 a 2008, assim, são consideradas áreas consolidadas.

5. Referências Bibliográficas

ANJOS,V.S.; SANO, E.E.; BEZERRA, H.S; ROSA, R., Caracterização espectral de pastagens do Triângulo mineiro utilizando dados do MODIS EVI2(200- 2010) Revista Sociedade e Natureza, Uberlândia, 25 (1): 205-215, jan.- abr 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000100016>.

EMBRAPA (SATVeg) -
<https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/pages/home.html>

Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., and Leeuwen, W. (1997). Comparação de índices de vegetação em um conjunto global de imagens TM para o EOS-MODIS. Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente, New York, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5).

Huete, A.R. Um índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI). *Remote Sensing Environment*. v. 25, p. 295–309, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres*. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese Editoria, 2009.

OLIVEIRA, T.H., *Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município de Recife - PE*. Dissertação de Mestrado em Geografia - UFPE, Recife - PE, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10921>

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 127 p.

ROSENDO, S. J., ROSA, R. Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4209-4216.

THENKABAIL, P. S.; LYON, J. G.; HUETE, A. *Sensoriamento remoto hiperespectral da vegetação*. Boca Raton: CRC Press, 2016. 782 . Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/262840259_hyperspectral_remote_sensing_of_vegetation

XIE, Q.; DASH, J.; HUETE, A.; JIANG, A.; YIN, G.; DING, Y.; PENG, D.; HALL, C. C.; BROWN, L.; SHI, Y.; YE, H.; DONG, Y.; HUANG, W. Obtenção de parâmetros biofísicos de culturas a partir de imagens de sensoriamento remoto do Sentinel-2. *Revista Internacional de Observação da Terra Aplicada e Geoinformação*, v. 80, p. 187-195, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.04.019>