



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 6, n° 2 (2020)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n2ID21984>



ESTUDO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL TRIUNFO DO XINGU (PA) UTILIZANDO O GOOGLE EARTH ENGINE

Laízy de Santana Azevedo¹; Leonardo Carlos Barbosa²

¹Mestranda em Ciências Geodésicas, Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6083-0714>

Email: laizy.azevedo@ufpe.br

²Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Instituto de Engenharia do Araguaia, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Santana do Araguaia/PA, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0377-1527>

Email: leonardo.carlos@unifesspa.edu.br

Resumo

As áreas de preservação ambiental no Estado do Pará sofrem com a falta de estudos científicos sobre os efeitos das mudanças de uso da terra e da temperatura da superfície terrestre. Neste contexto, este estudo visa analisar o Índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e verificar o comportamento da temperatura superficial da terra na Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, no estado do Pará, entre os anos 2000 e 2019 utilizando a plataforma Google Earth Engine (GEE). Os resultados obtidos mostraram que a temperaturas da superfície terrestre na área de estudo, variou em média de 26,79° C para o ano 2000 a 28,90° C para o ano 2019. Os NDVIs mostraram diminuição representativa da vegetação entre os 20 anos estudados indicando mudanças ocorridas em uma área de aproximadamente 828 km² (4,93 % da área total da APA). Os resultados mostraram que apesar das mudanças identificadas na região de estudo, grande parte da cobertura vegetal foi conservada.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Índice de Vegetação; Temperatura da superfície Terrestre; Detecção de mudança.

STUDY OF VEGETATION INDEX AND TERRESTRIAL SURFACE TEMPERATURE IN THE TRIUMPH ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA OF XINGU (PA) USING GOOGLE EARTH ENGINE

Abstract

The environmental preservation areas in the State of Pará provide with the lack of scientific studies on the effects of changes in land use and the temperature of the earth's surface. In this context, this study aims to analyze the Vegetation Index by Normalized Difference (NDVI) and to verify the behavior of the surface temperature of the land in the Environmental Protection Area (APA) Triunfo do Xingu, in the state of Pará, between the years 2000 and 2019 using a Google Earth Engine (GEE) platform. The results sought that the terrestrial surface in the study area, varied in average of 26.79° C for the year 2000 to 28.90° C for the year 2019. The NDVIs attenuated to represent the vegetation between the 20 years studied indicating changes occurred in an area of approximately 828 km² (4.93% of the total area of the APA). The results induced that despite the changes identified in the study region, much of the vegetation cover was conserved.

Keywords: Remote sensing; Vegetation Index; Earth's surface temperature; Change detection.

ESTUDIO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN Y TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE TERRESTRE EN EL ÁREA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DEL TRIUNFO DE XINGU (PA) UTILIZANDO EL MOTOR GOOGLE EARTH

Resumen

Las áreas de preservación ambiental en el estado de Pará dan cuenta de la falta de estudios científicos sobre los efectos de los cambios en el uso del suelo y la temperatura de la superficie terrestre. En este contexto, este estudio tiene como objetivo analizar el Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI) y verificar el comportamiento de la temperatura superficial del terreno en el Área de Protección Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, en el estado de Pará, entre los años 2000 y 2019 utilizando una plataforma Google Earth Engine (GEE). Los resultados buscaron que la superficie terrestre en el área de estudio varió en promedio de 26,79° C para el año 2000 a 28,90° C para el año 2019. Los NDVIs atenuados para representar la vegetación entre los 20 años estudiados indicando cambios ocurridos en un área de aproximadamente 828 km² (4.93% del

área total de la APA). Los resultados indujeron que a pesar de los cambios identificados en la región de estudio, se conservó gran parte de la cobertura vegetal.

Palabras-clave: Sensores remotos; Índice de vegetación; Temperatura de la superficie terrestre; Detección de cambios.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico dos instrumentos de aquisição e processamento de dados espaciais, é possível representar e quantificar objetos e fenômenos da superfície terrestre auxiliando no seu mapeamento. Essas tecnologias voltadas ao meio ambiente representam uma importante ferramenta para pesquisadores de diversas áreas fornecendo informações para subsidiar processos de planejamento e tomada de decisões.

Deste modo, os dados de Sensoriamento Remoto (SR) obtidos por satélites têm a capacidade de fornecer informações sobre propriedades da superfície da terra. Esta característica permite aprofundar a extração de informações sobre os diferentes alvos da superfície terrestre, como é o caso de estudos que envolvem a cobertura de vegetação, temperatura e precipitação. Segundo Ferreira Júnior e Dantas (2018), devido aos avanços tecnológicos, a utilização de satélites tornou-se uma ferramenta de extrema importância para estudos relacionados a configuração da superfície terrestre. Dentre os diversos estudos que o SR proporciona, podemos destacar análises espaço-temporais da vegetação detectando mudanças da cobertura do solo, sejam ela provenientes de ações antrópicas ou de alterações climáticas, por exemplo. Ponzoni e Shimabukuro (2010), afirmam que por meio da detecção remota é possível analisar a vegetação sobre áreas extensas utilizando Índices de Vegetação.

Estudar variações da vegetação ao longo dos anos requer que também sejam analisados parâmetros climáticos que podem afetar a saúde e dinamismo da cobertura vegetal. Neste sentido, pesquisadores da área sempre buscam relacionar estudos de vegetação com variações de temperatura e precipitação (Gomes et al., 2019; Silva et al., 2017; Carvalho e Neri, 2018).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo estudar, através de detecção remota, alterações ambientais na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu – PA entre os anos 2000 e 2019. As alterações estudadas aqui referem-se a mudanças na cobertura vegetal, identificadas através do cálculo de índice de vegetação, e mudanças na temperatura da superfície terrestre detectadas através de processamento de imagens de satélite na plataforma do Google Earth Engine. Também serão analisados dados da precipitação acumulada ao longo dos 20 anos de estudo.

A APA Triunfo do Xingu é uma Unidade de Conservação (UC) que integra o Mosaico de Áreas Protegidas da Terra do Meio, constituído por UCs Federais e Estaduais, além de Terras Indígenas na região do Xingu (ISA, 2012). Os principais objetivos da APA Triunfo do Xingu são: proteger a diversidade biológica; disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. As regras de uso das áreas sob domínio público são instituídas pelo órgão gestor, e as áreas privadas deverão seguir a legislação vigente (SESMA, 2017). Devido a importância dessa região, estudar as mudanças de cobertura terrestre nessa área é fundamental para melhorar a gestão dos recursos naturais locais. Deste modo, o presente artigo

buscou estudar alterações no NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e verificar o comportamento da temperatura da superfície terrestre (LST – Land Surface Temperature) e precipitação acumulada nesta APA entre os anos de 2000 e 2019.

Barbosa et al, (2019), afirmam que o NDVI é um parâmetro, fornecido por SR, importante para o monitoramento da vegetação. Este índice tem sido muito utilizado para estudos que caracterizam a vegetação principalmente mediante análises espaço-temporais. Autores como Ponzoni & Shimabukuro (2007), caracterizaram a vegetação por meio da construção de perfis, sazonal e temporal, das atividades da vegetação, gerando comparações interanuais desses perfis.

Além do NDVI e a LST, também é importante caracterizar a região de estudos mediante dados de precipitação pois este é um dos fatores que causam modificações significativas tanto na cobertura vegetal quanto na temperatura da região (BECERRA, et al., 2009). Para os estudos de NDVI e LST podem ser utilizadas imagens como as dos satélites LANDSAT 5 (sensor TM), LANDSAT 8 (sensor OLI) e TERRA/AQUA (sensor MODIS) por exemplo. Nesta pesquisa utilizou-se imagens do Landsat 5 e 8 para cálculo do NDVI e imagens MODIS para LST.

A precipitação é uma variável que também pode ser estudada por detecção remota. As estimativas de precipitação baseadas em satélite são fontes alternativas de informações para regiões extensas em que os dados de precipitação convencional são escassos ou até mesmo ausentes (Rao et al., 2014, Funk et al., 2015, Paredes-Trejo et al., 2017). Para o estudo da precipitação nesta pesquisa, foi utilizado o conjunto de dados CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data).

De acordo com Funk et al., (2014), o CHIRPS foi desenvolvido por pesquisadores do United States Geological Survey (USGS) e da Universidade da Califórnia, Santa Barbara (UCSB), apoiados pela United States Agency for International Development (USAID), a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Os dados são disponíveis desde 1981 até o presente, totalizando mais de trinta anos de dados gerados. Sua base de confiança é formada por um conjunto dos seguintes sistemas: Climate Hazards Precipitation Climatology (CHPClim), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Climate Prediction Center (CPC), The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e dados de precipitação oriundos de estações de superfície de serviços regionais e nacionais de meteorologia de todo o mundo (FUNK et al., 2014).

Para processar os dados utilizados nesta pesquisa foi utilizada a plataforma do Google Earth Engine (GEE) que é uma ferramenta inovadora de processamento digital de imagens, desenvolvida pela empresa Google (HOROWITZ, 2015). Esta ferramenta permite análises multitemporais e espaciais de uma forma rápida e eficiente por meio de linguagens de programação JavaScript e Python (GORELICK, 2017).

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu possui uma área total de 1.679.280,52 ha, na qual 1.102.779,30 ha (66%)

situam-se no município de São Félix do Xingu e 576.501,22 ha (34%) no município de Altamira. O município de São Félix do Xingu possui área de 84,213 km² e o município de Altamira possui área de 159.533,328 km² (SESMA 2017).

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia, a precipitação média anual e a temperatura média anual de ambos

os municípios correspondem a 2.041 mm/ano e 25,5°C para São Félix do Xingu e 2.195 mm com 26,9° C para Altamira, respectivamente (INMET, 2020). A Figura 1 a seguir apresenta o mapa de localização da área de estudo.

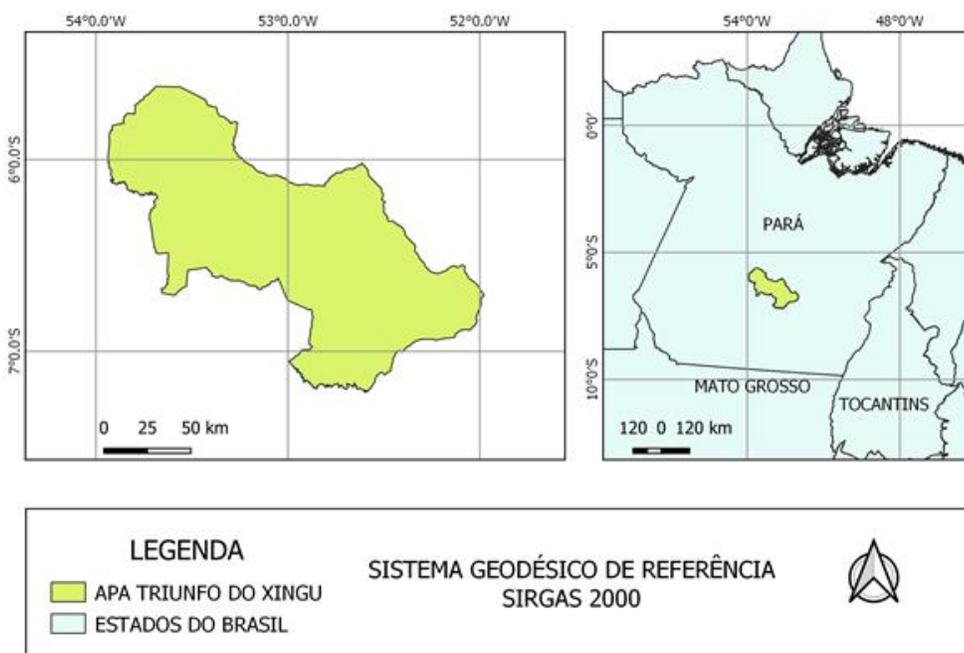


Figura 1- Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Os autores, (2020).

2.2. Aquisição dos dados

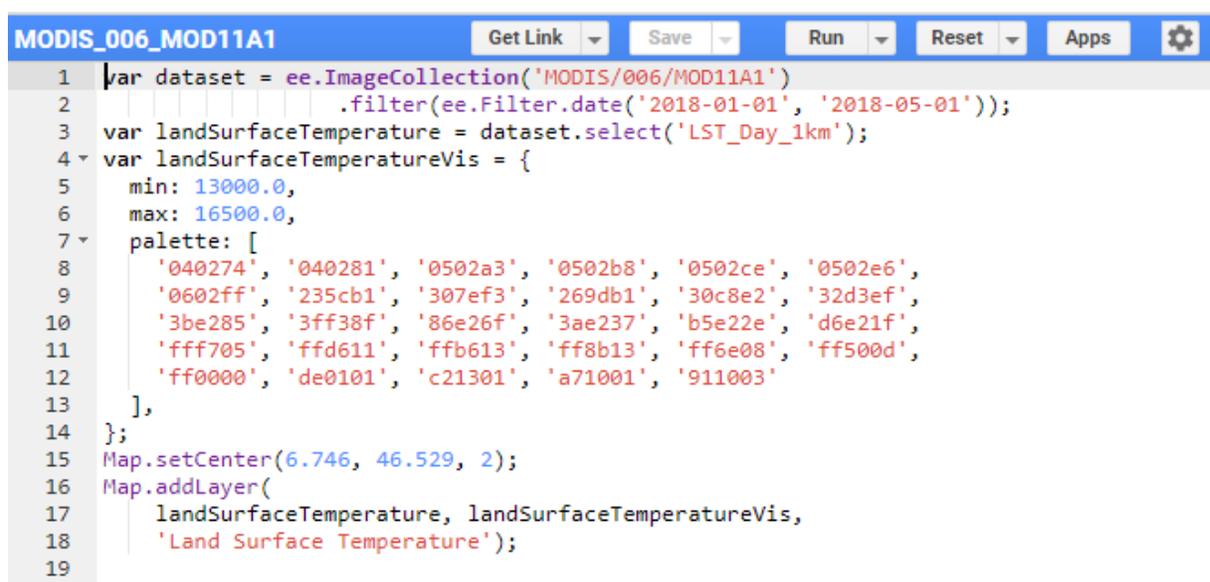
Todos os dados utilizados foram adquiridos através da plataforma do Google Earth Engine. Para o cálculo do NDVI, foram utilizadas imagens do sensor Thematic Mapper (TM), de 30m resolução espacial, do satélite LANDSAT-5 para os anos de 2000 até 2011 e do sensor OLI (Operational Terra Imager), 30m de resolução espacial, do LANDSAT-8 para os anos de 2013 a 2019. Por causa da descontinuidade das imagens da série LANDSAT, não foi realizada a análise para o ano de 2012 devido à falta de dados. Para análise da temperatura da superfície foram utilizadas imagens do sensor MODIS que se encontra nos dois satélites americanos TERRA e o AQUA do Programa EOS (Earth Observing System) para os anos de 2000 a 2019.

Já para o estudo da precipitação foram utilizados dados CHIRPS que é um conjunto de dados de precipitação de mais de 30 anos. O CHIRPS incorpora imagens de satélite com resolução espacial de aproximadamente 5 Km com dados da estação de campo para criar séries temporais de chuvas em grade para análise de tendências e monitoramento sazonal da seca (FUNK, et al., 2015). Esses dados são disponibilizados ao GEE por órgãos como

a NASA (National Aeronautics and Space Administration), USGS (United States Geological Survey), UCSB (University of California, Santa Barbara).

2.3. Processamento dos dados

O processamento dos dados foi executado através de programação em linguagem Javascript dentro da plataforma Google Earth Engine. A plataforma disponibiliza códigos básicos para cada conjunto de dados disponível, possibilitando aos usuários realizar as devidas alterações. Os dados são agrupados em coleções e disponibilizados aos usuários. A identificação das coleções utilizadas nesta pesquisa são mostradas a seguir: LANDSAT/LT05/C01/T1_SR, LANDSAT/LC08/C01/T1_SR, MODIS/006/MOD11A1, UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY. Essas coleções correspondem aos dados LANDSAT 5, LANDSAT 8, MODIS E CHIRPS, respectivamente. Na Figura 2 é apresentado um trecho do script fornecido pelo GEE e utilizado para processar os dados da coleção MODIS/006/MOD11A1.



```

MODIS_006_MOD11A1
Get Link Save Run Reset Apps
1 var dataset = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD11A1')
2   .filter(ee.Filter.date('2018-01-01', '2018-05-01'));
3 var landSurfaceTemperature = dataset.select('LST_Day_1km');
4 var landSurfaceTemperatureVis = {
5   min: 13000.0,
6   max: 16500.0,
7   palette: [
8     '040274', '040281', '0502a3', '0502b8', '0502ce', '0502e6',
9     '0602ff', '235cb1', '307ef3', '269db1', '30c8e2', '32d3ef',
10    '3be285', '3ff38f', '86e26f', '3ae237', 'b5e22e', 'd6e21f',
11    'fff705', 'ffd611', 'ffb613', 'ff8b13', 'ffe008', 'ff500d',
12    'ff0000', 'de0101', 'c21301', 'a71001', '911003'
13  ],
14 };
15 Map.setCenter(6.746, 46.529, 2);
16 Map.addLayer(
17   landSurfaceTemperature, landSurfaceTemperatureVis,
18   'Land Surface Temperature');
19

```

Figura 2- Script utilizado para gerar o mapa de temperatura. Fonte: GEE (2020).

A obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) seguiu a equação proposta por Rouse et al. (1973). Este índice apresenta uma variação entre -1 e 1 em que os valores positivos e mais próximos de 1 constituem superfícies verdes com maior vigor, enquanto que os valores negativos equivalem a água ou nuvens. Solos expostos e rochas refletem na faixa do vermelho e infravermelho próximo quase na mesma proporção, consequentemente o NDVI se aproxima de 0. Através de programação, foi calculado a média do NDVI para cada ano de estudo.

O NDVI é o indicador que detecta a taxa de umidade na vegetação e que foi avaliado pixel a pixel através da razão entre a diferença e a soma das reflectâncias das faixas do infravermelho próximo (piv) e vermelho (pv). Serão utilizadas as bandas 4 e 3 do TM Landsat-5, e bandas 5 e 4 do OLI Landsat-8 respectivamente. A fórmula para o cálculo do NDVI pode ser vista na equação 1.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (1)$$

O produto MOD11A1 V6 fornece temperatura diária da superfície terrestre (LST) e valores de emissividade em uma grade de 1200 x 1200 quilômetros. Esses dados também foram reduzidos através da média para obter a temperatura da superfície terrestre média para cada ano estudado. Já os dados CHIRPS, representam a precipitação tendo como valor mínimo 0 e máximo 1444,34 em mm/dia. Os dados de precipitação para cada ano de estudo foram somados a fim de obtermos a precipitação acumulada anual.

Todos os scripts foram desenvolvidos em linguagem Java em que inicialmente delimitou-se a área de estudo importando a base cartográfica em formato shapefile da APA Triunfo do Xingú. Após isso, os dados foram filtrados de acordo com o ano de estudo

e em seguida foram calculadas as médias do NDVI, temperatura e o acumulado de precipitação para cada ano.

2.4. Análise dos resultados

Os resultados obtidos em formato raster (dados matriciais) gerados na plataforma do GEE foram posteriormente exportados para o Software QGIS, versão 2.18.16, para fins de elaboração do layout dos mapas. Foram elaborados mapas temáticos e gráficos da variação anual dos NDVIs e temperatura da superfície ao longo dos 20 anos de estudo. Para o estudo da precipitação, foi elaborado um gráfico com a precipitação acumulada anual.

A fim de enriquecer os resultados obtidos em relação ao NDVI, além das análises gráficas e visuais mencionadas acima, também quantificou-se as mudanças ocorridas entre o NDVI do ano de 2019 e 2000. Além disso, através de dados em formato shapefile sobre desmatamento disponibilizados pela ImazonGeo (portal do Instituto do Homem e Meio Ambiente) foram identificadas áreas dentro da APA que mais vem sofrendo desmatamento e para efeitos de melhor visualização das mudanças no NDVI, a imagem da APA como um todo foi ampliada nessa região e comparou-se os resultados de NDVI para o ano 2000 e 2019 através de análises visuais e cálculos de área.

A quantificação das mudanças ocorridas no NDVI ao longo dos 20 anos estudados, foi realizada utilizando-se uma sequência de etapas propostas por Aboud Neta *et al.*, (2018) e seguindo a equação a seguir.

$$NDVI \text{ diferença} = NDVI \text{ 2019} - NDVI \text{ 2020} \quad (2)$$

Através da equação 2 foi aplicada a operação de subtração de NDVIs nas imagens, visando analisar mudanças na cobertura vegetal, entre o primeiro e o último ano de estudo. Os resultados obtidos a partir dessa análise indicam que quanto maior o valor na imagem diferença maior é o aumento na incidência de

vegetação entre as imagens de 2019 e 2000. Já uma grande quantidade de valores negativos indicam maior perda de vegetação. Regiões onde a imagem diferença aprenen valores próximos a zero indicam áreas sem mudanças significativas (LOURENÇO e LANDIM, 2004).

Para caracterizar estatisticamente as alterações ocorridas, realizou-se uma análise estatística na imagem resultante da subtração dos NDVIs utilizando-se valores de mínimo e máximo, média e desvio padrão. Essa análise foi utilizada para verificar a variação do desvio padrão em torno da média e, com isso, detectar o percentual de mudanças a partir do limiar definido.

De acordo com Thiam (1997), valores de uma imagem diferença aproximam-se de uma distribuição normal em torno da média. Na Figura 3, apresenta-se um curva de distribuição normal, Sendo a média (representada por μ) com valor 0 e desvio padrão (representado pela letra σ) com valor de 1. Utilizando-se o desvio padrão pode-se controlar o grau de mudanças esperado a partir da delimitação dos limiares inferiores e superiores da distribuição a partir da média.

Conforme Thiam (1997), utilizando-se um valor de duas vezes o desvio padrão (2σ) em torno de média, a distribuição englobará aproximadamente 95% dos dados. Autores como Sohl (1999) afirma que o uso desse limiar de 2σ em torno da média (μ), gera bons resultados quando aplicados na imagem diferença de NDVI.

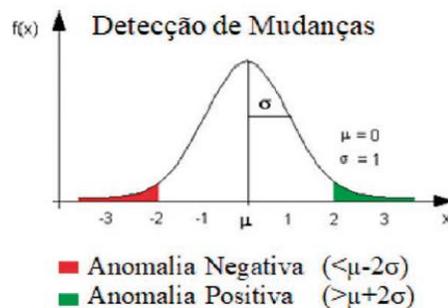


Figura 3- Curva de distribuição normal para análises de detecção de mudanças representado as anomalias negativas e positivas. Fonte: Aboud Neta et al. (2018)

Neste trabalho, foi utilizado o limiar de 2σ em torno da μ em que as regiões do histograma com oscilação inferior à -2σ em torno da μ foram chamadas de anomalias negativas e regiões com oscilação superior a $+2\sigma$ chamadas de anomalias positivas. O intervalo do meio que localiza-se na região entre $\mu - 2\sigma$ até $\mu + 2\sigma$ conterá os pixels sem mudanças significativas de mudanças. As anomalias negativas indicando na cena mais antiga um maior índice positivo de NDVI, em comparação a imagem mais recente.

Já as anomalias positivas representam áreas com provável incidência de vegetação indicando que na imagem mais antiga havia um menor índice de NDVI, em comparação a mais recente. (Ferrari et al., 2011; Aboud Neta et al., 2018).

NDVI MÉDIO ANUAL (2000-2019)

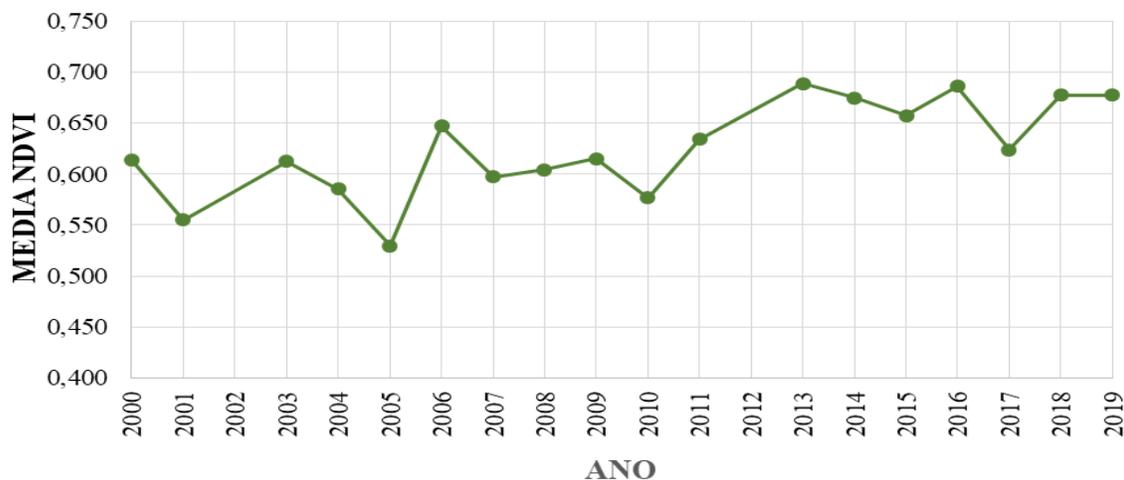


Figura 4- Média dos valores NDVI (2000 – 2019). Fonte: Os autores, (2020).

A Figura 5 apresenta o mapa temático elaborado através do software QGIS 2.18 em que os dados foram agrupados em 5 classes distintas obedecendo os seguintes intervalos: -1 a 0, 0 a 0,21, 0,21 a 0,40, 0,40 a 0,6, 0,6 a 1,0.

Devido a grande quantidade de nuvens na imagem, o ano de 2002 foi retirado da análise bem como o ano de 2012 devido a ausência de imagens de satélite para este período. Em ordem

crescente de intervalos, a classe 1 é correspondente a corpos hídricos e rochas, a classe 2 representa solo exposto e vegetação rasteira ou mais esparsa, a classe 3 arbustos e pastagens, as classes 4 e 5 representam floresta tropical e temperada e outras vegetações sendo a classe 5, vegetação mais densa e culturas em seu pico de crescimento.

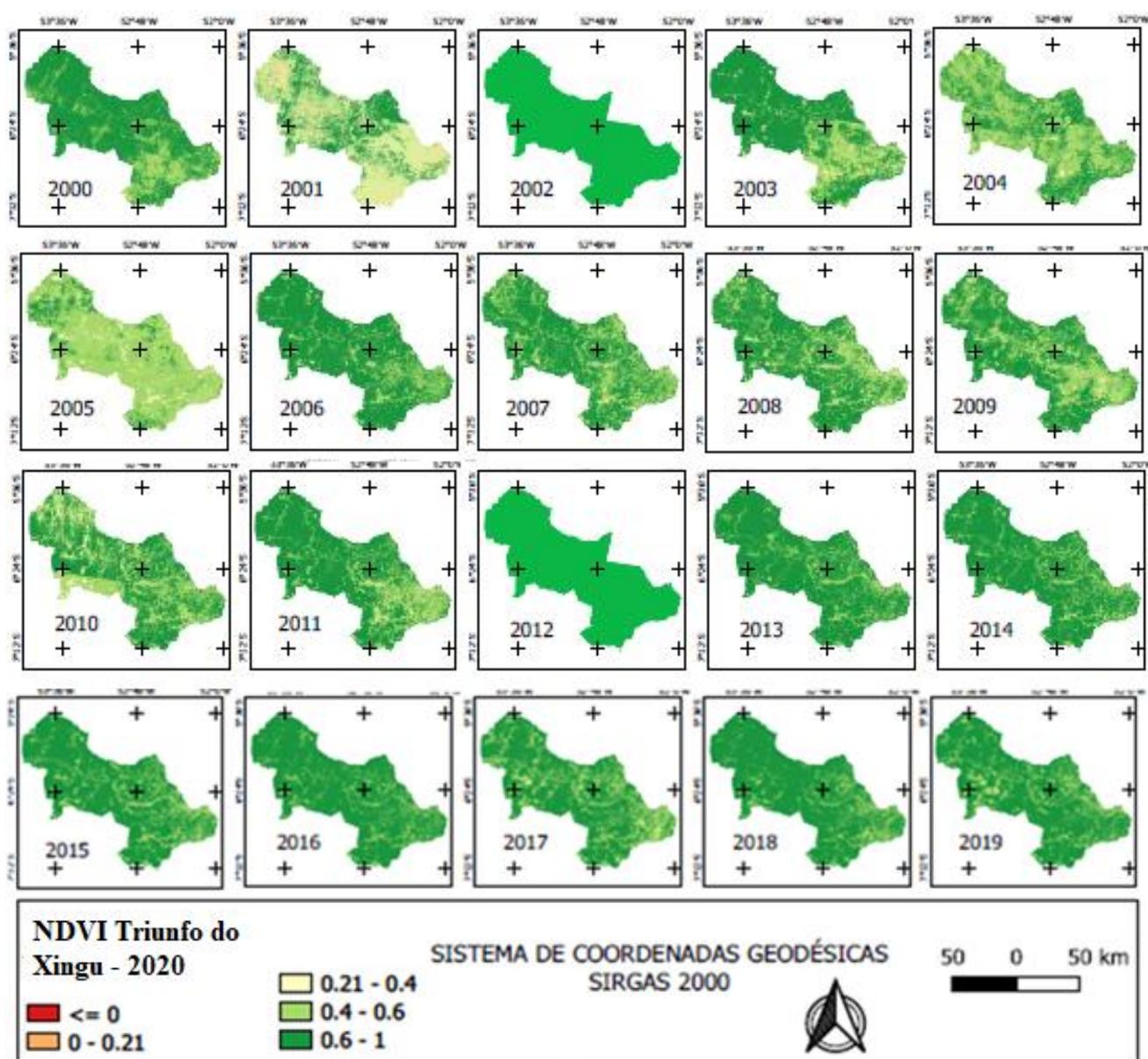


Figura 5- Mapas temáticos NDVI (2000 – 2019). Fonte: Os autores, (2020).

A partir da Figura 5 é possível perceber que os valores do NDVI nos anos de 2001 e 2005 foram menores. Áreas com vegetação mais densa apresentam valores próximos a 1, áreas com corpos hídricos ou presença de nuvens têm maior refletância na banda do vermelho do que na banda do infravermelho próximo e, portanto, apresentam valores próximos a -1. Solo exposto ou vegetação mais rasteira e esparsa apresentam valores positivos, em um intervalo entre 0,10 a 0,20, onde ocorre maior absorção da radiação na faixa do infravermelho próximo (LIMA et al., 2009).

Através de análises visuais, observa-se que não é possível visualizar classe com valores menores que zero, que correspondem a corpos hídricos. Também foram observadas variações significativas na maior parte do município para a classe com valores maiores que 0.60, principalmente nos anos de 2000 a 2005, 2008 a 2011 que corresponde a áreas de vegetação.

Na Figura 6, é apresentada a imagem diferença de NDVI entre os anos de 2019 e 2000, em que a cor vermelha destaca as anomalias negativas, a cor verde as anomalias positivas e em cinza as regiões sem mudanças significativas.

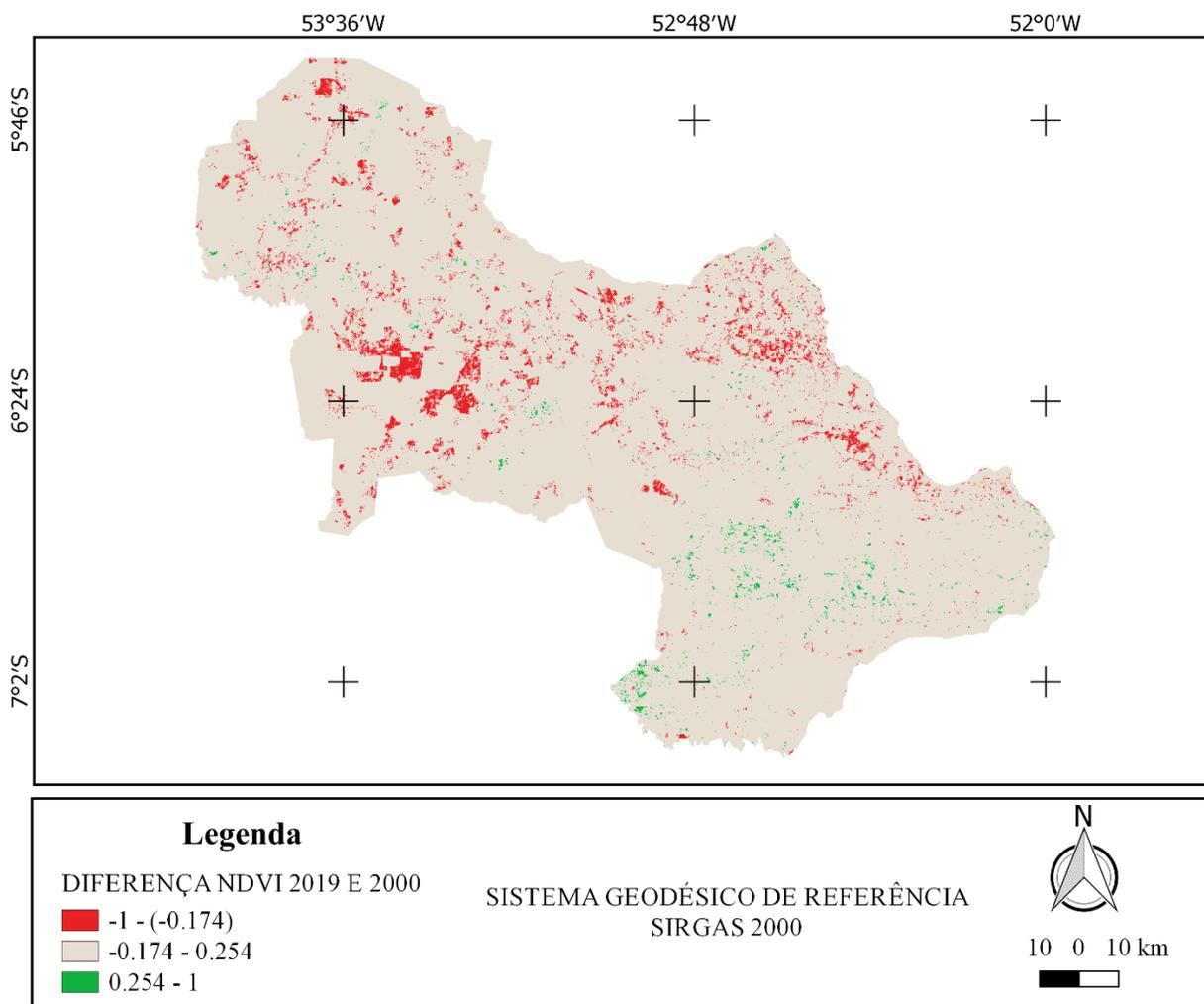


Figura 6- Imagem diferença NDVI (2019 – 2020). Fonte: Os autores, (2020).

Através da imagem diferença, foram extraídos dados estatísticos representados conforme Tabela 1. A evolução temporal ao longo de 20 anos estudados (comparando a imagem de 2000 com a de 2019) apontou mudanças em uma área de aproximadamente 828 km² (4,93%). Deste total, cerca de 702 km (4,18 %) correspondem a anomalias negativas e 125 km (0,75 %) a anomalias positivas.

As anomalias positivas indicam incremento da vegetação verde, ou seja, pixels que em 2000 não eram vegetação passaram a ser ao longo dos anos. Já as anomalias negativas indicam decréscimo de vegetação pixels que em 2000 eram vegetação e que em 2019 não eram mais. Conforme Aboud Neta *et al.* (2018), as anomalias positivas indicam possíveis reflorestamentos ou presença de áreas agrícolas, já as negativas indicam processos de desmatamentos e expansão urbana

Para facilitar a visualização de mudanças na APA no que diz respeito a vegetação, foram utilizados dados em formato shapefile sobre desmatamento disponibilizados pela ImazonGeo que é um Portal do Imazon (Instituto do Homem e Meio Ambiente) que tem como objetivo fornecer informações atualizadas sobre a situação, a dinâmica e a pressão sobre as florestas e Áreas Protegidas da Amazônia brasileira.

A partir desses dados em formato shapefile, foram identificadas áreas dentro da APA que mais vem sofrendo desmatamento. Uma dessas áreas corresponde a uma pequena porção de terra localizada no sudoeste da APA com área de aproximadamente 1221 km² conforme Figura 5. Para efeitos de melhor visualização das mudanças no NDVI, a imagem foi ampliada nessa região e comparou-se os resultados para o ano 2000 e 2019 (Figura 7).

Tabela 1– Descrição da estatística da imagem diferença. Fonte: Os autores (2020).

ESTATÍSTICA DA IMAGEM	VALORES	DADOS	ÁREAS (Km ²)
valor mínimo	-0,835	anomalia negativa	702,441
valor máximo	0,462	anomalia positiva	125,670
média (μ)	0,040	sem mudanças	15981,823
desvio padrão (σ)	0,107	total	16809,934
anomalia negativa	-0,174		
anomalia positiva	0,254		

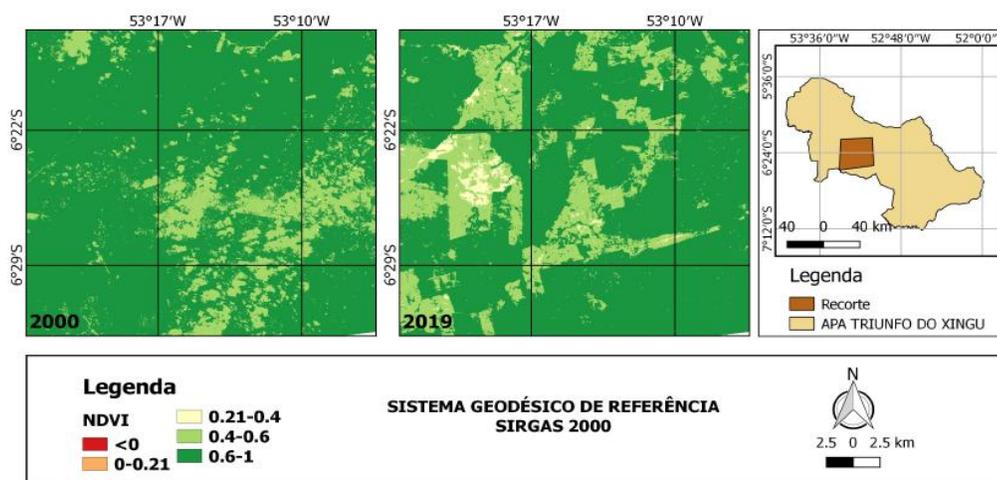


Figura 7- Mapas temáticos NDVI trecho sudoeste da APA. Fonte: Os autores, (2020).

Através da Figura 7, nota-se uma diminuição significativa na cobertura vegetal da região que corresponde a classe com valores entre 0.6 e 1 e aumento nas classes com valores entre 0.21 a 0.40

que correspondem a arbustos e pastagens. A partir desses dados também foram calculadas as áreas correspondentes a cada uma das 5 classes observadas (Tabela 2).

Tabela 2– Descrição das áreas. Fonte: Os autores (2020).

CLASSES	ÁREAS	
	ANO 2000	ANO 2019
1 (<0.0)	0	0
2 (0.0-0.21)	0	0,07
3 (0.21-0.40)	2,81	19,39
4 (0.40-0.60)	191,49	276,41

5 (0.60-1.00)	1026,75	925,18
TOTAL	1221,05	1221,05

É possível observar que durante os 20 anos de estudo, houve mudanças significativas para uma mesma área. A classe 1, correspondente a corpos hídricos, apresentou valores iguais a zero para os dois anos estudados devido à ausência de corpos hídricos nesse trecho da APA. A classe 2 apresentou um pequeno aumento passando de área zero no ano 2000 para 0,07 km² em 2019.

A classe 3 teve um aumento significativo indicando que áreas com arbustos e pastagens aumentaram na região. A classe 4 também apresentou aumento e corresponde a áreas de florestas já consolidadas. Já na classe 5, área de floresta em pleno crescimento, teve seus valores bem reduzidos confirmando os dados de desmatamentos obtidos pelo ImazonGeo.

Segundo Tupiassu et al., (2019), uma das principais causas de desmatamento na APA Triunfo do Xingu é a ocupação irregular, consequência da falta de regularização fundiária e de um plano de manejo, que demarque as áreas destinadas à preservação de recursos ambientais, não passíveis de ocupação.

Autores como Pinho et al., (2017), analisaram a pressão antrópica sobre a APA Triunfo do Xingú entre os anos de 2006 e 2016. Os resultados obtidos mostraram uma significativa redução da cobertura florestal, porém apesar das altas taxas foi observada uma desaceleração do corte raso entre os anos de 2008 a 2013, devido à inserção de políticas de combate ao desflorestamento orientadas pelo Plano de Ação e Controle do Desflorestamento na Amazônia Legal (PPCDAM), mas a partir do ano de 2014, fatores como a instabilidade econômica e política do Brasil levaram ao crescimento dos valores em um ritmo acelerado.

Na Figura 8 a seguir, é apresentado o gráfico das médias do LST, os resultados mostraram um valor mínimo e máximo de 26,7°C e 28,16°C, respectivamente. Nota-se que a temperatura em média, tem uma tendência de alta ao longo dos anos, de acordo com Souza, Silva e Silva (2016) fatores que podem influenciar no aumento da temperatura são: aumento de solo exposto, diminuição da vegetação, queimadas e desmatamento e também períodos menos chuvosos.

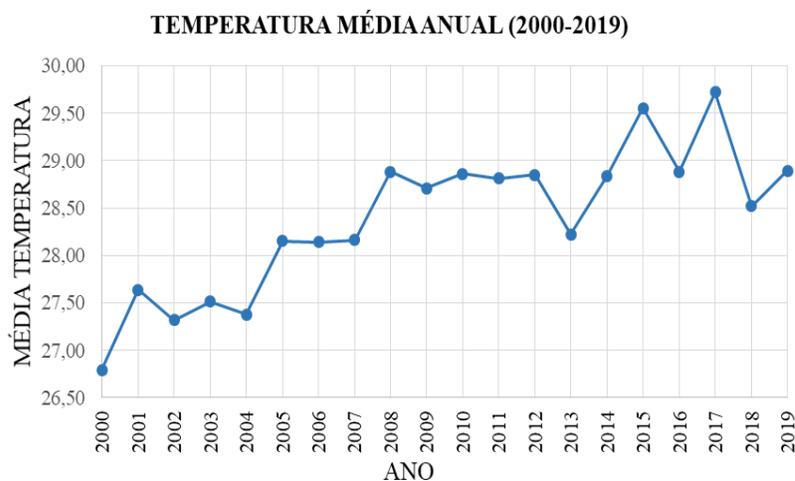


Figura 8- Média dos valores LST (2000 – 2019). Fonte: Os autores, (2020).

Segundo Fernandes et al. (2018) as elevadas temperaturas têm relação inversa com a umidade relativa do ar. Em seu estudo, observaram que os focos de calor no município de Parauapebas –

PA se concentraram no período menos chuvoso. Na Figura 9 é mostrado o mapa da LST para os 20 anos de estudo.

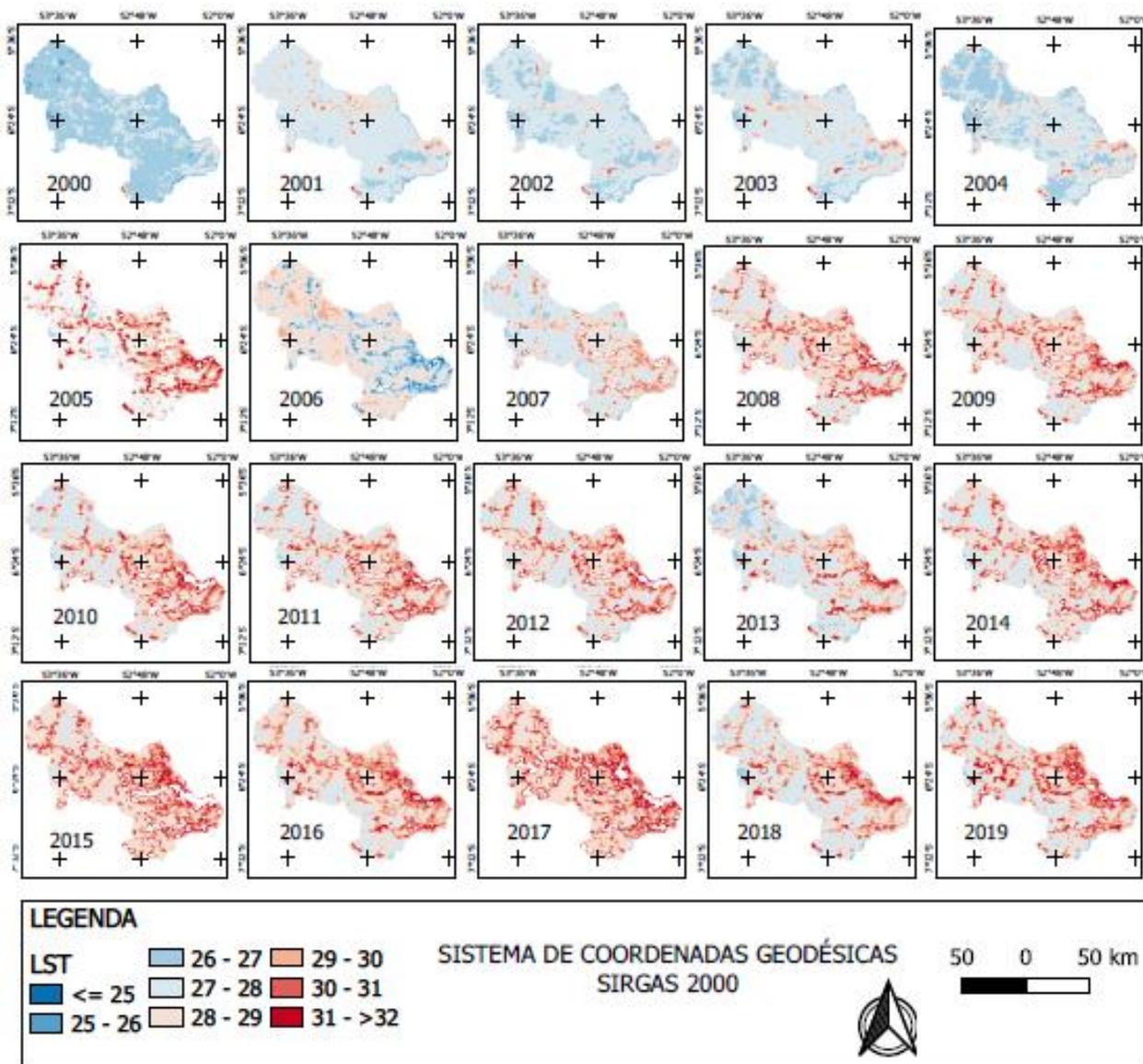


Figura 9- Média dos valores LST (2000 – 2019). Fonte: Os autores, (2020).

Nota-se que entre os anos de 2000 e 2004 a temperatura da região apresentava valores mais baixos e com o passar dos anos esses valores foram aumentando. Muitos autores afirmam que tanto a saúde da vegetação como a temperatura da superfície são altamente relacionadas com variabilidade da água para a região, ou seja, com a precipitação (SOUTO et al., 2018; PIRES, 2015). Souto et al., (2018) realizaram um estudo sobre os Impactos antrópicos condicionantes na variação da temperatura do ar na APA Triunfo do Xingu entre os anos de 2005 e 2015. Os autores estudaram as variações da temperatura da região mediante ações de desmatamento e queimada e também constataram um aumento na temperatura ao longo dos anos. Segundo os autores, fatores locais que podem ter influenciado esse aumento na temperatura é

a falta de cobertura vegetal, que influencia nas condições de tempo vigente através da absorção direta e reflexão da radiação solar incidente

Além disso, Jiménez-Munhoz et al. (2016) afirmam que ações antrópicas associadas a mecanismos de precipitação influenciam no clima local. No ano de 2015, por exemplo, observou-se a ocorrência do evento de El Niño que trouxe como consequência a escassez de chuva, temperaturas elevadas e baixa umidade do ar. Eventos como esse associado a ações antrópicas como supressão vegetal e queimadas uma crescente taxa de focos de calor e intensa supressão vegetal contribuíram para um aumento na variação anual da temperatura sobre a região de estudo.

A Figura 10 apresenta os resultados para a precipitação acumulada anual extraídos a partir de dados CHIRPS. Esses

resultados correspondem ao total de precipitação em mm para cada ano de estudo.

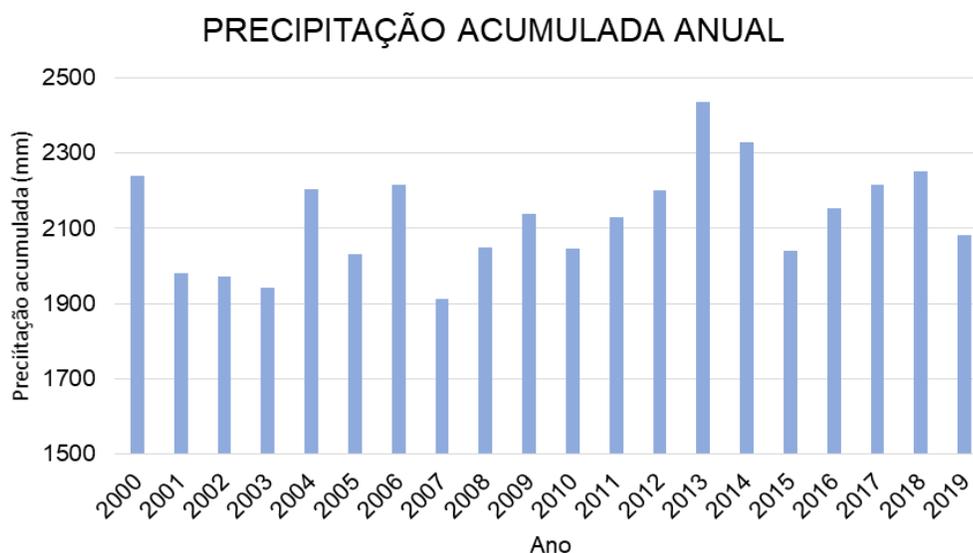


Figura 10- Precipitação acumulada anual (2000 – 2019). Fonte: Os autores, (2020).

A partir desta Figura, nota-se um regime de chuvas relativamente homogêneo na região, sendo o ano de 2007 o de menor precipitação (1912,17 mm) e o de 2013 (2436,69 mm) o de maior precipitação. Esses resultados corroboram para compreender o comportamento da vegetação e temperatura da região. No ano de 2005 em que foi observada menor média de NDVI, nota-se que foi um ano de precipitação acumulada menor quando comparado a outros anos. Assim como o ano de 2013 que apresentou maior média de NDVI e diminuição da temperatura e maior valor de precipitação acumulada dentre os 20 anos estudados.

4. CONCLUSÃO

Apesar de ser uma área de proteção, a APA Triunfo do Xingu que tem como principais funções proteger a diversidade biológica, controlar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais, ela vem sofrendo mudanças significativas na cobertura do solo e temperatura. As alterações detectadas apontam para ocorrência de perda vegetativa em alguns trechos e aumento da temperatura da região ao longo dos 20 últimos anos.

A utilização de técnicas de SR aliadas ao processamento de digital de imagens possibilitaram analisar e identificar mudanças ocorridas na APA Trinfo do Xingu. Mapas de NDVI e LST da área, dos 20 últimos anos, associados a dados de precipitação possibilitaram a identificação do impacto ambiental na região que podem indicar atividades como exploração madeireira, mineração, pecuária e expansão urbana.

Os resultados obtidos podem ser justificados pelo fato da APA ter sido criada em uma região onde já existia elevada concentração populacional e um ambiente muito degradado e alterado, além de abranger áreas privadas dentro de seus limites.

Fatos como esses prejudicam a gestão do território e a busca pelo uso sustentável dos recursos.

Os métodos utilizados nesta pesquisa mostraram-se muito viáveis para análises como estas e, quando relacionados a outras fontes de dados confiáveis, possibilitam a obtenção de resultados mais completos. Além de dados de precipitação, outros dados devem ser estudados buscando justificar as alterações encontradas. Além disso, os mapas elaborados podem ser facilmente compreendidos tanto por especialistas na área, como por demais usuários. Apesar dos resultados fornecerem dados que contribuem para uma melhor compreensão do cenário ambiental da área estudada, outros estudos mais aprofundados ainda são necessários para melhor caracterizar mudanças e impactos ocorridos na região.

5. REFERÊNCIAS

- ABOUD NETA, S. R.; BIAS, E. S.; BRITES, R. S.; SANTOS, C.M. Aplicação de um Modelo de NDVI para Detecção Multitemporal de Mudanças no Uso e Cobertura do Solo. Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, v. 2, p. 592-604, 2018.
- BARBOSA, L. C ; BORGES, K. ; FERREIRA, W. D. S. et al. Variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo por índices de vegetação e água no município de Santana do Araguaia – PA. Anais I Congresso Araguaense de Ciências Exatas, Tecnológica e Social Aplicada, 2019 – Pará.
- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 2, p. 125-134, 2009.

- CARVALHO, S. M. I.; NERY, J. T. Influência da variabilidade climática na dinâmica da vegetação natural do bioma Mata Atlântica – abordagem multitemporal. *Revista Ibero-brasileira de ciências ambientais*, v. 9, n. 4, 2018.
- FERNANDES, T.; HACON, S. S.; NOVAIS, J. W. Z.; et al. Detecção e análise de focos de calor no município de Parauapebas-PA, Brasil por meio da aplicação de geotecnologia. *Enciclopédia Biosfera*, v. 15, n. 28, p. 398-412, 2018.
- Ferrari, J.L.; Santos, A.R. & Garcia, R.F. Análise da Vegetação por Meio da Subtração de Imagem NDVI na Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego do Horizonte, Alegre, ES. *Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal*, v. 8, n. 3, p.3-18, 2011.
- FERREIRA JÚNIOR, J.J.; DANTAS, M. J.F. Análise do albedo da superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti/CE. *Revista Tecnologia*, v. 39, n. 2, 2018.
- FUNK, Chris C. et al. A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. *US Geological Survey Data Series*, v. 832, n. 4, 2014.
- FUNK, C. PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, v. 2, p. 150066, 2015.
- GOMES, A. R. S.; ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M. et al. Estudo da Relação entre a Variabilidade dos Índices de Vegetação e Temperatura da Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 3, p. 359-368, 2019.
- GORELICK, Noel et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, n. 1, p. 18-27, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>>. Acesso em 30 de março de 2020.
- HOROWITZ, F. G. MODIS daily land surface temperature estimates in Google Earth Engine as an aid in geothermal energy siting. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2015*. Melbourne, Australia, 19 a 25 April, 2015.
- INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE - ImazonGeo . Disponível em: <imazongeo.org.br/#/>.
- INFORMATIVO METEOROLÓGICO – INMET. N°25/2020. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=notas_tecnicas
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL – ISA. Integridade territorial e vetores de degradação na Terra do Meio: Rede Terra do Meio. Altamira: ISA, 2012. 50 p. Relatório técnico.
- JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; et al. Recordbreaking warming and extreme drought in the course of el nino 2015-2016. *Science Reports*, vol. 6, n. 1, p. 1-7, set/2016.
- LIMA, K. M. G.; RAIMUNDO, I. M.; SILVA, A. M. S.; PIMENTEL, M. F. Near infrared and mid infrared optical sensors. *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1635-1643, 2009.
- LOURENÇO, R.W.; LANDIM, P.M.B. Estudo da variabilidade do “índice de vegetação por diferença normalizada “NDVI” utilizando krigagem indicativa. *HOLOS Environment*, v. 4, n. 1, p. 38-55, 2004.
- PAREDES-TREJO, FRANKLIN et al. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, v.139, p. 26-40, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014019631630235X>>. Acesso em 28 de março de 2020.
- PINHO, B. C. P.; PINHO, B. C. P.; GOMES, D. O. Territórios desprotegidos e as Novas Fronteiras dos Recursos Naturais na Amazônia: Uma Análise dos Vetores de Pressão Antrópica na APA Triunfo do Xingu. *Revistas Contribuciones las ciencias sociales*, out/dez. 2017.
- PIRES, G.F.; BUENO, F.P. Unidades de Conservação Brasileira: Desafios da gestão. XI Fórum Ambiental da Alta Paulista, v.11, n.1, p. 146-151, 2015.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: A Silva Vieira Ed. 127 p., 2007.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos, Ed. Silva Vieira, 135p. 2010.
- RAO, K. Koteswara et al. Projected changes in mean and extreme precipitation indices over India using PRECIS. *Global and Planetary Change*, v. 113, p. 77-90, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.12.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818113002774>. Acesso em 29 de março de 2020.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; et al. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *Prog. Rep. RSC 1978-1*. Remote Sensing Cent., Texas A&M Univ., College Station, 1973.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE – SESMA, Relatório técnico, PA, 2017. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/diretorias/areas-protegidas/area-de-protecao-ambiental-triunfo-do-xingu-apa-tx/apresentacao/>.

SILVA, K. S. T.; ALMEIDA, A. M.; SILVA, T. S. Influência De Determinantes Ambientais Na Vegetação Da Caatinga. Sociedade e território, v. 29, n. 1, 2017.

SOHL, T. Change Analysis in the United Arab Emirates: an investigation of techniques. Photogrammetric Engineering and remote Sensing, v. 65, p. 475-484, 1999.

SOUTO, J. I. O.; TRINDADE, A. R.; TAVARES, P. A.; et al. Impactos antrópicos condicionantes na variação da temperatura do ar: um estudo de caso na APA Triunfo do Xingu, Pará (2005-2015). In: VII Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia, Belém. Anais... Belém: UEPA, 2018. p. 34-42.

SOUZA, J. F.; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa - PB. *Ambiente Construído*, v. 16, n. 1, p.21-37, 2016.

THIAM, A.K. Geographic Information Systems and Remote Sensing Methods for Assessing and Monitoring L and Degradation in the Sahel Region: The case of South Mauritania, Department of Geography, Tese de doutorado da Clark University, Massachussets, 1997.

TUPIASSU, L.;FADEL, L. P. S. L.; DÉSORMEAUX, J. R. G. ICMS Ecológico e desmatamento nos municípios prioritários do estado do Pará. *Revista Direito GV*, vol. 15, n. 3, p. 1-35, mai/2019.

Recebido em: 10/10/2019

Aceito para publicação em: 23/04/2020