



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
FACULDADE DE TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO APLICADO À
AGROECOLOGIA E AO USO DOS RECURSOS NATURAIS

LAIANE PINTO DA SILVA

**DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE
VEGETAÇÃO EM UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ACARÁ, NO
MUNICÍPIO DE TOMÉ-AÇÚ, PARÁ, ENTRE OS ANOS 1995 E 2017.**

BELÉM – PA

2019

LAIANE PINTO DA SILVA

DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ACARÁ, NO MUNICÍPIO DE TOMÉ-AÇÚ, PARÁ, ENTRE OS ANOS 1995 E 2017.

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia em Geoprocessamento, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de especialista em geoprocessamento aplicado à agroecologia e ao uso dos recursos naturais.

Orientador: Prof. Dr. Alan Nunes Araújo.

BELÉM – PA

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

P659d Pinto da Silva, Laiane
Dinâmica do uso e ocupação do solo e aplicação de índices de vegetação na sub-bacia hidrográfica do rio Acará, no município de Tomé-Açú, Pará, entre os anos 1995 e 2017. / Laiane Pinto da Silva. — 2019.
45 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Alan Nunes Araújo
Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) -
Especialização em Geoprocessamento Aplicado à Agroecologia e ao Uso dos Recursos Naturais, Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2019.

1. Geotecnologia. 2. Sensoriamento remoto. 3. Índices de vegetação. I. Título.

CDD 621.3678098115



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
PÓS GRADUAÇÃO *LATU SENSU* EM GEOPROCESSAMENTO APLICADO A AGROECOLOGIA E AO USO DOS RECURSOS
NATURAIS (GEO_AGROECOLOGIA)


ATA DA DEFESA DE MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Aos seis dias do mês de dezembro do ano de 2019, na sala 404, no *Campus Ananindeua*, reuniram-se os Membros da Banca Examinadora, abaixo-assinados, sob a presidência do Professor Dr. Alan Nunes Araújo com a finalidade de examinar em forma final o Trabalho de Monografia da aluna LAIANE PINTO DA SILVA, da Turma/curso de Pós Graduação em Geoprocessamento aplicado a Agroecologia e ao Uso dos Recursos Naturais (GEO_AGROECOLOGIA) do Campus Ananindeua, sob o título “Dinâmica do uso e ocupação do solo e aplicação de índices de vegetação na sub-bacia hidrográfica do rio Acará, Tomé-Açú, Pará, entre os anos 1995 e 2017”. A sessão teve início às 08:00 horas e 30 minutos e foi encerrada às 10:00 horas e 30 minutos. Após a exposição do aluno, houve arguição dos Membros da Banca Examinadora seguido de resposta do(a) aluno(a). Em seguida, a Banca reuniu-se para deliberar sobre o CONCEITO atribuído à Monografia/Artigo. Por consenso, a Banca Examinadora decidiu:

- () Não aprovar
- () Aprovar com o conceito _____.
- (X) Aprovar com o conceito EXCELENTE e recomendações para a revisão dos seguintes pontos: Sugestões propostas e entregues à discente para possíveis correções sugeridas pela banca.

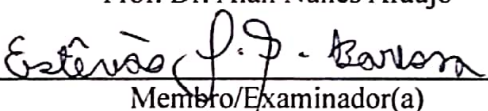
Obs.: Caso o trabalho seja aprovado com recomendações de revisão, o (a) aluno (a) dispõe de 30 dias para dar forma final ao trabalho e entregar em CD no formato digital em PDF na secretaria Geral da Pós-Graduação, após anuência da banca examinadora.

Ananindeua/PA, 06 de dezembro de 2019.



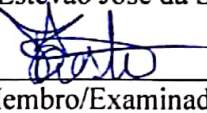
Presidente/Orientador(a)

Prof. Dr. Alan Nunes Araújo



Membro/Examinador(a)

Prof. Dr. Estevão José da Silva Barbosa



Membro/Examinador(a)

Prof. Dr. Tiago Barreto de Andrade Costa

Aos meus pais,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Deus pelo dom da vida, pelo seu amor por mim e pela força que me deu para conseguir chegar até aqui. Sei que me proporcionou cada momento e se fez presente em cada um deles, me direcionando em cada decisão.

Aos meus pais Leomar e Mylksan, e minha avó Assunção por todo apoio, empenho, sustento e amor.

Ao meu noivo Adriel, por todo amor, apoio, cumplicidade e cuidado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alan Nunes Araújo que se mostrou muito solícito no desenvolver deste trabalho. Agradeço pelo grande suporte no pouco tempo que lhe coube, pela amizade, pelas suas correções e incentivos.

Aos coordenadores do curso de especialização de geoprocessamento aplicado a agroecologia e ao uso dos recursos naturais, pela excelente estruturação do corpo docente e suas contribuições durante as disciplinas.

A Universidade Federal do Pará pela oportunidade da realização de mais um objetivo.

Grata!

*“Tudo aquilo que o homem ignora não existe para ele.
Por isso, o universo de cada um se resume ao tamanho do seu saber.”*

(Albert Einstein)

RESUMO

As imagens de sensoriamento remoto vêm servindo de fontes de dados para estudos e levantamentos geológicos, ambientais agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, entre outros. O uso e ocupação do solo relaciona-se a fatores socioeconômicos e provoca transformações nos fatores naturais, que se transformam e, quando mal manejados, provocam diversos impactos negativos como erosões, enchentes, inundações, secas, perdas de moradias, mortes, entre outros, interferindo direta e indiretamente nos fatores sociais. Para mitigar estes problemas e fomentar o desenvolvimento de políticas públicas para uma gestão sustentável dos recursos naturais, torna-se imprescindível o monitoramento do uso e da cobertura do solo, através de informações espaço temporais detalhadas das modificações ocorridas na paisagem. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise espaço-temporal e identificar a dinâmica do uso do solo e cobertura vegetal em uma sub-bacia hidrográfica do rio Acará, localizada no nordeste paraense. Os softwares utilizados neste trabalho foram Arcgis® 10.5.1 e eCognition Developer 64 9.0®. Foram Gerados mapas de uso e ocupação do solo e índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) para os anos de 1995, 2008 e 2017. As principais modificações na sub-bacia ocorreram nas classes floresta, solo exposto e área cultivada, havendo o diminuição das áreas de floresta (de 54,5% para 38,5 %), aumento das áreas de solo exposto (de 11,7% para 23,9%) e um considerável elevação de áreas cultivadas entre 1995 e 2008 (de 13,6% para 25,9%) com consecutiva redução entre 2008 e 2017 (de 25,9% para 17,5%). Concluiu-se que a ocupação urbana teve grande influência sobre as alterações sofridas na área sub-bacia hidrográfica do rio Acará. Os mapas temáticos das imagens processadas com Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF) alcançaram bom desempenho para análise do uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Acará. Recomenda-se a adoção de sistemas agroflorestais (SAFs) baseados em práticas agroecológicas como alternativa ao monocultivo na região.

Palavras-chave: Geotecnologia. Sensoriamento remoto. Índices de vegetação.

ABSTRACT

Remote sensing images have been used as data sources for geological, environmental, agricultural, cartographic, forestry, urban, oceanographic studies and surveys, among others. Land use and occupation is related to socioeconomic factors and causes changes in natural factors, which transform and, when mismanaged, cause various negative impacts such as erosion, flooding, drought, housing loss, death, among others, directly and indirectly affecting social factors. To mitigate these problems and foster the development of public policies for sustainable management of natural resources, it is essential to monitor land use and land cover through detailed temporal and spatial information on changes in the landscape. Given the above, the objective of this work was to perform a spatiotemporal analysis and identify the dynamics of land use and vegetation cover in a sub-basin of the Acará river, located in northeastern Pará. The software used in this work was Arcgis® 10.5.1 and eCognition Developer 64 9.0®. Land use and occupation maps and vegetation indices (NDVI, SAVI and IAF) were generated for the years 1995, 2008 and 2017. The main changes in the sub-basin occurred in the forest, exposed soil and cultivated area classes, with forest areas decreasing (from 54.5% to 38.5%), and increased areas of exposed soil (from 11.7% to 23.9%) and a considerable increase in cultivated areas between 1995 and 2008 (from 13.6% to 25.9%) with consecutive reduction between 2008 and 2017 (from 25.9% to 17.5%). It was concluded that urban occupation had a great influence on the alterations suffered in the sub-watershed area. from the Acará river. Thematic maps of the processed images with Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and Leaf Area Index (IAF) achieved good performance for analysis of land use and land cover in the watershed. from the Acará river. The adoption of agroforestry systems (SAFs) based on agroecological practices is recommended as an alternative to monoculture in the region.

Keywords: Geotechnology. Remote Sensing. Vegetation Indexes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do rio Acará.....	13
Figura 2. Fluxograma das etapas utilizadas na metodologia.....	21
Figura 3. Fluxograma de processamento para delimitação da área de estudo.....	24
Figura 4. Mapa da dinâmica da paisagem na sub-bacia hidrográfica do rio Acará, nos anos de 1995, 2008 e 2017.....	28
Figura 5. Taxas de uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Acará para os anos de 1995, 2008, e 2017.....	29
Figura 6. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) da sub-bacia do rio Acará em Tomé-Açú, nos anos de 1995, 2008 e 2017.....	32
Figura 7. Índice de vegetação ajustada ao solo (SAVI) da sub-bacia do rio Acará em Tomé-Açú, nos anos de 1995, 2008 e 2017.....	34
Figura 8. Índice de área foliar (IAF) da Sub-bacia do rio Acará em Tomé-Açú, nos anos de 1995, 2008 e 2017.....	36

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Dez maiores municípios paraenses com as maiores produções em lavouras permanentes no estado entre 2015 e 2016.....16
- Tabela 2.** Municípios paraenses com os maiores rebanhos galináceos entre 2015 e 2016.....16
- Tabela 3.** Chave de interpretação para elaboração de classes de uso e cobertura do solo.....25
- Tabela 4.** Área (km²) das classes de usos de solo na sub-bacia hidrográfica do rio Acará nos anos de 1995, 2008 e 2017.....30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. ÁREA DE ESTUDO	12
2.1 Localização geográfica	12
2.2 Características fisiográficas	13
2.2.1 Clima	13
2.2.2 Geologia	13
2.2.3 Geomorfologia	14
2.2.4 Hidrografia	14
2.2.5 Solos	14
2.2.6 Cobertura vegetal	15
3. JUSTIFICATIVA	15
4. OBJETIVOS	17
4.1 Gerais	17
4.2 Específicos	17
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
5.1 Conceitos em geotecnologias.....	18
5.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	18
5.3 Sensoriamento remoto aplicado a estudos ambientais.....	19
6. METODOLOGIA	20
6.1 Aquisição de imagens e bases cartográficas	21
6.1.1 Landsat 5 Sensor TM	21
6.1.2 Landsat 8 Sensor OLI.....	22
6.2 Processamento digital de imagens	22
6.2.1 Conversão Radiométrica	22
6.2.2 Fusão	23
6.2.3 Reprojeção da imagem	23
6.2.4 Composição colorida de imagens.....	23
6.3 Delimitação da área de estudo	23
6.4 Classificação de uso e ocupação do solo	24
6.5 Operações de bandas	25
6.5.1 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)	25
6.5.2 Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)	26

6.5.3 Índice de área foliar (IAF).....	27
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
7.1 Classificação de uso e ocupação do solo	27
7.2 Análise dos índices de vegetação.....	29
7.2.1 NDVI.....	31
7.2.2 SAVI.....	33
7.2.3 IAF	35
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
9. RECOMENDAÇÕES	38
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O interesse pelas informações geográficas vem crescendo muito rapidamente nos últimos anos, sendo cada vez mais utilizada para diversos fins e domínios de aplicação, e em áreas distintas como as geociências, economia e gestão, sociologia e saúde, engenharias, planejamento e monitoramento espacial, auxiliando de forma precisa nos processos de tomada de decisão.

Do ponto de vista técnico-científico, imagens de sensoriamento remoto vem servindo de fontes de dados para estudos e levantamentos geológicos, ambientais agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, entre outros. Acima de tudo, os produtos oriundos do sensoriamento remoto passaram a representar uma das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam. Segundo Coutinho, Miranda e Miranda (1998), a análise do meio ambiente através da utilização de algoritmos matemáticos encontrados nos SIG's, tem se mostrado mais eficiente e rápida no auxílio da visualização e análise de unidades homogêneas. No momento em que a humanidade começa a encarar seriamente a necessidade de monitorar as mudanças globais que vem ocorrendo na superfície do planeta, o sensoriamento remoto aparece como uma das ferramentas estratégicas para o futuro (CRÓSTA, 2002).

Sabe-se que o uso da terra sem planejamento implica no declínio da produtividade das culturas, na agressão ao meio ambiente e na ocupação urbana desordenada em relevos com declividade não compatíveis à urbanização (MAZZOCATO, 1998). Através da utilização de técnicas de sensoriamento remoto para análise do uso e cobertura do solo é possível o planejamento e administração da ocupação de forma ordenada, o monitoramento e avaliação e análise das áreas de vegetação natural.

Outra importante abordagem que está sendo utilizada, principalmente nas últimas décadas, nos estudos ambientais, é aquela que considera como unidade de análise as bacias e sub-bacias hidrográficas. A bacia hidrográfica como unidade de gestão de território permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem.

Com o crescente aumento do índice de crescimento populacional mundial, há conseqüentemente, a necessidade do aumento da produção alimentícia, exigindo uma maior demanda energética, possível aumento dos processos de degradação ambiental e uso crescente dos recursos hídricos. Em grande parte dos municípios brasileiros houve uma transformação

do espaço ao longo do desenvolvimento do sistema capitalista de produção, causando assim evoluções técnicas e científicas no ramo desses mesmos espaços (CASTANHO; TEODORO, 2010).

Segundo a FAPESPA em seu boletim agropecuário do Pará divulgado no ano de 2017, o setor Agropecuário do Pará passa por um momento de reconhecimento no cenário nacional. Isso devido ao grau de importância de alguns dos produtos cultivados e produzidos no estado e que possuem destaque no Brasil com as maiores produções, tendo como exemplo o dendê, açaí, abacaxi, cacau, pimenta-do-reino e mandioca. Soma-se, ainda, o gado paraense, que está entre os cinco maiores rebanhos do país.

Para mitigar os problemas e fomentar o desenvolvimento de políticas públicas para uma gestão sustentável dos recursos naturais, torna-se imprescindível o monitoramento do uso e da cobertura do solo, através de informações espaço temporais detalhadas das modificações ocorridas na paisagem (JANSEN; GREGÓRIO, 2004; MENDOZA *et al.*, 2011).

2. ÁREA DE ESTUDO

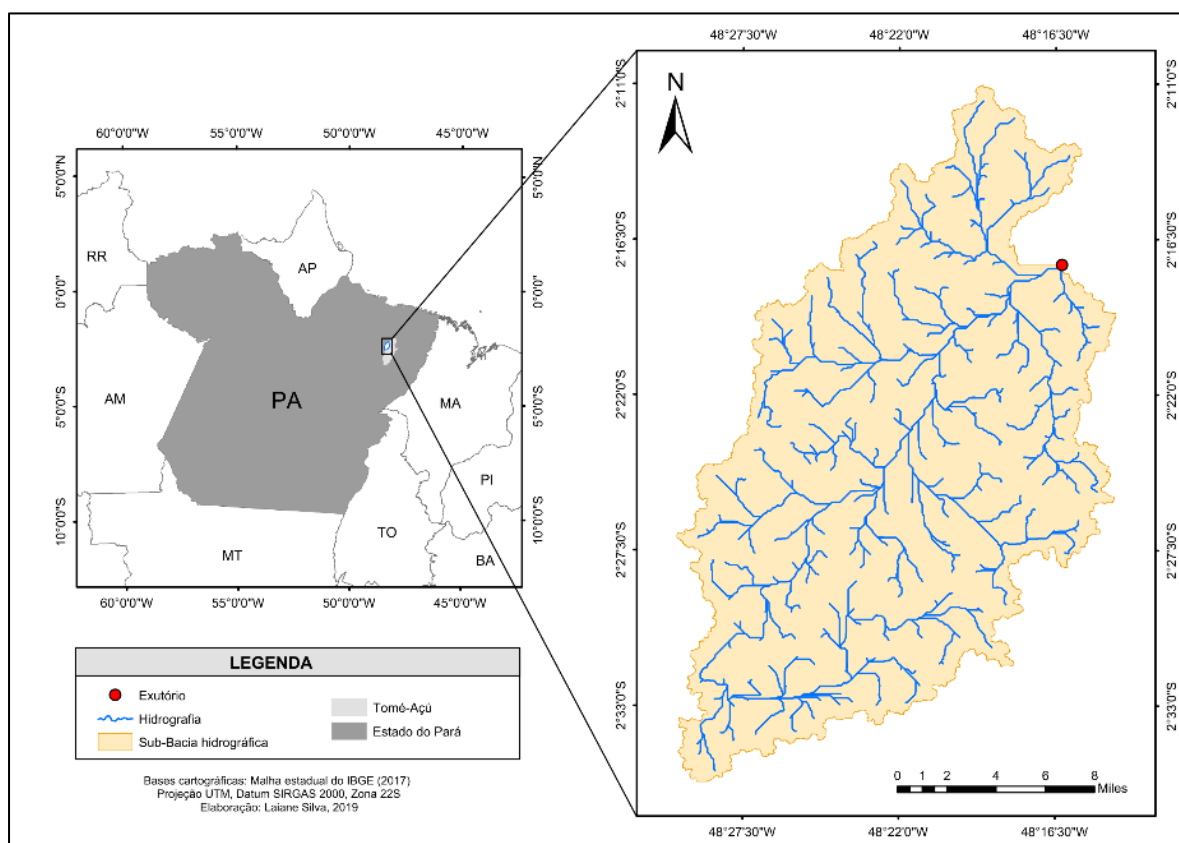
2.1 Localização geográfica

A bacia hidrográfica do rio Acará, localiza-se dentro do contexto da Mata Atlântica e possui extensão territorial de 13.357,24 km², com extensão longitudinal do rio principal de 398,7 Km e drena nove municípios: Acará, Aurora do Pará, Bujaru, Concórdia do Pará, IPIXUNA do Pará, Moju, São Domingos do Capim, Tailândia e Tomé-Açu. Entretanto, 98% da sua área total está predominantemente inserida nos municípios de Acará, Tailândia e Tomé-Açu e compõe a mais importante bacia da região.

A sub-bacia hidrográfica do rio Acará, foco deste estudo, localiza-se no município de Tomé-Açu (figura 1), localizada cerca de 24 km da capital e compõe uma unidade territorial de 742 Km².

O Município de Tomé-Açu, criado em 17 de março de 1959, está localizado na mesorregião nordeste paraense, na microrregião de Tomé-Açu, aproximadamente, entre as latitudes de 01°57'38"S e 03°11'6'37"S e as longitudes de 47°53'32"W e 48°49'15"W (PACHECO; BASTOS, 2001).

Figura 1. Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do rio Acará.



Fonte: Elaborado pela autora.

2.2 Características fisiográficas

2.2.1 Clima

A sub-bacia do rio Acará está inserida em dois tipos climáticos, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger: Am (Tropical de Monção) e Af (Tropical Equatorial). Tais tipos climáticos apresentam como características elevadas temperaturas e precipitação durante o ano, onde a temperatura média do mês mais frio do ano está acima de 18°C e a pluviosidade média anual superior a 1500 mm (DIAS, 2019).

2.2.2 Geologia

Unidades geológicas predominantemente de origem sedimentar do Mesozoico e Cenozoico, as quais apresentam materiais arenosos, silto-argiloso e argilo-arenosos. O

substrato rochoso é caracterizado pela origem sedimentar, com a presença de coberturas detrito-lateríticas e das Formações Itapecurú e Barreiras (VASQUEZ; COSTA, 2008).

2.2.3 Geomorfologia

Compõe a unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixados da Amazônia, sendo a planície de inundação, baixos platôs, tabuleiros e colinas as unidades morfológicas presentes. O município não apresenta variações altimétricas expressivas, sendo que suas cotas se encontram em torno de 35 metros, com máxima de 96 metros, ao sul.

Dias e Lima (2018), afirmam em seu estudo que a sub-bacia do rio Acará é pouca propensa ao processo erosivo, com a declividade concentrando cerca de 97,28% do terreno em suavemente ondulado e plano, possibilitando maior infiltração da água no solo. Além disso, possui um relevo dissecado e colinoso, com a altitude mínima de 5m e altitude máxima de 103m, sendo pouca significativa na alteração da temperatura média.

2.2.4 Hidrografia

As condições climáticas da região propiciam um rico potencial hídrico com um sistema de drenagem bem ramificado. A sub-bacia do rio Acará possui um formato alongado, escoamento superficial seguindo, preferencialmente, direção N-S e um padrão de drenagem com estrutura linear.

2.2.5 Solos

Os solos são corpos naturais tridimensionais resultantes dos processos físico-químicos que modificam o substrato rochoso, compostos de partes sólidas, líquidas e gasosas, constituídos de materiais minerais e orgânicos, que, a partir da interação de diferentes fatores como o clima, organismos, materiais de origem, relevo e o tempo, surgem com características diversas e diferentes graus de evolução (EMBRAPA, 2006; SILVA, 2011). O latossolo é o principal tipo de solo presente na área da sub-bacia. Além dele ocorrem na área os espodossolo, gleissolo e plintossolos (FALESI; SANTOS; VIEIRA, 1964).

2.2.6 Cobertura vegetal

A cobertura vegetal é composta por floresta equatorial latifoliada que ocupa áreas de terra firme, bem como floresta ombrófila densa aluvial, que estão presentes nas margens dos rios (DIAS, 2019).

3. JUSTIFICATIVA

A economia do município de Tomé-Açú é baseada na agricultura tradicional, e em contexto mais recente, as atividades agropecuárias na região impulsionam o setor de comércio e serviços, que, juntamente com os tributos e Fundo de Participação Municipal, caracterizam o PIB dos principais municípios da bacia do rio Acará. Nesse sentido, a extração de madeira, pecuária extensiva, plantio de mandioca, pimenta, fruticultura, etc. são as principais atividades econômicas desenvolvidas na região (NAHUM; SANTOS, 2016).

Deve destacar-se que as práticas agrícolas desses colonos se fundamentaram no cultivo e plantio de culturas de grande valor comercial, como a cultura do dendê (*Elaeis guineensis*), em parceria com empresas especializadas que se estabeleceram na região, obtendo constante crescente quando em maio de 2010, o Governo Federal lançou o Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma, visando a oferecer à população local uma alternativa economicamente mais viável que o desmatamento, por meio da preservação da floresta nativa, recuperação de áreas desmatadas e degradadas, além de linhas de créditos com baixas taxas de juros para os agricultores familiares (GOVERNO, 2010). No mesmo ano, foi lançado o zoneamento agroecológico de produção e manejo para a cultura da Palma de óleo na Amazônia, que subsidiou o programa de produção sustentável da palma de óleo e incentivou a expansão da cultura, indicando as áreas propícias ao seu cultivo. Segundo Dias (2019), a expansão do uso da terra é um dos principais vetores de degradação dos recursos naturais na Amazônia, e por isso, faz-se necessário investigar a dinâmica dos diferentes padrões de uso da terra na transformação da paisagem nessa região.

Segundo dados disponibilizados pela FAPESPA no ano de 2017, Tomé-Açú esteve entre os 10 maiores produtores de lavouras permanentes e rebanhos de galináceos entre 2015 e 2016 (tabelas 1 e 2), além de ser um dos maiores produtores de pimenta do reino e dendê no ano de 2016.

Tabela 1. Dez maiores municípios paraenses com as maiores produções em lavouras permanentes no estado entre 2015 e 2016.

	MUNICÍPIOS	2015 (TON.)	2016 (TON.)	PART. (%)	VAR. (%)
1º	Tailândia	410.283	410.283	11,20	-
2º	Igarapé-Miri	537.246	307.783	8,40	-42,71
3º	Moju	237.306	270.314	7,38	13,91
4º	Acará	175.894	242.528	6,62	37,88
5º	Concórdia do Pará	164.877	229.685	6,27	39,31
6º	Tomé-Açú	166.908	177.052	4,83	6,08
7º	Capitão Poço	100.965	154.950	4,23	53,47
8º	Abaetetuba	251.077	132.498	3,62	-47,23
9º	Cametá	210.730	117.767	3,21	-44,11
10º	Santo Antônio do Tauá	94.637	115.970	3,19	23,60

Fonte: FAPESPA, 2017.

Como pode ser observado, o uso e ocupação do solo relaciona-se a fatores econômicos e provoca transformações nos fatores naturais, que se transformam e, quando mal manejados, provocam diversos impactos negativos como erosões, enchentes, inundações, secas, perdas de moradias, mortes, entre outros, interferindo direta e indiretamente nos fatores sociais.

Tabela 2. Municípios paraenses com os maiores rebanhos galináceos entre 2015 e 2016.

	MUNICÍPIOS	2015 (TON.)	2016 (TON.)	PART. (%)	VAR. (%)
1º	Santa Isabel do Pará	26.020.054	26.378.888	30,94	-5,99
2º	Castanhal	8.682.116	8.161.400	12,51	8,01
3º	Igarapé-Açú	3.055.147	3.300.000	6,01	-4,12
4º	Vigia	1.654.214	1.586.000	4,70	5,41
5º	Santarém	1.079.232	1.240.000	4,34	6,09
6º	São Francisco do Pará	908.500	1.144.934	3,73	8,34
7º	Santo Antônio do Pará	827.432	984.300	3,51	11,86
8º	Benevides	567.141	925.600	2,46	14,61
9º	São Miguel do Guamá	540.200	650.000	1,95	-4,78
10º	Tomé-Açú	463.736	514.380	1,69	-4,00

Fonte: FAPESPA, 2017.

Neste sentido destacam-se as ocupações que ocorrem em áreas próximas as bacias hidrográficas. Nestes locais, o que se pode verificar, é a intensa ocupação nas margens e nascentes, pois toda e qualquer atividade humana necessitam do recurso para desenvolver suas atividades (BRAZ et al., 2014).

Desta forma, as bacias e sub-bacias hidrográficas tornaram-se o recorte ideal para as práticas que visam conservação e planejamento, o que foi instituído por lei em 8 de janeiro de 1997, que diz:

Art. 9433 - A bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos”, adotando o princípio de que a bacia hidrográfica é a unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento das águas.

É importante salientar que o nível de degradação ambiental em que se encontram as bacias hidrográficas, bens imprescindíveis para vida, decorre da falta de comprometimento ambiental e da inadequação das políticas públicas, normas e falta de pessoal especializado, que geraram e geram profundas vulnerabilidades ambientais em termos de impactos ao meio ambiente, que por sua vez podem ser revistos, dando o devido tempo de recuperação aos recursos naturais (ARAÚJO *et. al*, 2009).

Dessa forma, a área de estudo justifica-se pela ausente ou pouca informação em literaturas dessa temática produzida, e o processo de mudanças do uso da terra advindas através da implantação de grandes projetos de monocultivo no nordeste paraense.

4. OBJETIVOS

4.1 Gerais

Realizar uma análise espaço-temporal e identificar a dinâmica do uso do solo e cobertura vegetal em uma sub-bacia hidrográfica do rio Acará, localizada no nordeste paraense.

4.2 Específicos

- Identificar as alterações no uso da terra e cobertura vegetal (1995 a 2017);
- Parametrizar e avaliar os principais impactos;
- Compreender e propor melhores práticas de manejo da sub-bacia hidrográfica.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 Conceitos em geotecnologias

Internacionalmente, a década de 80 representa o momento quando as geotecnologias, principalmente os Sistemas de Informações Geográficas, iniciam um período de acelerado crescimento que dura até os dias de hoje (PONZONI, SHIMABUKURO; KUPLICH, 2019). Silva (2007) conceitualiza geotecnologias como sendo a arte e a técnica de estudar a superfície da terra e adaptar as informações às necessidades dos meios físicos, químicos e biológicos.

Está ligada à área das geoinformações, que é a aquisição de materiais que farão parte de análise ou processamento que nesta área é chamada de informações georreferenciadas, sendo é utilizada pela geografia, cartografia, topografia entre outras fontes do estudo geológicos.

Segundo Prezente (2011), as geotecnologias são divididas em algumas áreas: o geoprocessamento, que consiste na realização dos trabalhos a partir dos SIGs, das bases de dados e as análise espaciais; o sensoriamento remoto, que visa o trabalho com as imagens ópticas, imagens de radar e os perfis espectrais; e o sistema de posicionamento global (GPS), um conjunto de técnicas e instrumentos utilizados para localização na superfície terrestre.

5.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Os Sistemas de Informação Geográfica correspondem às ferramentas computacionais de Geoprocessamento, que permitem a realização de análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA; DAVIS, MONTEIRO, 2013). Foi desenvolvido nos anos 60 como meio de sobrepor e combinar diversos tipos de dados em um mesmo mapa, tendo evoluído significativamente nos anos 80 e hoje está sendo utilizado em órgãos estatais, prefeituras, universidades e, especialmente, nas concessionárias de serviços públicos.

A maioria das aplicações SIG apresenta uma estrutura geral com uma interface para comunicação com o utilizador, uma base de dados, uma unidade de gestão dessa base de dados, e um conjunto de funcionalidades para entrada e edição de dados, sua análise e produção e impressão de mapas (CAVALCANTE, 2015). Todos estes procedimentos podem ser realizados manualmente, porém desta forma essas atividades podem ser muito lentas, tediosas, de difícil padronização e com maior probabilidade de ocorrência de erros. Além

disso, mapas em papel são difíceis de manejar, armazenar, enviar, receber e copiar. Desta forma, a utilização de computadores, dotados de programas computacionais de SIG, torna essas operações mais fáceis e produtivas, entre elas a habilidade de armazenar, recuperar e combinar os dados disponíveis sobre um território (ROCHA; CRUZ; SEABRA, 2013).

5.3 Sensoriamento remoto aplicado a estudos ambientais

Sensoriamento remoto é entendido como uma ciência que obtêm informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise dos dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato direto com o meio investigado (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2007). Essa ciência permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2007).

A aplicação das técnicas de processamento digital de imagens no estudo da vegetação teve grande destaque no início dos anos 70, seguindo até meados da década de 90 (PONZONI, SHIMABUKURO; KUPLICH, 2019), e até hoje, os dados de sensores remotos orbitais têm sido uma fonte importante de informação para estudos geográficos, meteorológicos e ambientais em diversos níveis, por proverem a necessária visão temporal da superfície terrestre (ANTUNES, 2007), possibilitando o desenvolvimento de diversas questões com maior praticidade e oferecem a junção de conhecimentos de várias áreas da ciência (NOVO, 2010). Especialmente depois do avanço do sensoriamento remoto, que permitiu o conhecimento mais detalhado dos recursos naturais. Segundo Correia (2012), a utilização do sensoriamento remoto na vegetação se baseia nas relações funcionais existentes entre as informações espectrais fornecidas pelos dados dos satélites e os parâmetros biológicos representativos do estado real dos dosséis da vegetação. Para Igawa, Dias e Sousa (2015) possibilita o desenvolvimento de questões com maior praticidade e oferece a junção de conhecimentos de várias áreas da ciência, na busca da compreensão das funções e mudanças ocorridas em um ambiente, possibilitando assim, uma melhor avaliação do potencial de uso das terras para que sua exploração seja desenvolvida de forma mais sustentável.

Coimbra (2002), define o meio ambiente como um conjunto de elementos abióticos (físicos e químicos) e bióticos (flora e fauna), organizados em diferentes ecossistemas naturais e sociais em que se insere o Homem, individual e socialmente, num processo de interação que atenda ao desenvolvimento das atividades humanas, à preservação dos recursos naturais e das

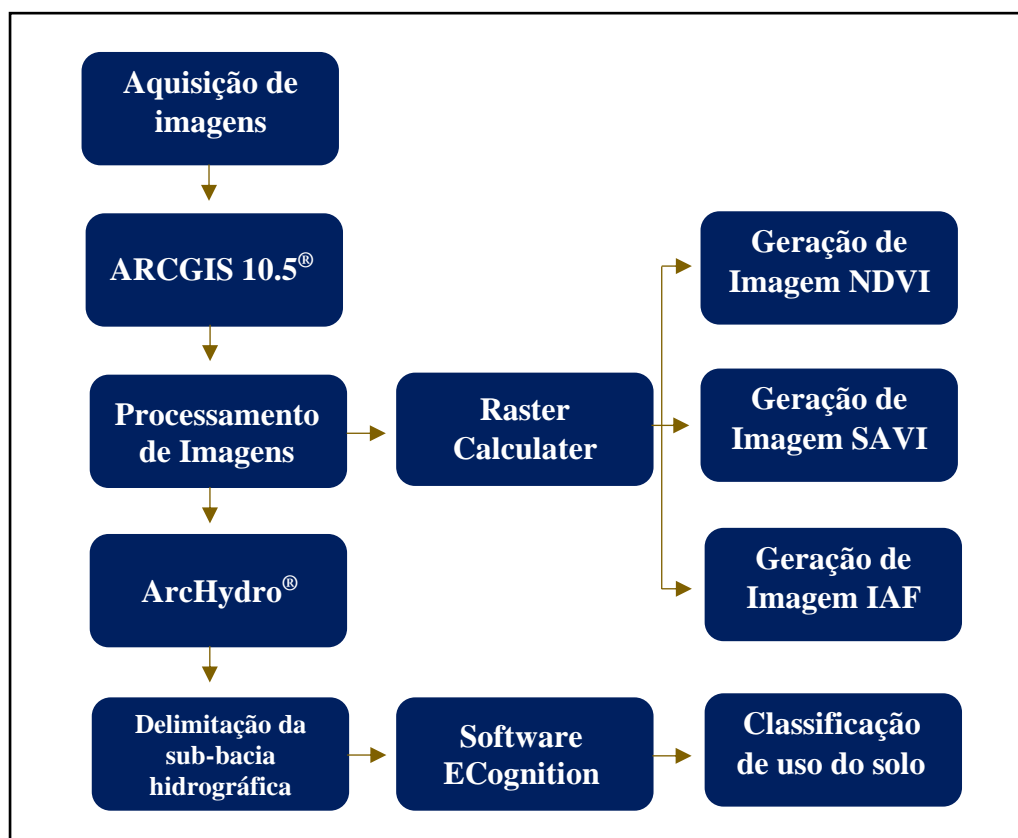
características essenciais do entorno, dentro das leis da natureza e de padrões de qualidade definidos. Este sistema apresenta modificações em seu equilíbrio dinâmico a partir do momento em que sofrem alterações em seu fluxo de energia. Os sistemas socioeconômicos atuam diretamente nestas alterações, pois ações antrópicas de ocupação, apropriação e exploração dos recursos naturais alteram a dinâmica dos sistemas ambientais, condicionando as unidades a modificações (RIBEIRO, 2015).

No estudo desses impactos, o monitoramento da cobertura vegetal é de fundamental importância para garantir a preservação do meio-ambiente e o desenvolvimento sustentável (JEPSON, 2005). Compreender a relação entre ocupação urbana e degradação ambiental é extremamente necessário para prevermos e evitarmos impactos futuros, tais como alagamentos, perda do potencial de geração de alimentos, poluição do ar e solo, impactos irreversíveis sob a fauna e flora. Conhecer as vulnerabilidades implica em entender a susceptibilidade e/ ou a resistência deste frente às pressões externas, a fim de identificar áreas com maior propensão a impactos (MOURA; GRIGIO; DIODATO, 2010). Leite e Rosa (2012) afirmam ainda que o uso, ocupação e cobertura da terra podem ser sintetizados através de mapas, pois estes indicam a distribuição espacial da tipologia da ação antrópica que pode ser identificada pelos seus padrões homogêneos característicos na superfície terrestre através de análise em imagens remotamente sensoriadas. Sua identificação, quando atualizada, é de grande importância ao planejamento e orienta à ocupação da paisagem, respeitando sua capacidade de suporte e/ou sua estabilidade/vulnerabilidade.

6. METODOLOGIA

Os softwares utilizados neste trabalho foram Arcgis® 10.5.1 e eCognition Developer 64 9.0®. A metodologia empregada está representada na forma de fluxograma na figura 2, sendo detalhada a seguir.

Figura 2. Fluxograma das etapas utilizadas na metodologia.



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1 Aquisição de imagens e bases cartográficas

Silva, Brito e Rosa (2005) consideram essencial que a escolha da imagem e da metodologia de classificação do uso do solo deve ocorrer de acordo com as necessidades do usuário e com as características da região. Desta forma, a base de dados para a análise do estudo se restringiu a dois formatos: vetorial e raster. Os dados vetoriais referem-se à rede hidrográfica, enquanto o raster às imagens de satélite Landsat 5 TM e 8 OLI. As imagens de satélite foram fornecidas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS. Neste estudo, foram utilizadas imagens Landsat 5 (1995 e 2008) e Landsat 8 (2017), datadas entre os meses de junho e setembro, no período seco da área de estudo.

6.1.1 Landsat 5 Sensor TM

O sensor TM do satélite LANDSAT 5 possui sete bandas, com numeração de 1 a 7, sendo que cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite.

A resolução geométrica é de 30 metros nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. E 120 m para a banda 6. Possui faixa de imageamento de 185 km e resolução temporal de 16 dias.

6.1.2 Landsat 8 Sensor OLI

As principais características da imagem e do sistema sensor são: resolução espacial de 30 m (3, 4 e 5) e de 15 m para a pancromática, faixa de imageamento de 185 km e resolução temporal de 16 dias.

6.2 Processamento digital de imagens

O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens (CRÓSTA, 2002). Ou seja, é a manipulação de uma imagem por computador de modo onde a entrada e a saída do processo são imagens. Usam-se para melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e para fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

Dentre as técnicas de processamento de imagens, destaca-se a conversão radiométrica, fusão e reprojeção das imagens (FILHO; NETO, 1999), e têm como objetivo “preparar” as imagens para serem efetivamente utilizadas pelos usuários (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2019). Realizados os procedimentos de processamento das imagens, o próximo passo consiste na geração de imagens coloridas para facilitar o processo de visualização e classificação ou extração de informações.

6.2.1 Conversão Radiométrica

A correção da imagem possibilita melhor extração de informações da superfície do terreno, sendo de fundamental importância para a gestão territorial, pois pode subsidiar tomada de decisões relacionadas ao uso e conservação de recursos naturais, sobretudo auxiliando na caracterização da paisagem, definindo classes de cobertura e uso da terra (MARANHÃO, 2016).

As técnicas de correção atmosférica podem ser divididas em métodos de campo (alternativos) e físicos (GOMES *et al.*, 2012). O método de campo utiliza informações da própria imagem para corrigi – lá, ou seja, usa os números digitais da imagem, pode-se citar nesse método a correção radiométrica. Enquanto, para o método físico são necessários dados ópticos da atmosfera e do processo de interação radiação atmosfera-superfície (NASCIMENTO, 2006).

6.2.2 Fusão

O processo de fusão de imagens de sensoriamento remoto pode ser efetuado tanto com bandas de um mesmo sensor quanto com bandas de diferentes sensores, visando como resultado melhorias na qualidade das imagens (SOARES *et al.*, 2015). Para Fonseca (2000), as técnicas de fusão de imagens consistem em integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática a melhor resolução espectral das demais bandas, produzindo uma imagem colorida que reúne ambas características.

6.2.3 Reprojeção da imagem

É o processo utilizado para executar transformações radiométricas nas imagens de satélite. Durante o processamento, as imagens serão convertidas do range de 16 bits para 08 bits, facilitando a distribuição em outro software e reduzindo pela metade o tamanho do arquivo.

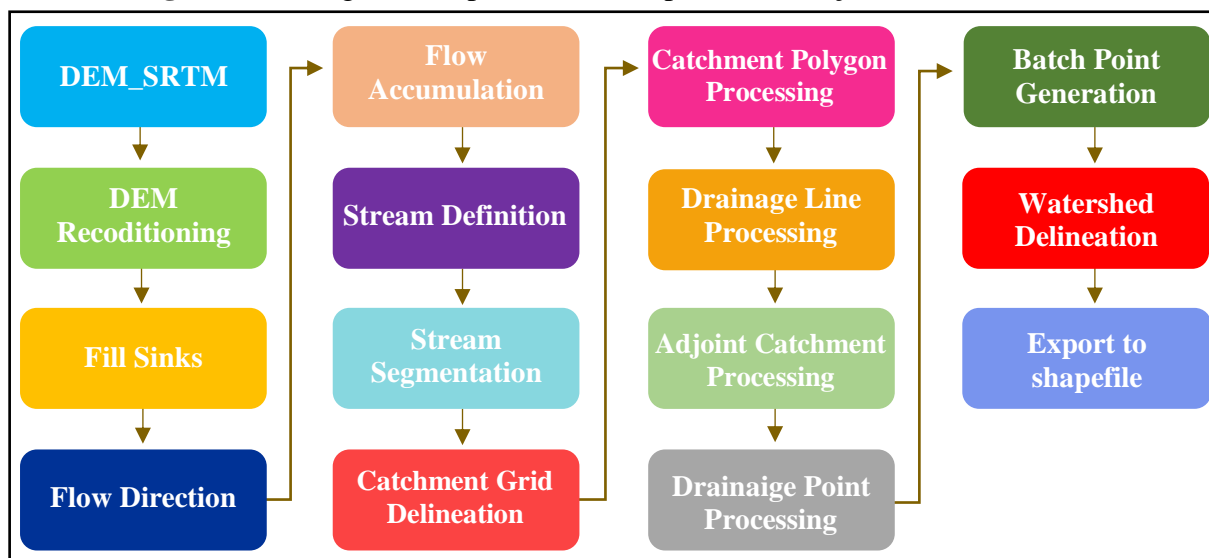
6.2.4 Composição colorida de imagens

Em geral, as imagens obtidas de satélites através de sensoriamento remoto estão separadas em diversas bandas, de acordo com o comprimento de onda de cada sensor. A combinação destas bandas deve ser feita de acordo com o estudo a ser realizado e as características da superfície terrestre que precisam ser destacadas.

6.3 Delimitação da área de estudo

Para a determinação da área de estudo utilizou-se o sistema de informação geográfica ArcGis 10.5.1, através da instalação da extensão ArcHydro Tools (ESRI, 2001), obedecendo o passo a passo expresso na Figura 3.

Figura 3. Fluxograma de processamento para delimitação da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Esta extensão possibilitou a delimitação automática da sub-bacia hidrográfica do rio Acará, empregando imagens MDE (Modelo Digital de Elevação) dos anos de estudo da missão SRTM que recobrem a área de estudo, referenciadas ao SIRGAS 2000 e com resolução espacial de 30 metros, embasado na indicação do seu exutório e no processamento das imagens de rede de drenagem e de direção de fluxo.

6.4 Classificação de uso e ocupação do solo

Tomando como base o manual técnico de uso da terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2013), foram definidas seis classes de uso do solo, descritas na tabela 3. Após a definição das classes, o próximo passo consistiu na classificação supervisionada das imagens, realizadas através de uma licença estudantil do sistema eCognition® 5.0. Um software comercial muito utilizado para processamento de imagens de alta resolução.

Tabela 3. Chave de interpretação para elaboração de classes de uso e cobertura do solo.

NOME DA CLASSE	DESCRIÇÃO
Área Cultivada	Inclui áreas com vegetação herbácea destinadas ao cultivo de culturas eventualmente irrigadas.
Floresta	Áreas ocupadas com plantios de florestas exóticas.
Hidrografia	Pequenas áreas com corpos hídricos presentes na sub-bacia hidrográfica.
Pastagem	Pousio e pastagens extensivas de rebanhos bovino, caprino, ovino e equino.
Solo exposto/ para cultivo	Nesta classe foram considerados áreas ocupadas com estradas, sede das propriedades rurais, solo preparado para cultivo e solo exposto.
Áreas antrópicas agrícolas	Áreas de ocupação do solo com predominância de construções.

Fonte: Elaborado pela autora.

A segmentação é a etapa crítica deste processamento, onde se obtém a imagem a partir da qual alguma informação será extraída. Seu objetivo principal é subdividir uma imagem em regiões ou objetos de interesse, formados pelo agrupamento de pixels contíguos (PACIORNIK, 2014). Posteriormente, se iniciou a etapa de treinamento, que se caracteriza pelo uso de amostras, que servem como referência para a identificação das classes no restante da imagem. Quanto maior o número de amostras melhor o resultado obtido.

6.5 Operações de bandas

Na literatura são encontrados mais de quarenta índices de vegetação gerados com dados de satélites, sendo quase todos obtidos de medidas de reflectâncias nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo no espectro eletromagnético (LIU, 2007), mas os mais frequentemente utilizados são os Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) índice de vegetação ajustado ao efeito do solo (SAVI) e índice de área foliar (IAF), e foram discutidos neste trabalho. Os cálculos de NDVI, SAVI e IAF foram realizados a partir do software ArcGIS Desktop versão 10.5.1, na imagem corrigida para reflectância da superfície, por meio da extensão Raster Calculator.

6.5.1 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

O Índice de vegetação com diferença normalizada permite a análise dos diferentes tipos de cobertura vegetal, aos quais é possível identificar inclusive o período de desenvolvimento

fenológico dos vegetais (CLERICI; WEISSTEINER; GERARD, 2012). Foi calculado pela diferença entre as bandas do Infravermelho Próximo e do Vermelho, normalizada pela soma das mesmas bandas, de acordo com a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}$$

Sendo:

ρ_4 = Valor da reflectância na faixa do infravermelho

ρ_3 = Valor da reflectância na faixa do vermelho

6.5.2 Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)

As características do solo têm uma influência considerável no espectro de radiação proveniente de dosséis vegetais esparsos e, conseqüentemente, no cálculo dos índices de vegetação (HUETE, 1988). Este índice tem a finalidade de reduzir os efeitos causados pela reflectância do solo (BERNARDI, *et al.*, 2014), desta forma, minimizando a densidade da vegetação para normalizar a densidade média para que obtenha pouca influência do solo destacando as respostas espectrais da vegetação. Foi definido pela equação a seguir:

$$SAVI = \frac{(1 + L_s)(\rho_4 - \rho_3)}{(L_s + \rho_4 + \rho_3)}$$

Sendo:

L_s = Constante denominada de fator de ajuste do índice SAVI, podendo assumir valores de 0,25 a 1 dependendo da cobertura do solo¹. Neste trabalho, foi adotado o valor de 0,5.

ρ_4 = Valor da reflectância na faixa do infravermelho

ρ_3 = Valor da reflectância na faixa do vermelho

¹ Para vegetação baixa: $L=1$, para vegetação intermediária: $L=0,5$ e para vegetação com alta densidade: $L=0,25$.

6.5.3 Índice de área foliar (IAF)

O Índice de Área Foliar (IAF) é um índice biofísico definido pela razão entre a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada por esta vegetação, sendo um indicador da biomassa de cada pixel da imagem (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2002). Foi computado pela seguinte equação empírica:

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0.69 - SAVI}{0.59}\right)}{0.91}$$

Sendo:

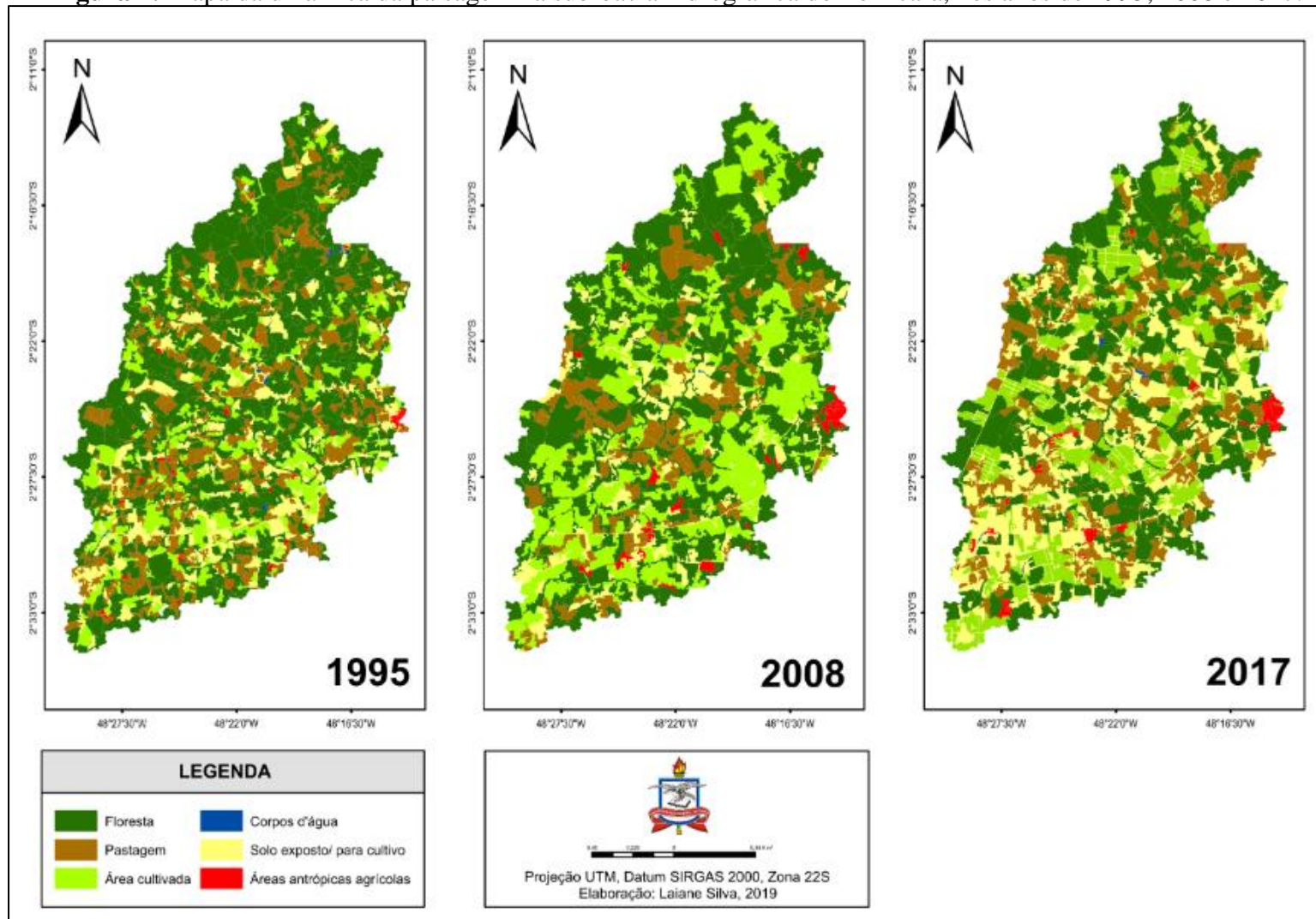
0,69/ 0,59 e 0,91 = Respectivamente, área foliar total da vegetação dividido pela área da vegetação e dividido pela vegetação

SAVI = Dados resultantes do índice de vegetação do solo

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Classificação de uso e ocupação do solo

Figura 4: Mapa da dinâmica da paisagem na sub-bacia hidrográfica do rio Acará, nos anos de 1995, 2008 e 2017.



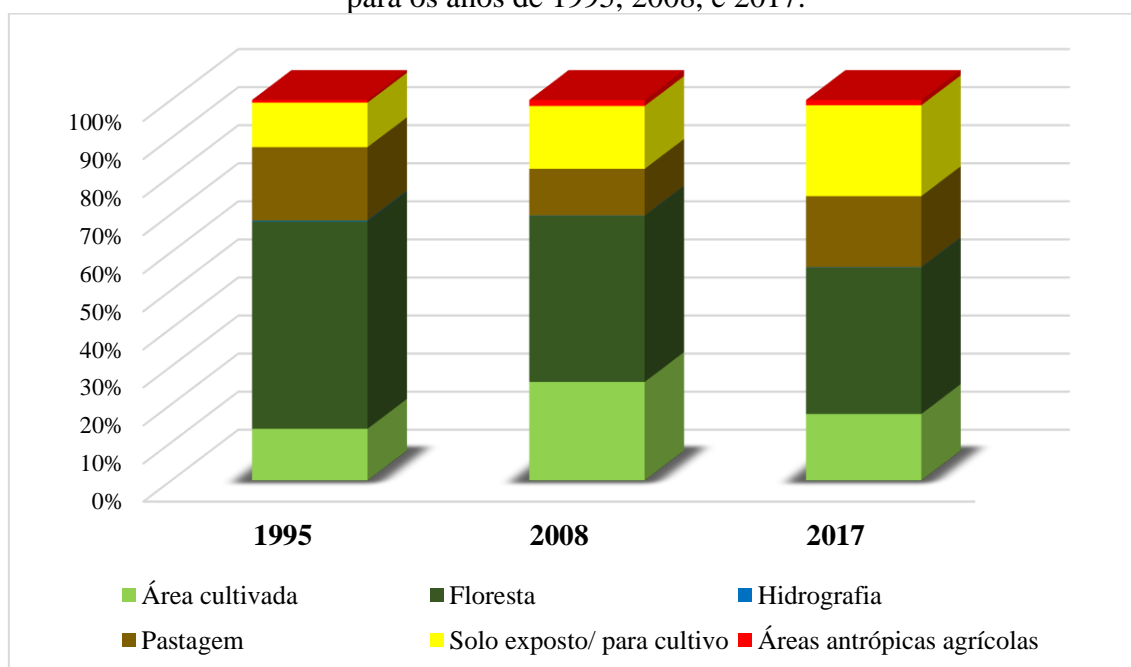
Fonte: Elaborado pela autora.

O uso e cobertura da terra é a informação mais acessível numa imagem de satélite, pois a mesma permite a visualização e identificação direta dos elementos ali geometricamente apresentados. A compreensão da dinâmica do uso e cobertura da terra possibilita orientar a elaboração de políticas públicas que visem promover o uso ordenado dos recursos naturais em regiões próximas as bacias e sub-bacias hidrográficas.

Ao analisar as figuras 4 e 5, na série temporal escolhida (do ano de 1995 ao ano de 2017) em um intervalo de, em média, 10 (dez) anos, verificou-se que a sub-bacia hidrográfica do rio Acará é uma área que passou por grandes mudanças de cobertura e uso do solo.

É possível observar na tabela 4 que as principais modificações na sub-bacia ocorreram nas classes floresta, solo exposto e área cultivada, havendo o diminuição das áreas de floresta (de 54,5% para 38,5 %), aumento das áreas de solo exposto (de 11,7% para 23,9%) e um considerável elevação de áreas cultivadas entre 1995 e 2008 (de 13,6% para 25,9%) com consecutiva redução entre 2008 e 2017 (de 25,9% para 17,5%).

Figura 5. Taxas de uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Acará para os anos de 1995, 2008, e 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Entre 1995 e 2008, houve um aumento significativo na área cultivada (de 13,6% para 25,9%) e de solo exposto/ para cultivo (de 11,7% para 16,5%). O inverso aconteceu entre os anos de 2008 e 2017, ao se obter diminuição de 8,4% de áreas cultivadas e

consequente aumento de 7,4% de solo exposto. A classe pastagem variou de forma diferente dessas duas classes, com a diminuição de 7% de sua área entre 1995 e 2008, seguida de um aumento de 6,4% entre 2008 e 2017.

Tabela 4. Área (km²) das classes de usos de solo na Sub-Bacia Hidrográfica do rio Acará nos anos de 1995, 2008 e 2017.

CLASSES	1995		2008		2017	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Área Cultivada	100,96	13,6	192,27	25,9	129,91	17,5
Floresta	404,58	54,5	323,67	43,6	285,80	38,5
Hidrografia	1,48	0,2	0,74	0,1	0,74	0,1
Pastagem	143,27	19,3	91,31	12,3	138,82	18,7
Solo exposto/ para cultivo	86,85	11,7	122,49	16,5	177,42	23,9
Áreas antrópicas agrícolas	5,20	0,7	11,88	1,6	10,39	1,4
Total	742,35	100,0	742,35	100,0	742,35	100,0

Fonte: Elaborado pela autora.

A classe temática floresta apresentou uma redução de aproximadamente 10,9% de sua área entre 1995 e 2008, e de 5,1% entre 2008 e 2017. Compreendendo uma diminuição de 178,78 km² de área, quando comparados os dados dos anos de 1995 e 2017. Dessa forma, é possível afirmar que há uma tendência ao desflorestamento e supressão da vegetação mais densa. Entretanto, é possível perceber que houve uma diminuição nas taxas de desflorestamento no decorrer dos anos (passou de 10,9% para 5,1%). Isso pode ser explicado por no ano de 2009 o Governo do Estado do Pará lança o Plano de Prevenção, Controle e Alternativas ao Desmatamento do Estado do Pará (PPCAD-PA) com a finalidade de frear as taxas de desflorestamento no estado a partir de ações de controle e monitoramento, ordenamento territorial, fundiário e gestão ambiental para estabelecer a preservação ecológica dos recursos naturais, bem como sua utilização apropriada (PARÁ, 2009).

A criação do programa “Municípios Verdes”, em 2011, por parte do Governo do Estado, é outro fator que pode ter contribuído para a diminuição nas taxas de desflorestamento na área da sub-bacia hidrográfica. O município de Tomé integra esse programa desde o lançamento, e também está relacionado ao combate do desflorestamento a partir de ações de cunho territorial, fundiário e ambiental, materializadas na elaboração do Cadastro Ambiental Rural (CAR).

De acordo com este mapeamento não houve alterações em 285,80 km² (38,5 %) no interior da sub-bacia hidrográfica. O restante apresentou grandes alterações, principalmente devido ao desflorestamento ou perda da cobertura vegetal (16 %) em consequência da incorporação de terras por práticas agropecuárias devido a incentivos para implantação de monocultivos, e a introdução de pastagem e lavouras temporárias.

Este cenário é compatível com o modelo criado por Carvalho e Domingues (2016) avaliando a tendência até 2030 para o Nordeste paraense, com o aumento da atividade da Agropecuária, considerando pasto (16,57%), lavoura (18,26%), e floresta plantada (55,54%), com uma perda de floresta natural de cerca de 27%.

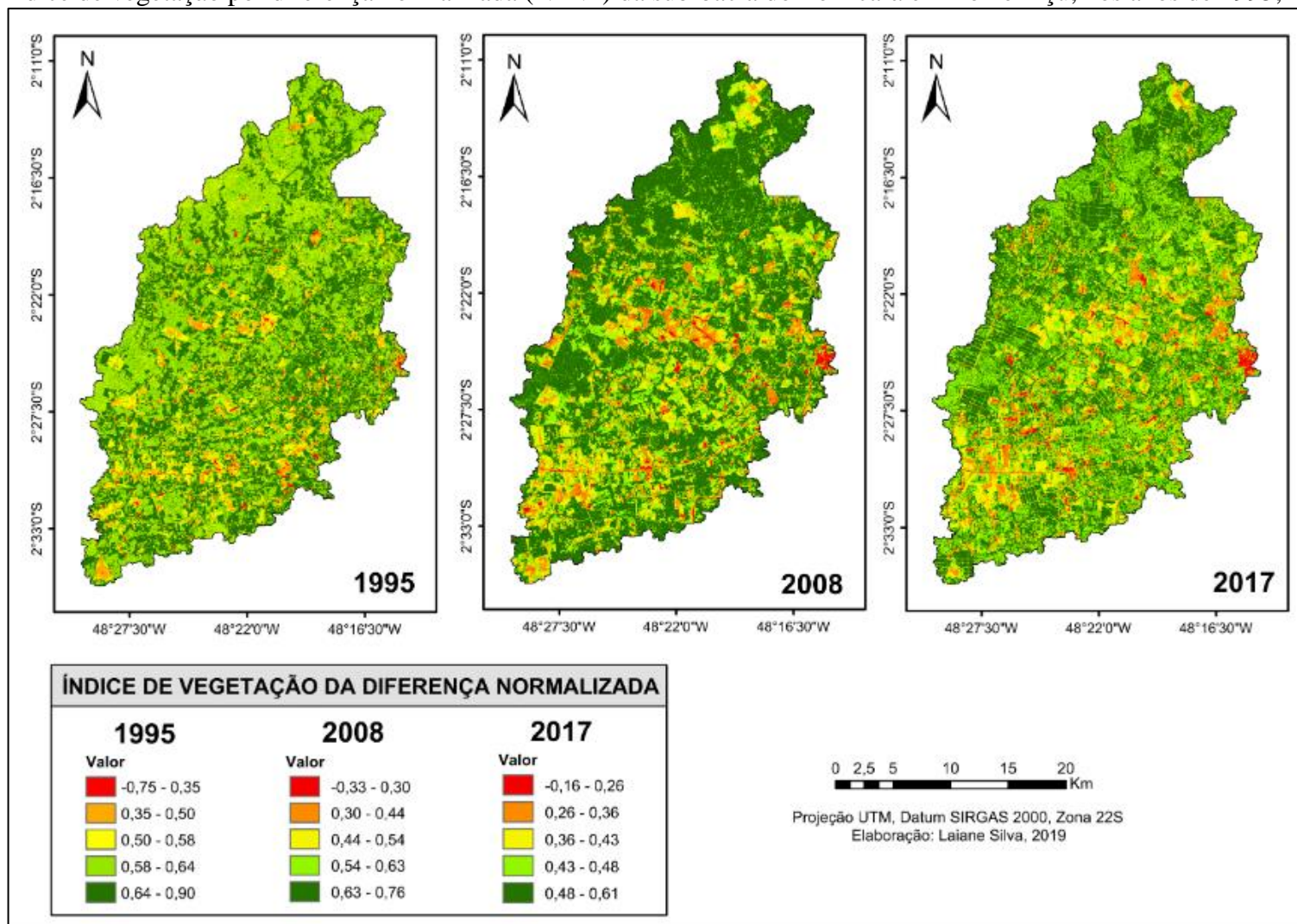
7.2 Análise dos índices de vegetação

A partir dos resultados obtidos nos cálculos, foram gerados mapas dos três diferentes índices de vegetação nos três anos distintos.

Para estes três índices, os maiores valores (próximos de 1) de índices de vegetação se relacionam às áreas de vegetação com maior vigor. Enquanto os menores valores (próximos de 0) equivalem às áreas de vegetação estressada, bem menos densas ou até mesmo áreas desnudas (ROSENDO, 2005).

7.2.1 NDVI

Figura 6. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da sub-bacia do rio Acará em Tomé-Açú, nos anos de 1995, 2008 e 2017.



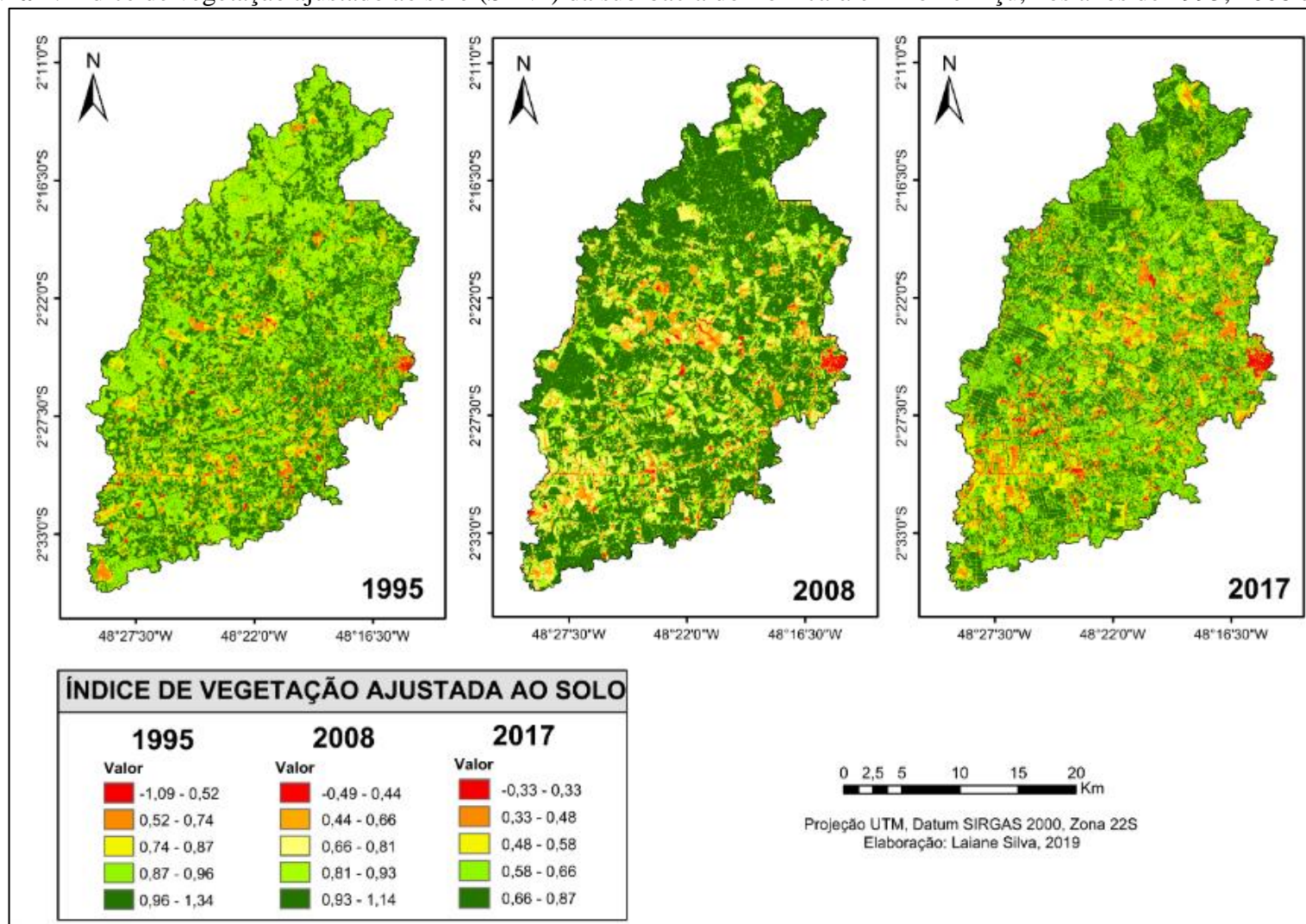
Fonte: Silva, 2019.

Através da análise no mapa de NDVI (figura 6) é possível identificar a dinâmica dos alvos da superfície e é observado que existe uma grande porção da área da bacia que, no ano de 1995, apresenta NDVI entre 0,64 e 0,90 (classe 1) que representa em sua maioria áreas destinadas à agricultura.

No ano de 2008, é possível observar um significativo aumento dessa porção, entretanto os índices variaram entre 0,63 e 0,73. No ano de 2017, estes índices reduziram, passando a apresentar valores entre 0,48 e 0,61. Estas variações na intensidade de atividade fotossintética da vegetação podem estar associadas a fatores diversos, desde às características da cobertura vegetal, as quais podem se diferenciar a partir da influência do relevo ou dos condicionantes pedoclimáticos. Porém, a intensidade e formas de usos da terra nas várias porções da sub-bacia — pecuária extensiva e cultivos temporários — estão atingindo a capacidade de resiliência dos sistemas ambientais. Estes fatores podem gerar empobrecimento dos solos e perda de diversidade biológica, e desertificação, com graves repercussões para as populações locais. Esses resultados confirmam a eficiência da metodologia de subtração de imagens NDVI para identificar alterações da cobertura vegetal na paisagem.

7.2.2 SAVI

Figura 7. Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) da sub-bacia do rio Acará em Tomé-Açú, nos anos de 1995, 2008 e 2017.



Fonte: Silva, 2019.

O SAVI é um importante passo para o estabelecimento de um modelo global simples que pode descrever o sistema dinâmico solo-vegetação nos dados de sensoriamento remoto (OLIVEIRA, 2008). Os resultados para os índices do SAVI (figura 7), apresentaram maiores valores nos índices da vegetação, isso porque, como dito anteriormente, a constante “L” diminui a influência da resposta espectral do solo no cálculo do SAVI. Dessa forma, pode-se observar que houveram algumas mudanças na espacialização e/ou densidade da vegetação ao longo da bacia analisada.

Os valores apresentados no mapa do ano de 1995 representam uma área com bastante vegetação, sendo a intermediária maior que a densa. Em 2008, houve um aumento significativo da vegetação densa, e conseqüente redução de áreas de vegetação intermediária. Em 2017, o intervalo 0.66 a 0.58 no SAVI corresponde às áreas de vegetação mais rala e de agricultura em estágio de desenvolvimento. Dentre os intervalos determinados, o de -0.33 a 0.48 representa o solo exposto e fica evidente a evolução desta feição.

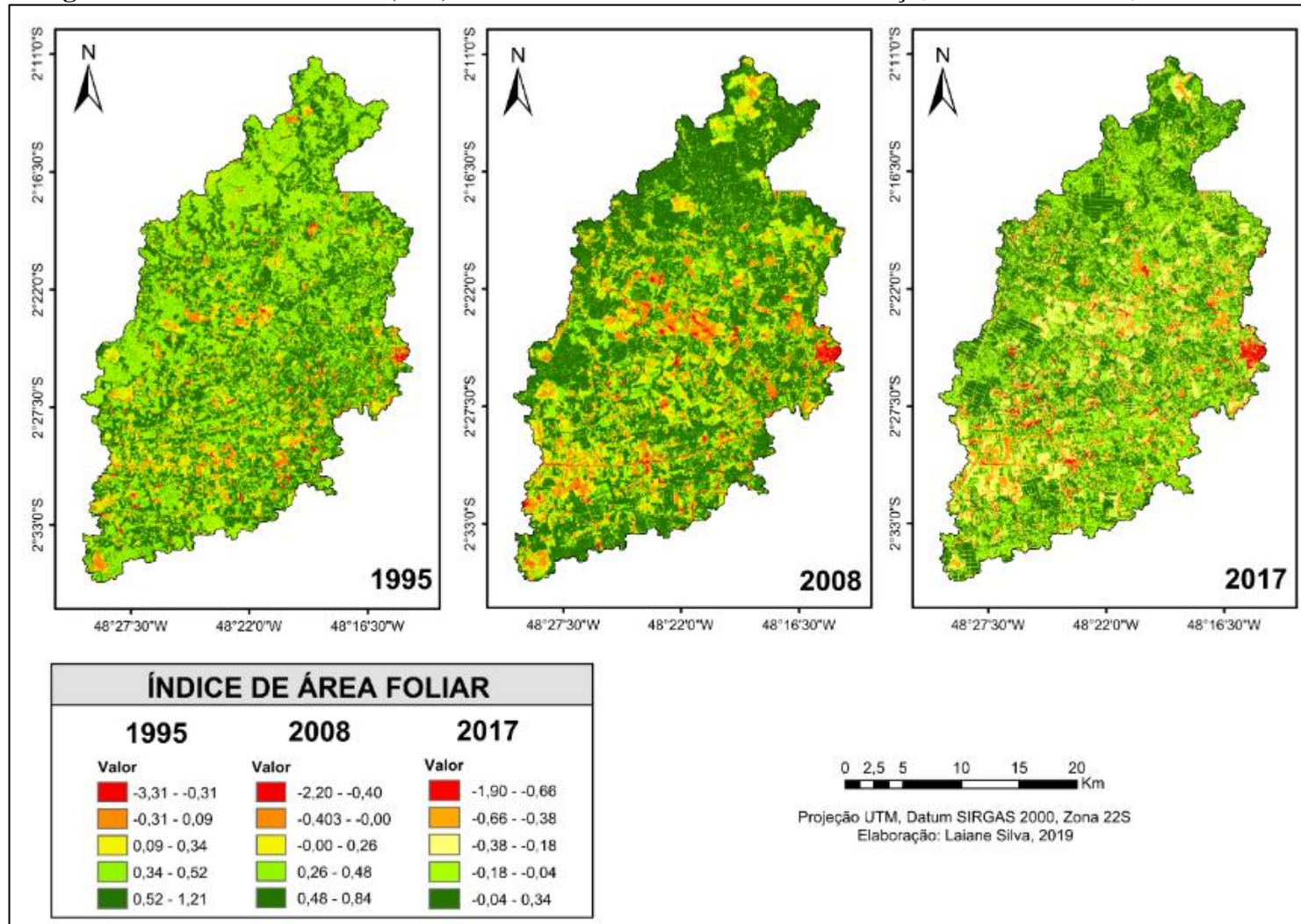
Ainda assim, para o ano de 2017 a constante “L” (aqui usada 0,5) apresentou pouca influência no cálculo do SAVI, exibindo pouca mudança dos resultados entre NDVI e SAVI. Entretanto, para os anos de 1995 e 2008, a constante “L” usada impõe-se com maior importância para o cálculo do SAVI, tendo alterações mais nítidas entre NDVI e SAVI. Seguindo os resultados do NDVI, apesar de algumas alterações, o SAVI na análise multitemporal resulta em informações a respeito de um aumento tanto da espacialização quanto da densidade da vegetação.

A pouca diferença nas áreas do SAVI para as áreas do NDVI, juntamente com o aumento do valor das classes no índice SAVI nos mostra que o fato desse índice eliminar os efeitos do solo realça as características das regiões de vegetação, sem vegetação e corpos d’água, fazendo com que tenhamos uma visão mais real da situação da área estudada.

7.2.3 IAF

As informações expostas nos mapas anteriores representam o resultado do IAF como sendo uma variável biofísica, definida como a densidade de área foliar (cobertura vegetal) comparada por área da superfície do terreno analisado, neste caso a área total da sub-bacia hidrográfica do rio Acará.

Figura 8. Índice de área foliar (IAF) da Sub-bacia do rio Acará em Tomé-Açu, nos anos de 1995, 2008 e 2017.



Fonte: Silva, 2019.

Quanto aos dados do IAF, os mesmos quando representados cartograficamente se equivalem em grande parte aos dados obtidos através do cálculo do SAVI. Variando apenas na divisão e mensuração das classes por índice de área foliar. Foram geradas cinco classes que variam entre -3,31 e 1,21 em 1995, -2,20 e 0,84 em 2008 e -1,90 e 0,34 no ano de 2017, sendo o maior valor observado no ano de 1995 (figura 8). Estudos mostram que o IAF varia de forma exponencial, em função da idade da vegetação, apresentando um rápido crescimento no início do ciclo de desenvolvimento (SANTIAGO *et al.*, 2009; ALMEIDA *et al.*, 2015). Logo após esse período verifica-se uma redução na taxa de aumento de valores, sendo essa fase coincidente com os maiores valores de área foliar. A seguir, inicia-se uma diminuição e estabilização dos valores (PAIVA, 2009).

A comparação dos dados de SAVI e IAF resulta em um aumento significativo da densidade da vegetação. Temos então que o IAF, aplicado à análise da cobertura vegetal desta bacia exerceu grande influência sobre os resultados finais, pensando no conjunto de todas as informações espectrais, espaciais e cartográficas obtidas ao fim da aplicação dos índices de vegetação na análise da sub-bacia hidrográfica do rio Acará.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas geotecnológicas são soluções de baixo custo que permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados, fornecendo ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico.

A compreensão da dinâmica do uso e cobertura da terra traz a possibilidade de readequar políticas públicas e elaborar outras de acordo com as características socioambientais, contribuindo, assim, para a recuperação de sistemas ambientais degradados, bem como a preservação de áreas ambientalmente sensíveis e fomentando a conservação dos recursos naturais através de atividades econômicas ambientalmente sustentáveis.

Os mapas temáticos das imagens processadas com Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF) alcançaram bom desempenho para análise do uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Acará. Observou-se que os três índices são importantes para a avaliação de cobertura vegetal, pois como foi notado, todos os resultados apresentaram correlação entre si.

Os índices de vegetação puderam ser utilizados para deprender e analisar a dinâmica da cobertura vegetal. Entretanto, vale ressaltar que os índices de vegetação não devem ser o único parâmetro utilizado em estudos sobre as alterações ocorridas na dinâmica da cobertura vegetal, devem ser utilizados como um importante indicador dessas alterações, que devem ser estudadas com maior nível de detalhamento, principalmente através de trabalhos de campo. Apesar de numericamente as áreas indicadas como perda e/ou ganho serem relativamente equivalentes, se faz necessária atividades de monitoramento contínuo das áreas (SILVA *et al.*, 2009).

9. RECOMENDAÇÕES

Por fim, faz-se recomendações gerais para subsidiar ações de planejamento e gestão ambiental na sub-bacia hidrográfica do rio Acará:

- a) Monitorar as atividades econômicas que degradam os recursos naturais;
- b) Fomentar atividades econômicas ambientalmente sustentáveis como os sistemas agroflorestais (SAF's) baseados em práticas agroecológicas como alternativa ao monocultivo na região. Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com sucesso na análise deste sistema de produção no município (KATO *et al.*, 2014; SILVA, 2009). A prática tem grande potencial de gerar benefícios sociais, econômicos e ambientais, sobretudo para agricultores familiares; e
- c) Promover ações de educação ambiental para a população local com o objetivo de conscientizar sobre a importância da preservação e conservação dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. S. Surface Energy Balance Algorithm for Land – Advanced Training and User’s Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.
- ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; DELAGADO, R. C.; RODY, Y. P.; OLIVEIRA, A. S.; LEITE, F. P. Índice de Área Foliar de Eucalyptus Estimado por Índices de Vegetação Utilizando Imagens TM - Landsat 5. Rev. Floresta e Ambiente, 2015.
- ANTUNES, J. F. G. Geotecnologias aplicadas no monitoramento da cultura da soja. Anais do 6º Congresso Brasileiro de Agroinformática – SBIAgro 2007, São Pedro, SP, Brasil, 8-11 outubro 2007, Embrapa Informática Agropecuária, p.46-50.
- ARAÚJO, L. E.; SANTOS, M. J.; DUARTE, S. M.; OLIVEIRA, E. M. Bacias hidrográficas e impactos ambientais – Caso da bacia do rio paraíba. TECNO-LÓGICA, Santa Cruz do Sul, v. 13, n. 2, p. 109-115, jul./dez. 2009.
- BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. A.; COSTA, K. C.; GARCIA, P. H. M. Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego fundo – Três Lagoas/MS 2011/12. I Simpósio Mineiro de Geografia – mai, 2014.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.V. Introdução à Ciência da Geoinformação. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros.html>. 2013.
- CARVALHO, T. S.; DOMINGUES, E. P. Projeção de um cenário econômico e de desmatamento para a Amazônia Legal brasileira entre 2006 e 2030. Nova Economia, v. 26, n. 2, p. 585-621, 2016.
- CASTANHO, R. B.; TEODORO, M. A. O uso das geotecnologias no estudo do espaço agropecuário. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium, 2010.
- CAVALCANTE, R. Apostila de introdução ao SIG. Pró-Reitora de planejamento e desenvolvimento I UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Jun, 2015.
- CLERICI, N.; WEISSTEINER, C.J.; GERARD, F. Exploring the use of MODIS NDVI based phenology indicators for classifying forest general habitat categories. Remote Sensing, Basel, v. 4, n. 6, p. 1781-1803. 2012.
- COIMBRA, J. A. A. O outro lado do meio ambiente: uma incursão humanística na questão ambiental. Campinas: Millennium, 2002.
- CORREA, D. L. Avaliação da produtividade do dendê (*Elaeis guineensis*) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento no município de Concórdia do Pará. In: Seminário Anual de Iniciação Científica da Ufra, 10., 2012. *Anais...* p. 4. Belém: UFRA, 2012.
- COUTINHO, A. C.; MIRANDA, E. E.; MIRANDA, J. R. Mapeamento da superfície terrestre através da utilização do método de segmentação por crescimento de regiões e

classificação supervisionada de imagens de satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998.

CRÓSTA, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. - ed. rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, 2002.

DIAS, F. G. Análise integrada da paisagem na bacia hidrográfica do rio Acará, Amazônia Oriental: subsídios ao planejamento ambiental. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

DIAS, F. G.; LIMA, A. M. M. Análise dos Parâmetros Morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Acará/PA como subsídio ao Planejamento Ambiental. XIX Encontro de geógrafos. João Pessoa – PB, 2018.

ESRI. Arc Hydro Tools - tutorial, version 2.0. New York: Environmental System Research Institute, 2011.

FALESI, I.O.; SANTOS, H. dos S.; VIEIRA, L.S. Os solos da Colônia Agrícola de Tomé-Açu. Belém: IPEAN, 1964. 89p. (IPEAN. Boletim Técnico, 44).

FAPESPA, Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. Boletim Agropecuário do Pará, 2017.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. São Paulo, Oficina de Textos. 128 p. 2007.

FONSECA, L. M. G. Processamento digital de imagens. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos), 2000. Apostila curso disciplina SER-437 Processamento Digital de Imagens de Sensores Remotos – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto.

GOMES, D.; VICENTE, L.E.; CARVALHO, S.; VICTORIA, D.; ANDRADE, R.G.; AGNESE, M.L.; & SILVA, R.F.B. 2012. Avaliação comparativa de correção atmosférica de imagens Landsat utilizando MODTRAN e Dark Object Subtraction. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SELPER, 15, Caiena, 2012. Resumos expandidos, Caiena, SELPER.

GOVERNO Federal lança Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma. 2010. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/governo-federal-lanca-programa-de-producaosustentavel-de-oleo-de-palma>>. Acesso em: 14 out. 2019.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25; p. 295-309, 1988.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de uso da Terra. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ. 2013.

IGAWA, T.K.; DIAS, F.G; SOUSA, T.G de. Análise da expansão da dendeicultura no município de Tailândia: um estudo de caso dos anos de 1991 a 2006. In: Simpósio

Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., 2015, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: INPE, 2015. p. 17991805.

JANSEN, L. J. M.; GREGORIO, A. Obtaining land-use information from a remotely sensed land cover map: results from a case study in Lebanon. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.5, p.141-157, 2004.

JEPSON, W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. *The Geographical Journal*, vol. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.

KATO, O. R.; LUNZ, A. M.; BISPO, C. J. C.; CARVALHO, C. J. R.; MIRANDA, I. S.; TAKAMATSU, J.; MAUÉS, M. M.; GERHARD, P.; AZEVEDO, R.; VASCONCELOS, S. S.; HONHWALD, S.; LEMOS, W. P. Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar. January, 2009.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. *OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia*, v.4, n.12, p. 90-106, dez. 2012.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. & CHIPMAN, J.W. 2007. *Remote sensing and image interpretation*. New York, John Wiley & Sons. 897 p.

LIU, W. T. *Aplicações de sensoriamento remoto*. Campo Grande, RJ, Ed UNIDERP, 2007. 865p.

MARANHÃO, D. D. C. Correção de imagens e caracterização do uso da terra no município de Pinheiral, estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Rev. Caminhos de Geografia* ISSN 1678-6343. p. 174–188. Uberlândia v. 18, n. 62 junho/2017.

FILHO, O. M.; NETO, H.V. 1999. *Processamento digital de imagens*. Rio de Janeiro, Brasport. 331 p.

MAZZOCATO, M. E. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento urbano da bacia do rio Uma: município de São Sebastião, SP. 197 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: maio, 2004.

MENDOZA, M. E.; GRANADOS, E. L.; GENELETTI, D.; PÉREZ-SALICRUP, D. R.; SALINAS, V. Analysing land cover and land use change process at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975-2003). *Applied Geography*, v.31, p.237-350, 2011.

MOURA, S.R.F., GRIGIO, A.M. & DIODATO, M.A. Mapeamento e Análise da Vulnerabilidade. Natural e Ambiental do Município de Mossoró. Seminário Nacional de Governança Urbana e Desenvolvimento Metropolitano, Natal, Rio Grande do Norte. 2010.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. A dendeicultura na Amazônia paraense. *Geosp – Espaço e Tempo*, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 281-294, 2016.

NASCIMENTO, C.R. Correção atmosférica de imagens do sensor AVHRR/NOAA utilizando produtos atmosféricos do sensor MODIS/TERRA. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Dissertação de Mestrado, 129p. 2006.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4ª ed. – São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, L.M.T. Estudo das Regiões Fitoecológicas brasileiras pela FAPAR/NDVI e relações com séries temporais de dados pluviométricos. 2008. 226 p. Tese (doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. X. Caracterização climática do Município de Tomé-Açu, PA. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001.

PACIORNIK, S. Notas de aula de Processamento Digital de Imagens, PUC: Rio de Janeiro, 2014.

PAIVA Y. G. Estimativa do índice de área foliar por métodos óticos e sensoriamento remoto para calibrar modelo ecofisiológico em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2009.

PARÁ. Decreto n. 1.697 de Junho de 2009. Diário Oficial do Estado. Disponível em: <http://www.ioepa.com.br/pages/2009/2009.06.05.DOE.pdf>. Acesso em 01 out. 2019.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. 2ª Ed. Atualizada e ampliada – São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

PREZENTE, W. L. O uso das geotecnologias no ensino da geografia. I seminário Internacional dos espaços de fronteira. III Seminário regional sobre território, fronteira e cultura. VII Expedição geográfica da Unioeste: Espaços de fronteira – Território e ambiente. Unioeste. Set. 2011.

RIBEIRO, D. F. Avaliação das características geomorfológicas na sensibilidade ambiental a derrames de óleo: estudo de caso no baixo curso do rio Piracicaba. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas Orientador: Cenira Maria Lupinacci da Cunha, 2015.

ROCHA, A. C. L.; CRUZ, C. L. Z.; SEABRA, C. S. A Importância das geotecnologias na gestão urbana. Uerj- Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2013.

ROSENDO, J. S. Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor Modis. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005.

SANTIAGO, M. M.; SILVA, H. A.; GALVINCIO, J. D.; OLIVEIRA, T. H. Análise da Cobertura Vegetal Através dos Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no Entorno

da Barragem do Botafogo - PE. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3003-3009.

SILVA, D. S. et al. Utilização de imagem de NDVI para análise temporal da cobertura vegetal: estudo de caso: Teresópolis/RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009.

SILVA, L. P. Produção de raízes finas em sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*) em Tomé-Açu, PA. Trabalho de conclusão de curso – TCC/ Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA, 2017.

SILVA, M. K. A.; BRITO, J. L. S.; ROSA, R. Mapeamento do uso do solo no município de Pedrinópolis – MG. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; 2005; Goiânia, Brasil. INPE; 2005. p. 285-291.

SILVA, W. S.; VIEIRA, V. C. B. Evolução multitemporal do uso e cobertura do solo no município de Uruçuí, Piauí. In: II Congresso de pesquisa e inovação da rede norte nordeste de educação tecnológica. João Pessoa: CEFET/PB, 2007.

SOARES, R. B.; SOARES, C. B. S. S.; COSTA, J. A. L.; COSTA, S. S.; SOARES, R. B. Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/ OLI. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

VASQUEZ, M. L.; COSTA, L. T. R. (Org.). Geologia e recursos minerais do estado do Pará: texto explicativo. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil - PGB. Belém: CPRM, 2008, 328 p.