

# **DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DAS ÁREAS DESFLORESTADAS NO ESTADO DO PARÁ**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/INPE/CNPq)**

**JONES REMO BARBOSA VALE (UFRA, Bolsista PIBIC/CNPq)**  
E-mail: jonesremo@hotmail.com

**MARCOS ADAMI (INPE/CRA, Orientador)**  
E-mail: marcos.adami@inpe.br

**MARIA DE NAZARÉ MARTINS MACIEL (UFRA/ICIBE, Colaboradora)**  
E-mail: nazamaciel@yahoo.com.br

Julho de 2019

## **DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DAS ÁREAS DESFLORESTADAS NO ESTADO DO PARÁ**

Relatório Final do Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE/CRA), referente ao período da bolsa vigente como requisito obrigatório para a conclusão do projeto.

Julho de 2019

## AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Dr. Marcos Adami, por todo incentivo e ensinamentos no desenvolvimento da pesquisa.

A professora Dra. Maria Nazaré Maciel, pela colaboração na pesquisa.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Centro Regional da Amazônia (INPE/CRA), pela infraestrutura e recursos financeiros que permitiram o desempenho das atividades do projeto.

Aos colegas do INPE (Igor Silva, Larisse Souza, Verissimo Cesar, Márcia Barros e Larissa Sousa) pelo apoio técnico no desenvolvimento da pesquisa.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos que viabilizou a realização da pesquisa.

E a todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Geral .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2. Específicos .....</b>	<b>8</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Processo de desflorestamento na Amazônia Legal Brasileira .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Geotecnologias aplicadas à análise do uso e cobertura da terra .....</b>	<b>12</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1. Área de Estudo.....</b>	<b>14</b>
<b>4.2. Caracterização ambiental do Estado do Pará.....</b>	<b>15</b>
<b>4.3. Materiais e Métodos Aplicados .....</b>	<b>16</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>29</b>
<b>TRABALHOS PUBLICADOS RELACIONADOS COM O PIBIC .....</b>	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>30</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Gráfico da evolução do desmatamento na AML .....	10
Figura 02 - Gráfico do acúmulo desmatamento até o ano de 2018 por Estado da AML.....	11
Figura 03 - Localização geográfica do Estado do Pará, porção oriental da Amazônia Legal Brasileira.....	14
Figura 04 - Fluxograma das etapas metodológicas .....	20
Figura 05 - Imagens de satélite de 2008 e 2018 em composição falsa cor .....	21
Figura 06 - Classificação de uso e cobertura da Terra nas áreas desflorestadas do Estado do Pará até 2008 .....	22
Figura 07 - Participação relativa das classes de uso e cobertura da Terra no Estado do Pará em 2008 .....	23
Figura 08 - Classificação de uso e cobertura da Terra nas áreas desflorestadas do Estado do Pará até 2018 .....	25
Figura 09 - Participação relativa das classes de uso e cobertura da Terra no Estado do Pará em 2018 .....	26
Figura 10 - Diagrama de transição das áreas desflorestadas para as classes de uso e cobertura da Terra no Estado do Pará entre os anos de 2008-2018.....	27



## LISTA DE QUADRO E TABELAS

Quadro 01 – Características das classes de uso e cobertura da Terra.....	17
Quadro 02 - Qualidade da classificação associada aos valores do Índice Kappa.....	19
Tabela 01 - Matriz de contingência da classificação de uso e cobertura da Terra .....	18
Tabela 02 - Dados da classificação de uso e cobertura da Terra em 2008 .....	23
Tabela 03 - Matriz de contingência da classificação de uso e cobertura da Terra em 2008 .....	24
Tabela 04 - Dados da classificação de uso e cobertura da Terra em 2018 .....	25
Tabela 05 - Matriz de contingência da classificação de uso e cobertura da Terra em 2018 .....	27
Tabela 06 - Registros e informações das visitas de campo no Estado do Pará no ano de 2018 .....	28

## RESUMO

A Floresta Amazônica tem passado por intensos processos de mudanças no uso e cobertura da Terra nos últimos anos, principalmente, por incentivos de políticas de ocupação territorial e questões macroeconômicas envolvendo a exploração madeireira, a pecuária e os cultivos agrícolas. Dentre os Estados que compõe a Amazônia Legal Brasileira, o Estado do Pará foi o que mais contribuiu para o desflorestamento da Floresta Amazônica com 148.399 km<sup>2</sup> de áreas desmatadas até o ano de 2018. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica do uso e cobertura da Terra das áreas desflorestadas do Estado do Pará entre os anos de 2008 e 2018 por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE). Para a execução deste trabalho foram desenvolvidos scripts na linguagem de programação JavaScript com aplicação dos índices espectrais (de vegetação e de água) e do algoritmo Random Forest no Code Editor do GEE. Para o mapeamento do uso e cobertura da Terra foram utilizadas imagens do satélite Landsat-5/TM do ano de 2008 e imagem do satélite Landsat-8/OLI-TIRS do ano de 2018. Neste trabalho foram mapeadas as classes: Agricultura, Floresta, Hidrografia, Outros, Pastagem e Vegetação Secundária. A validação dos mapeamentos ocorreu com análise da matriz de contingência a fim de se verificar a eficácia e os erros (de inclusão e omissão), assim a acurácia pode ser obtida por meio dos coeficientes de concordância (Exatidão Global e Índice Kappa), além da realização de trabalhos de campo. Entre os anos de 2008 e 2018 o desflorestamento no Estado do Pará foi de aproximadamente 26.013,01 km<sup>2</sup>, representando cerca de 2,1% da área do Estado. A classe pastagem foi a que recebeu maior área desflorestada com 11.364,95 km<sup>2</sup> (43,7%), seguida da classe outros com 9.193,03 km<sup>2</sup> (35,3%) e da classe vegetação secundária com 4.990,30 km<sup>2</sup> (19,2%). Com isto pode-se concluir que a pastagem está avançando sobre os desflorestamentos recentes e cedendo área para agricultura em menor proporção. Em relação à acurácia dos dados os mapeamentos obtiveram bons resultados com precisões de 89,7% em Exatidão Global e 0,74 de Índice Kappa no ano de 2008, 91,1% de Exatidão Global e 0,79 de Índice Kappa no anos de 2018. Destaca-se que o GEE vem ser uma importante ferramenta no monitoramento e controle do desmatamento ilegal por permitir aquisição de dados de forma rápida e segura, contribuindo com dados para desenvolvimento de políticas públicas ambientais a fim de garantir a manutenção dos ecossistemas, principalmente, da Floresta Amazônica que se mantém, até os dias atuais, condicionadas por um cenário de extremo conflito de interesses, envolvendo atores, articulações e conjunturas locais a globais.

**Palavras-Chave:** Uso e Ocupação da Terra. Floresta Amazônica. Google Earth Engine.

## 1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais globais têm passado por intensas mudanças em suas paisagens ocasionadas, principalmente, pelas ações antrópicas com a exploração dos recursos naturais e conversão da floresta em outros usos (DOMINGUES; BERMAN, 2012). A contínua incorporação de áreas florestais ao processo produtivo tem ocorrido muitas vezes de forma inadequada, pois não possuem planejamento prévio e nem consideram o uso sustentável adequado do espaço (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

O Brasil detém de 1/3 das florestas tropicais úmidas do planeta, com mais de 40% do seu território coberto pela floresta amazônica que é a maior floresta tropical contígua do planeta, responsável por 15% de toda fotossíntese terrestre global e é um ambiente complexo com formações de diversos ecótonos (ROSSETTI; TOLEDO, 2006; MALHI *et al.*, 2008; DINIZ *et al.*, 2015). Ela cobre uma área de aproximadamente 5 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais 4,2 milhões km<sup>2</sup> eram florestados, até o ano de 2014 cerca de 25% das áreas florestais haviam sido convertidas em outros usos (GAVLAK *et al.*, 2011; INPE, 2016).

A Floresta Amazônica desempenha um importante papel nas trocas de energia, umidade e massa entre a superfície continental e a atmosfera, fornecendo serviços ambientais fundamentais para a manutenção do clima global (ROCHA *et al.*, 2015). Ela também atua como uma das fontes indispensáveis de calor para a atmosfera global por meio de sua intensa evapotranspiração e liberação de calor latente de condensação na média e alta troposfera em nuvens convectivas tropicais, contribuindo na geração e manutenção da circulação atmosférica (FISCH *et al.*, 1998; ROCHA, 2001; FEARNSIDE, 2005; NOBRE *et al.*, 2009a,b; SATYAMURTY *et al.*, 2013).

Apesar da relevância ambiental e social da região, a Amazônia tem sofrido intensas interferências antrópicas. Assim, a região tornou-se uma nova fronteira de exploração, com áreas extensas e baratas. Desde a década de 40 houve incentivos fiscais, sob forma de políticas públicas, para ocupação da região. As políticas de colonização desencadearam em um forte movimento migratório (HECHT, 1985; BECKER, 1998; CASTRO, 2005).

Além das políticas de ocupação que se desenvolveram na região amazônica, há um intenso processo de desflorestamento que está associado ao desenvolvimento de questões macroeconômicas como: a exploração madeireira (NEPSTAD *et al.*, 2000), a



pecuária (MERTENS *et al.*, 2002; MARGULIS, 2003; CASTRO, 2007), expansão dos cultivos agrícolas (COSTA, 2000; FEARNSIDE, 2002; ALENCAR *et al.*, 2004), bem como os investimentos em infraestrutura, sobretudo, abertura e pavimentação de estradas (BECKER, 1998; LAURANCE *et al.*, 2001; HOMMA *et al.*, 2006).

Nessa perspectiva de valorização e exploração da terra, o Estado do Pará vem sendo um dos estados que mais contribuiu para o desflorestamento da floresta amazônica (INPE, 2016). O dinamismo no processo de uso e cobertura da Terra no Estado é resultado da combinação de 3 fatores: Políticas públicas de incentivo a ocupação territorial (BECKER, 1982; FEARNSIDE, 2005; SILVA *et al.*, 2013); Construção e pavimentação de rodovias, permitindo o fluxo econômico (NEPSTAD *et al.*, 2001); Grande quantidade de matéria-prima de alto valor comercial, como a madeira e o minério (BECKER, 1998; NEPSTAD *et al.*, 2000).

Desse modo, a avaliação desse dinamismo torna-se fundamental para a eficiência na gestão territorial. A utilização de geotecnologias tem permitido detectar e avaliar as mudanças no espaço territorial da Amazônia, contribuindo no combate ao desmatamento ilegal e no desenvolvimento de políticas ambientais sustentáveis. Uma das ferramentas geotecnológicas que vem otimizando tempo e custo, ajudando no desenvolvimento de pesquisas é o Google Earth Engine (GEE) que é uma plataforma online que detém de dados globais produzidas nos últimos 40 anos e auxilia na análise de mudanças e tendências na superfície terrestre, nos oceanos e na atmosfera.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Geral**

Analisar a dinâmica de mudança de uso e ocupação da terra em áreas desflorestadas no Estado do Pará nos anos de 2008 e 2018 por meio da plataforma online Google Earth Engine.

### **2.2. Específicos**

- Obter os mapeamentos de uso e cobertura da terra referente aos anos de 2008 e 2018 para o Estado do Pará;
- Avaliar a precisão dos dados obtidos a partir dos mapeamentos referentes aos anos de 2008 e 2018 para o Estado do Pará;
- Analisar a dinâmica de transição de uso e cobertura da terra no Estado do Pará.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Processo de desflorestamento na Amazônia Legal Brasileira

O termo Amazônia Legal foi instituído pela Lei nº 1.806/1953. A área foi reformulada pelo art. 45 da Lei Complementar nº 31/1977. A instituição da área ocorreu com base em análises estruturais e conjunturais, nas quais foram avaliadas e reunidas as regiões com características econômicas, políticas e sociais semelhantes, com intuito de melhorar o planejamento social e econômico da região (COUTINHO *et al.*, 2013). Atualmente, a Amazônia Legal Brasileira (AML) é composta pelos seguintes estados: Acre, Amazonas, Amapá, oeste do Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins.

O processo de ocupação territorial da região amazônica, nos últimos 50 anos, ocorreu no contexto do projeto de integração nacional, estabelecidos pelos chamados “eixos” e “pólos” de desenvolvimento, com políticas de incentivos fiscais e de crédito rural, programas de colonização, projetos minerais e investimentos em infraestrutura que atraíram milhares de migrantes para a região (BECKER, 1998, 2001; MACHADO, 1998), e, mais recentemente, produção e exportação de grãos. A partir da década de 70, o processo de ocupação acelerou-se e milhões de hectares de florestas foram derrubados para criação de pastos e projetos de colonização e reforma agrária (ALVES, 2001).

O desenvolvimento econômico da região amazônica e a conseqüente expansão das atividades produtivas são apontados como os principais indutores do desflorestamento na região. A pesquisa desenvolvida por Tardin *et al.* (1979) foi uma das precursoras no mapeamento e identificação dos padrões de ocorrência do desflorestamento. Dentre os fatores apontados como determinantes da ocorrência desse fenômeno, destacam-se os incentivos fiscais, praticados nas políticas públicas implantadas no início da ocupação da região e as políticas de colonização que desencadearam um forte movimento de migratório (IANNI, 1979; MAHAR, 1989; BECKER, 1998; CASTRO, 2005).

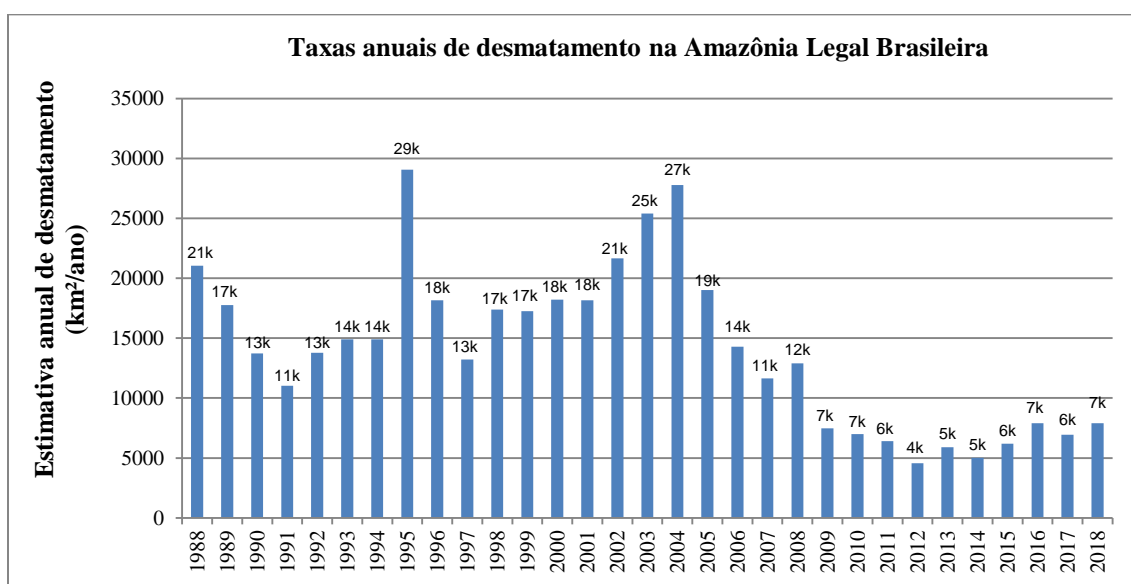
A integração da economia amazônica à economia global, potencializada pela implementação e difusão da tecnologia da informação, é um fator de grande relevância na transformação do espaço amazônico e precisa ser considerado na busca pelo entendimento dos atores e agentes envolvidos nos processos econômicos e sociais de transformação da paisagem da região (COUTINHO *et al.*, 2013). O modelo

desenvolvimentista predominante na história recente de ocupação da Amazônia – seja por questões de segurança nacional, seja por interesses políticos e econômicos diversos –, embora tenha trazido alguns ganhos em termos de economia regional, levou a região a um cenário de devastação ambiental (MACHADO, 2009).

O desflorestamento provoca alterações no funcionamento dos ecossistemas, que causam impactos sobre a estrutura e a fertilidade dos solos e sobre o ciclo hidrológico, e constitui importante fonte de gases do efeito estufa (SMITH *et al.*, 1995; GASH *et al.*, 1996; HOUGHTON *et al.*, 2000). Também causam poluição dos rios, redução na biodiversidade, principalmente em se tratando de fauna e flora (MORTON *et al.*, 2011; SCHIESARI *et al.*, 2013; GIBBS *et al.*, 2015). A rápida expansão do desflorestamento é acompanhada de condições de vida precárias devido aos conflitos sociais e ao crescimento das cidades (BECKER, 1998; MACHADO, 1998).

O desmatamento na AML tem seguido o cenário político e econômico brasileiro. Observa-se na Figura 01 que o desmatamento tem apresentado uma diminuição no incremento anual, principalmente, a partir de 2004, em virtude de pressões ambientais internacionais e da implementação de políticas públicas, exemplo, o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) que se constituiu em uma iniciativa estratégica do governo brasileiro para reduzir as taxas de desmatamento e criar condições para estabelecer um modelo de desenvolvimento sustentável na AML (MELLO; ARTAXO, 2017).

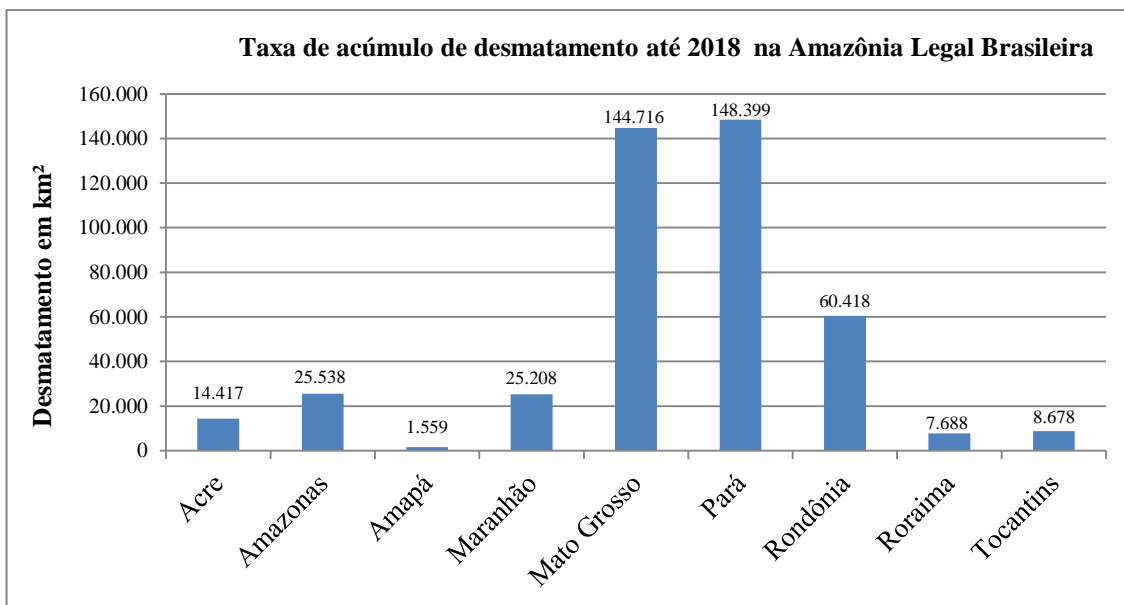
**Figura 01** - Gráfico da evolução do desmatamento na AML



Fonte: INPE/PRODES (1988-2018). Elaborado pelo autor (2019).

De acordo com os dados oficiais de desmatamento no Brasil até o ano de 2018 a AML já tinha 436.621 km<sup>2</sup> de área desflorestada, dentre os estados que compõe a região, o Estado do Pará foi o que mais contribuiu para essa estimativa, com 148.399 km<sup>2</sup> de área desmatada, conforme observa-se na Figura 02.

**Figura 02** - Gráfico do acúmulo desmatamento até o ano de 2018 por Estado da AML



**Fonte:** INPE/PRODES (1988-2018). Elaborado pelo autor (2019).

Os diferentes ciclos de transformação do espaço amazônico estabeleceram, ao longo do tempo, complexas articulações entre distintos agentes, muitas vezes motivados pelos interesses econômicos e políticos (BECKER, 2007). Portanto, a ocupação e a transformação do espaço mantêm-se até os dias atuais, condicionados por um cenário de conflito de interesses, envolvendo atores e conjunturas locais até globais (COUTINHO *et al.*, 2013).

A Amazônia convive com conflito de interesses ambientais, econômicos e geopolíticos, que se expressam em processos de mercantilização da natureza e apropriação do poder de decisão sobre o uso do território. Em escala nacional o interesse atribui à região a condição de fronteira de recursos naturais, área de expansão e intensificação do povoamento. Na escala regional e local, a incidência dessas ações, somadas as demandas sociais, é traduzida por uma dinâmica de transformação acelerada, configurando em uma nova geografia amazônica (BECKER, 2004). Sendo assim, as análises sobre os desflorestamentos e os seus impactos devem transpor as

fronteiras da escala local a global, para promover uma abordagem holística sobre esse fenômeno (COUTINHO *et al.*, 2013).

### **3.2. Geotecnologias aplicadas à análise do uso e cobertura da terra**

As tecnologias espaciais estão cada vez mais presentes no cotidiano da sociedade moderna. Os dados espaciais não estão restritos aos pesquisadores que tratam do meio físico (SILVA, 1999). Nessa era contemporânea as geotecnologias têm propiciado ganhos de produtividade e uma melhoria do custo-benefício. Composta por um conjunto de tecnologias voltadas para coleta, processamento e análise de informações com referência geográfica, as geotecnologias se constituem como poderosa ferramenta planejamento e gestão territorial. Dentre as geotecnologias destacam-se: Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) (ROSA, 2005).

O Sensoriamento Remoto é uma técnica que utiliza de forma conjunta, sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves ou outras plataformas, com a finalidade de estudar fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010).

A partir dessa técnica obtêm-se imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação e do registro de energia refletida ou emitida pela superfície. Os diferentes sensores acoplados aos satélites ampliam a sensibilidade humana, o tratamento digital melhora a qualidade das imagens e facilita a identificação dos alvos de estudo, além da disponibilidade de um arquivo histórico de imagens (FLORENZANO, 2011).

O Geoprocessamento pode ser compreendido como um conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação (ROSA; BRITO, 1996). É uma técnica que utiliza elementos matemáticos e computacionais para o tratamento de informações geográficas (CÂMARA *et al.*, 2001).

O SIG é um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de

coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecidas (FITZ, 2008). Os modelos de SIGs podem ser usados de diferentes maneiras como, por exemplo, avaliação de cenários futuros (LONGLEY *et al.*, 2011).

As geotecnologias têm sido bastante utilizadas na análise da dinâmica de uso e cobertura da Terra para a compreensão da organização do espaço. O conhecimento e o monitoramento do uso e cobertura da terra são primordiais para a compreensão dos padrões do ordenamento territorial (LEITE; ROSA, 2012). Em síntese, a expressão “uso e cobertura da Terra ou uso e cobertura do solo” pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem (ROSA, 2007).

De acordo com Novo (2010), o termo “uso da Terra” refere-se à utilização cultural do espaço, enquanto que o termo “cobertura da Terra” refere-se ao seu revestimento. Sendo assim, Rosa (2007) destaca que o estudo do uso e cobertura da Terra consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações.

A obtenção de informações detalhadas e precisas sobre o espaço geográfico é uma condição necessária para as atividades de planejamento e tomada de decisões. Os mapas de uso e cobertura da Terra são instrumentos que se constituem em mecanismos adequados para promoverem o desenvolvimento sustentável e são imprescindíveis para o planejamento regional ou local do espaço geográfico (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2007).

O avanço tecnológico da observação da Terra por meio de geotecnologias permitiu a aquisição de dados sobre grandes extensões geográficas, além de possibilitar melhor acurácia no mapeamento dessas mudanças na superfície terrestre (ANDERSON, 2004). Um desses avanços foi o desenvolvimento de uma plataforma online, o Google Earth Engine (GEE), que disponibiliza imagens globais de satélites produzidas nas últimas décadas, atualizadas diariamente, e fornece as ferramentas computacionais necessárias para cientistas e outros interessados detectarem mudanças e tendências na superfície terrestre, nos oceanos e na atmosfera (GORELICK *et al.*, 2017).

Uma grande vantagem de se trabalhar com um serviço em nuvem, é que não necessita de um espaço físico para armazenar os dados, sendo necessário apenas acessar

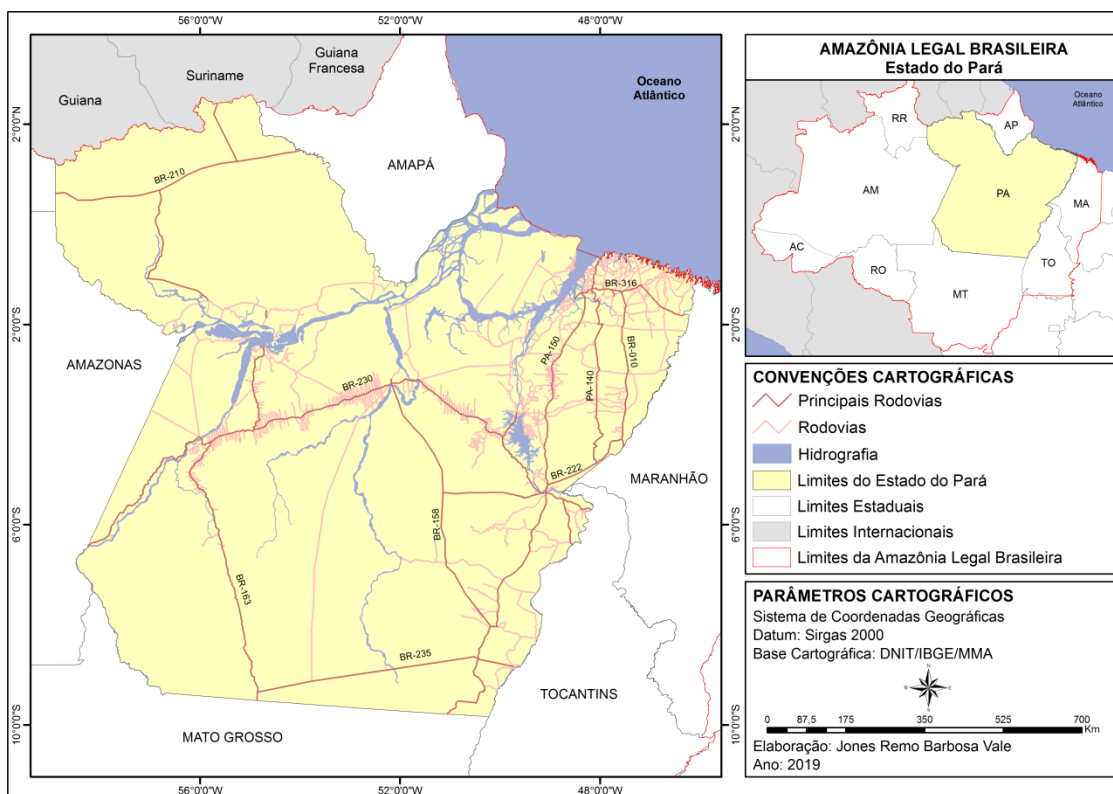
a Internet para obtê-los. O GEE tem sido utilizado em uma ampla variedade de pesquisas científicas, abrangendo tópicos como a mudança na cobertura florestal em escala global (HANSEN *et al.*, 2013) e em escala regional (SOUZA *et al.*, 2019).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Área de Estudo

O Estado do Pará localiza-se na porção oriental da AML. Seus limites são com o Estado do Amapá a norte, Roraima a noroeste, Amazonas a oeste, Mato Grosso a sul, Tocantins a sudeste, Maranhão a leste, além do Suriname e Guiana ao extremo norte (Figura 03). O Pará tem uma população estimada em 8,3 milhões de habitantes distribuídos em uma área de 1.247.955,238 km<sup>2</sup>, com 144 municípios agrupados em 6 mesorregiões e 22 microrregiões (IBGE, 2018).

**Figura 03** - Localização geográfica do Estado do Pará, porção oriental da Amazônia Legal Brasileira



**Fonte:** Elaborador pelo autor (2019).

O Estado é destaque nacionalmente pela produção mineral, principalmente por conta das reservas minerais metálicos (alumínio, cobre, ferro, manganês, níquel e ouro), possui o quinto maior rebanho bovino do Brasil e é um dos principais produtores de soja e dendê. Tendo uma economia balizada em recursos naturais, configura-se em um



território de grandes empreendimentos econômicos altamente relevantes para o desenvolvimento nacional (RODRIGUES, 2017).

#### **4.2. Caracterização ambiental do Estado do Pará**

De acordo com a classificação climática de Köppen (1948), na AML encontra-se o clima denominado tropical chuvoso. Essa categoria apresenta três subdivisões: Af, Am e Aw (BASTOS, 1982). No Estado do Pará há o predomínio do tipo Am (Monção) com 66,6%, seguido dos tipos Af e Aw com 28,4% e 5% respectivamente (ALVARES *et al.*, 2014).

Na região Amazônica ocorrem altos valores pluviométricos e as precipitações são predominantemente do tipo convectivas, em forma de pancadas de chuvas de curta duração, sendo associadas às nuvens cumulus e cumulonimbus (FIGUEROA; NOBRE, 1990). O alto índice pluviométrico se deve em razão da influência de sistemas de grande escala como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Segundo Menezes (2013) aproximadamente 45% das chuvas no Estado do Pará caem na parte leste e são reguladas pelas linhas de instabilidade. Sendo assim, o regime pluviométrico do Estado é bem definido em estação chuvosa, que vai de dezembro a maio, e estação menos chuvosa, que vai de junho a novembro.

O relevo paraense é formado por estrutura geológica e tectônica. Geologicamente encontram-se formações dos períodos: Pré-Cambriano (Série Gurupi e Embasamento gnáissico), Cretáceo (Formação Itapecuru), Terciário (Grupo Barreiras e Formação Pirabas) e Quaternário (areias e argilas inconsolidadas, depósitos fluviais, areias das praias litorâneas, depósitos de mangue e blocos desagregados de arenito ferruginoso sobreposto sobre Grupo Barreiras) (FRANCISCO *et al.*, 1966).

Em relação ao aspecto geomorfológico, no Pará se destaca o domínio da bacia sedimentar Amazônica e duas estruturas cristalinas, localizadas ao norte e ao sul da referida bacia. Desta forma, o Estado divide-se em quatro unidades morfoestruturais: Depósitos Sedimentares Quaternários, Bacias e Coberturas Sedimentares, Coberturas Metassedimentares e Embasamentos Cristalinos (FURTADO; PONTE, 2013). O relevo é relativamente baixo e plano, com 58% do território abaixo dos 200 metros. As altitudes superiores a 500 metros encontram-se na Serra dos Carajás, Serra do Cachimbo e Serra do Acari (COSTA, 2014).



### 4.3. Materiais e Métodos Aplicados

A pesquisa de literatura nacional e internacional foi realizada com propósito de compreender acerca da temática desenvolvida nesta pesquisa. Esta atividade teve como meta levantar trabalhos realizados no bioma amazônico e em particular no Estado do Pará, pesquisas desenvolvidas com uso de geotecnologias e levantamento de trabalhos sobre os processos de uso e cobertura da Terra.

Para executar o mapeamento de uso e cobertura da Terra das áreas desflorestadas do Estado do Pará foi utilizada imagem do satélite Landsat-5/TM do ano de 2008 e imagem do satélite Landsat-8/OLI-TIRS do ano de 2018, ambas, disponíveis no GEE. A base cartográfica utilizada está disponibilizada em formato digital, shapefile, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Ministério do Meio Ambiente (MMA). Para produção dos mapas utilizou-se o software ArcGis versão 10.1. Para a representação das mudanças dos desflorestamentos para as classes de uso e cobertura da Terra utilizou-se o diagrama de transição.

O processamento dos dados foi executado pelo *Code Editor* do GEE, onde foi implementado um código na linguagem *JavaScript*, com aplicação do algoritmo *Random Forest*, que segundo Breiman (2001) é um classificador formado por uma coleção de árvores de classificação, cada qual construída a partir de uma amostra aleatória do conjunto de treinamento original, onde a classificação de um vetor de características  $x$  é feita por votação, submetendo-se o vetor às árvores da floresta e atribuindo-se a  $x$  a classe mais votada, ou seja, a classificação se dá pela seleção da classe vencedora em termos de número de votos acumulados.

Para auxiliar na classificação foram implementados dois índices espectrais que são resultantes de operações matemáticas entre valores numéricos dos pixels de bandas de imagens de satélite. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Diferença Normalizada de Água Modificada (MNDWI).

O NDVI foi implementado por ser um índice indicador das alterações na cobertura vegetal, principalmente, por apresentar alta sensibilidade tanto para a vegetação esparsa quanto para a vegetação mais densa. Quanto maior for o contraste na região do visível, maior o vigor da vegetação (MOREIRA, 2012; SHIMABUKURO *et al.*, 1999). O NDVI combina informações espectrais da banda do vermelho (Red) e do infravermelho próximo (NIR), o índice é dado pela expressão (ROUSE *et al.*, 1974):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

O MNDWI utiliza as bandas do verde (Green) e do infravermelho médio (MIR), com objetivo de maximizar a reflectância de água e diminuir os ruídos das informações hídricas extraídas de áreas que apresentam, além de água, vegetação e zonas urbanizadas (XU, 2006). O índice é dado pela expressão:

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR}$$

As características e as chaves de interpretação das classes mapeadas nas áreas desflorestadas do Estado do Pará estão dispostas no Quadro 01.

**Quadro 01** - Características das classes de uso e cobertura da Terra

CLASSE	DESCRIÇÃO	PADRÃO HORIZONTAL	PADRÃO VERTICAL
<b>Agricultura</b>	Áreas extensas com predomínio de culturas de ciclo anual, sobretudo de cultivos de grãos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monocultura com 100% de cobertura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrato arbustivo/herbáceo com presença opcional de vegetação cultivada e manejada, com distribuição contínua.</li> </ul>
<b>Floresta</b>	Área de floresta primária, não alterada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura Florestal com dossel dominante 70 a 100%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrato arbóreo/arbustivo/herbáceo com árvores de folhas latifoliadas, não decíduas e de gramíneas.</li> </ul>
<b>Hidrografia</b>	Águas superficiais que formam espelhos d'água.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura de 100% de águas superficiais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verticalmente representado por rios, igarapés e lagos, com presença de 100% de cobertura dos corpos d'água.</li> </ul>
<b>Pastagem</b>	Áreas que, após o corte raso da vegetação natural e com atividade agropastoril, encontram-se em processo inicial de regeneração ou com vegetação herbácea/gramíneas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasto, com estrato arbustivo e/ou herbáceo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrato arbustivo, com presença mandatória de arbustos e cobertura de 20 a 50%.</li> <li>• Estrato herbáceo, com presença mandatória de gramíneas, com cobertura de 50 a 100%.</li> </ul>
<b>Vegetação Secundária</b>	Áreas que, após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente com uso de espécies nativas ou exóticas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crescimento de vegetação secundária de 80 a 100%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrato arbóreo representado por floresta plantada (reflorestamento comercial), com cobertura entre 80 a 100% e por árvores plantadas (Cultura permanente), com cobertura de 30 a 100% e indivíduos com altura entre 2 e 20 metros.</li> <li>• Estrato arbustivo representado por vegetação natural ou em regeneração com cobertura entre 50 e 80%.</li> </ul>
<b>Outros</b>	Áreas com: manchas urbanas; extração mineral; cicatriz de queimadas; solo exposto; associação de diversas modalidades de uso não discriminados devido à resolução espacial das imagens; áreas que apresentam padrão de cobertura diferenciada das demais classes; áreas com presença de nuvens ou sombra de nuvens.	Não se aplica.	Não se aplica.

Fonte: COUTINHO *et al.* (2013). Adaptado pelo autor (2019).

As análises das classificações de uso e cobertura da Terra foram realizadas por meio de matriz de contingência (Tabela 01) que é uma tabulação cruzada simples dos rótulos alocados à classificação contra os dados de referência. Essa matriz de erros organiza os dados de amostra adquiridos de uma forma que resume os resultados e auxilia na análise da eficácia do método utilizado e do grau de erro do produto final (OLOFSSON *et al.*, 2014).

**Tabela 01** - Matriz de contingência da classificação de uso e cobertura da Terra

Referência Classificação	Agricultura	Floresta	Hidrografia	Outros	Pastagem	Vegetação Secundária	TOTAL	INCLUSÃO
<b>Agricultura</b>	$N_{11}$	$N_{12}$	$N_{13}$	$N_{14}$	$N_{15}$	$N_{16}$	$N_{1+}$	$N_{11} / N_{1+}$
<b>Floresta</b>	$N_{21}$	$N_{22}$	$N_{23}$	$N_{24}$	$N_{25}$	$N_{26}$	$N_{2+}$	$N_{22} / N_{2+}$
<b>Hidrografia</b>	$N_{31}$	$N_{32}$	$N_{33}$	$N_{34}$	$N_{35}$	$N_{36}$	$N_{3+}$	$N_{33} / N_{3+}$
<b>Outros</b>	$N_{41}$	$N_{42}$	$N_{43}$	$N_{44}$	$N_{45}$	$N_{46}$	$N_{4+}$	$N_{44} / N_{4+}$
<b>Pastagem</b>	$N_{51}$	$N_{52}$	$N_{53}$	$N_{54}$	$N_{55}$	$N_{56}$	$N_{5+}$	$N_{55} / N_{5+}$
<b>Vegetação Secundária</b>	$N_{61}$	$N_{62}$	$N_{63}$	$N_{64}$	$N_{65}$	$N_{66}$	$N_{6+}$	$N_{66} / N_{6+}$
<b>TOTAL</b>	$N_{+1}$	$N_{+2}$	$N_{+3}$	$N_{+4}$	$N_{+5}$	$N_{+6}$	<b>1</b>	
<b>OMISSÃO</b>	$N_{11} / N_{+1}$	$N_{22} / N_{+2}$	$N_{33} / N_{+3}$	$N_{44} / N_{+4}$	$N_{55} / N_{+5}$	$N_{66} / N_{+6}$		

Fonte: GANEM (2017). Adaptado pelo autor (2019).

Segundo Congalton e Green (2008), a matriz de contingência é uma maneira muito eficaz para representar a precisão do mapeamento. A leitura da matriz ocorre da seguinte forma, na diagonal principal está expressa a quantidade de pixels que foram classificados corretamente, enquanto os elementos fora da diagonal expressam a quantidade de pixels que foram incluídos erroneamente em uma classe (erros de inclusão), assim como a quantidade de pixels que foram excluídos erroneamente de uma classe (erros de omissão).

A avaliação da acurácia pode ser obtida por meio de coeficientes de concordância derivados da matriz de contingência, sendo que estes podem ser expressos como concordância total ou para classes individuais (FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007). O coeficiente de concordância total utilizado foi a Exatidão Global e coeficiente de concordância por classe utilizados foi o Índice Kappa.

A Exatidão Global é a medida mais simples de verificação e relaciona os elementos da diagonal principal da matriz de confusão, que representa o número de

amostras classificadas corretamente  $n_{ii}$ , pelo número total de amostras coletadas  $N$  (HELLDEN; STERN, 1980). Sendo dada pela expressão:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{N}$$

Em que:  $M$  é o número de categorias informacionais presentes na matriz de erros;  $n_{ii}$  referem-se aos elementos da diagonal principal, ou seja, elementos classificados corretamente; e  $N$  o número total de amostras.

Segundo Cohen (1960), o Índice Kappa é uma medida de concordância que fornece uma ideia do quanto às observações se afastam daquelas esperadas, fruto do acaso, indicando-nos assim o quão legítimo são as interpretações, é calculado com base em uma matriz de erros e, é utilizado como medida de concordância entre o mapa e a referência adotada para a estimativa da exatidão. O Índice Kappa é expresso por:

$$K = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c}$$

Em que:  $P_0$  é a exatidão global (proporção de unidades que concordam); e  $P_c$  é a proporção de unidades que concordam por casualidade, representada pela expressão:

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+} n_{+i}}{N^2}$$

Em que:  $M$  é o número de classes;  $n_{i+}$  é o total de elementos classificados para uma categoria  $i$ ;  $n_{+i}$  é o total de elementos de referência amostrados para uma categoria  $i$ ; e  $N$  o número total de amostras.

A partir dos resultados, Landis e Koch (1977) associam valores do Índice Kappa à qualidade da classificação de acordo com o Quadro 02.

**Quadro 02** - Qualidade da classificação associada aos valores do Índice Kappa

ÍNDICE KAPPA	QUALIDADE DA CLASSIFICAÇÃO
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

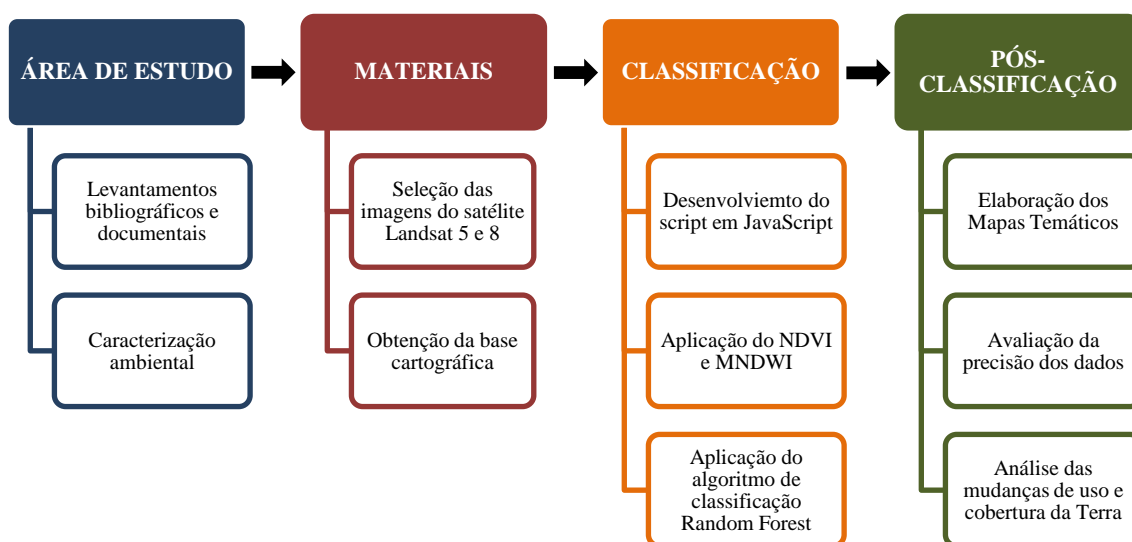
Fonte: LANDIS; KOCH (1977). Adaptado pelo autor (2019).

Além disso, foram realizadas 3 visitas de campo no ano de 2018 a fim de validar os dados do mapeamento do referido ano. Todas as visitas foram realizadas com rotas pré-estabelecidas e planejadas estrategicamente. Para documentação das atividades em campo foram utilizados: computador portátil, câmera digital, receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e caderno para anotações das observações.

A primeira visita de campo abrangeu os municípios do sudeste paraense (Conceição do Araguaia, Dom Eliseu, Floresta do Araguaia, Paragominas, Parauapebas, Rio Maria, Redenção, Santa Maria das Barreiras, Santana do Araguaia e Ulianópolis). A segunda visita percorreu a PA-150 desde o município de Moju até Marabá e a BR-230 desde o município de Pacajá até Rurópolis. A terceira visita abrangeu os municípios do nordeste paraense.

As etapas metodológicas desta pesquisa estão descritas na Figura 04.

**Figura 04** - Fluxograma das etapas metodológicas

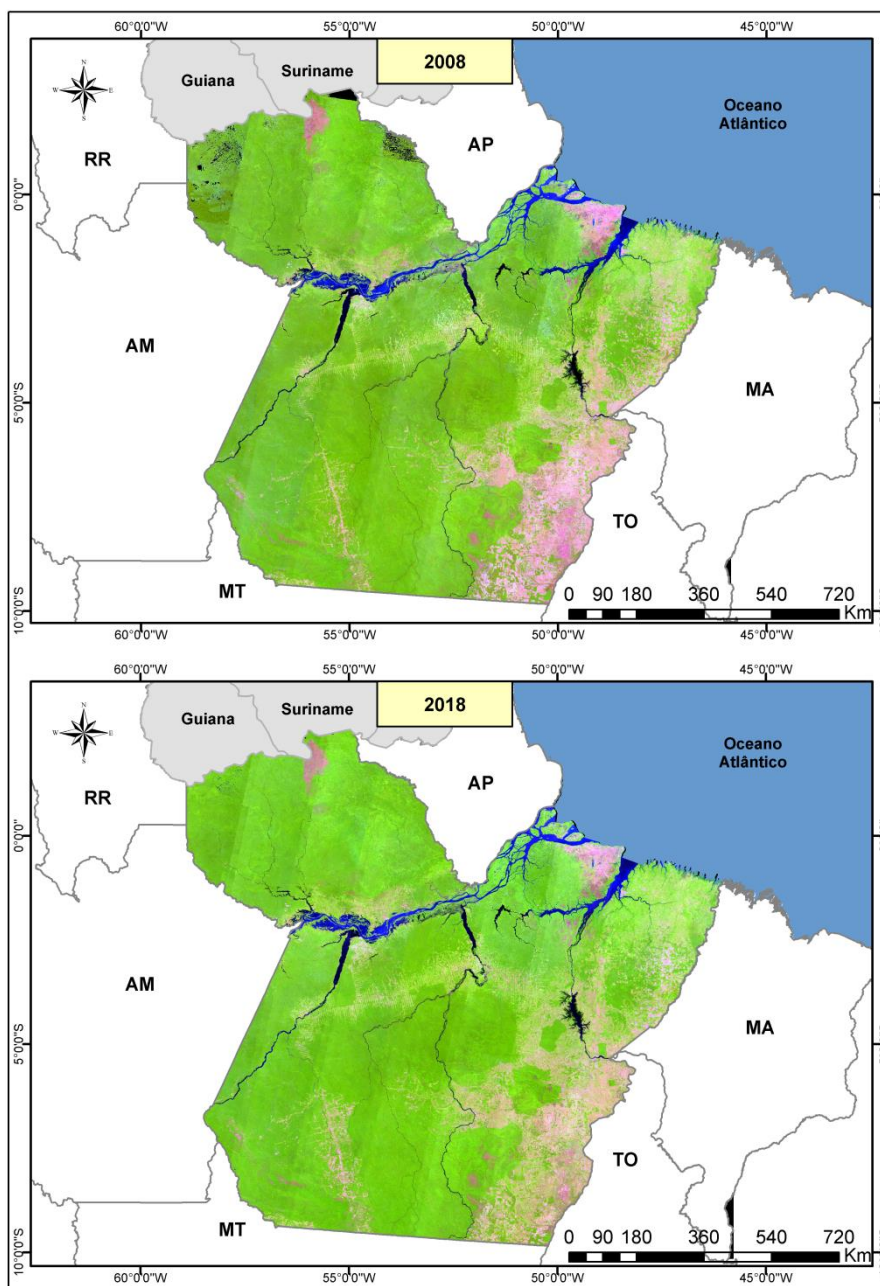


**Fonte:** Elaborado pelo autor (2019).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho os resultados estão dispostos em mapas e análises estatísticas, a fim de contribuir da melhor maneira possível para que seja feita uma avaliação sob as mudanças de uso e cobertura da Terra nas áreas desflorestadas do Estado do Pará, garantindo um panorama melhor acerca dos dados gerados. A Figura 05 apresenta as imagens dos satélites Landsat 5 (2008) e Landsat 8 (2018) em falsa cor, utilizadas para fazer a classificação.

**Figura 05** - Imagens de satélite de 2008 e 2018 em composição falsa cor



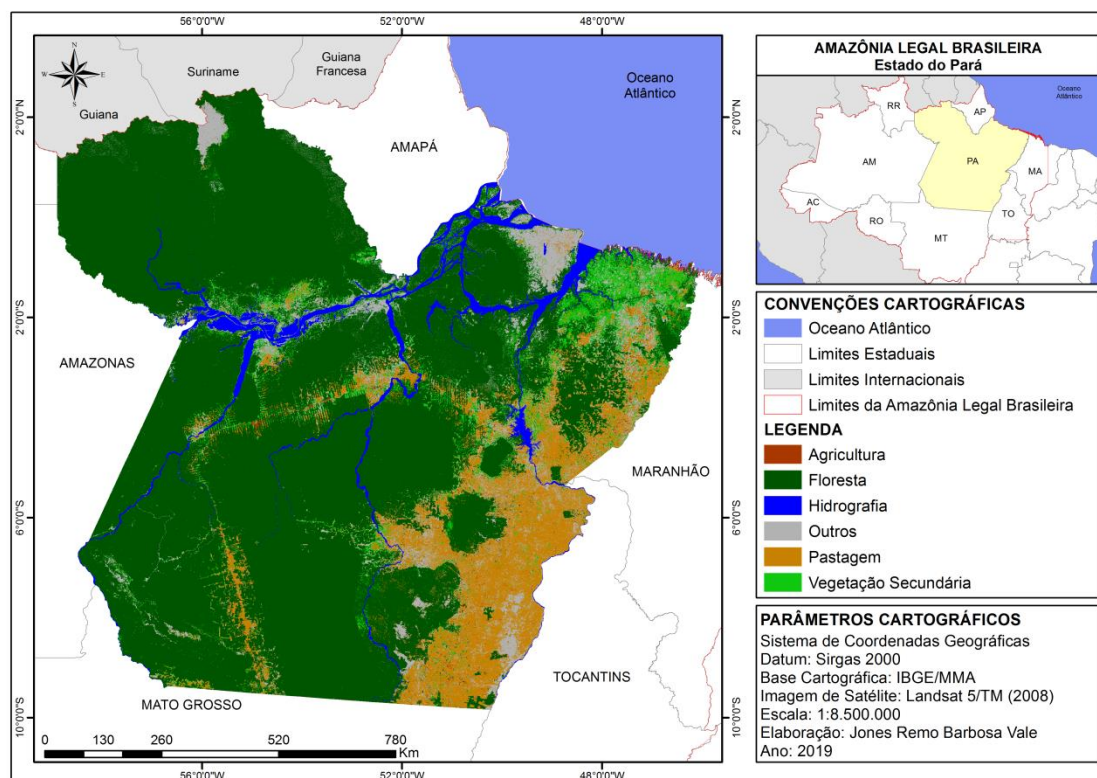
**Fonte:** Elaborado pelo autor (2019).



No final da década 90 até o ano de 2004 foram registrados os maiores índices de desflorestamento no Estado do Pará, sendo que o ano de 2004 foi o que obteve maior registro anual de desflorestamento com cerca 8.870 km<sup>2</sup>. A partir de 2004 as taxas anuais foram diminuindo, principalmente, por conta do desenvolvimento de políticas de controle e monitoramento do desmatamento ilegal, exemplo, tem-se a implantação do PPCDAm. Embora tenham desenvolvido políticas públicas de controle do desmatamento, de acordo com dados do PRODES no ano de 2008 houve um desflorestamento de 5.607 km<sup>2</sup>.

A Figura 06 representa a distribuição espacial das classes de uso e cobertura da Terra em áreas desflorestadas do Estado do Pará até o ano de 2008 e os dados de áreas de cada classe estão dispostos na Tabela 02 e Figura 07.

**Figura 06** - Classificação de uso e cobertura da Terra nas áreas desflorestadas do Estado do Pará até 2008



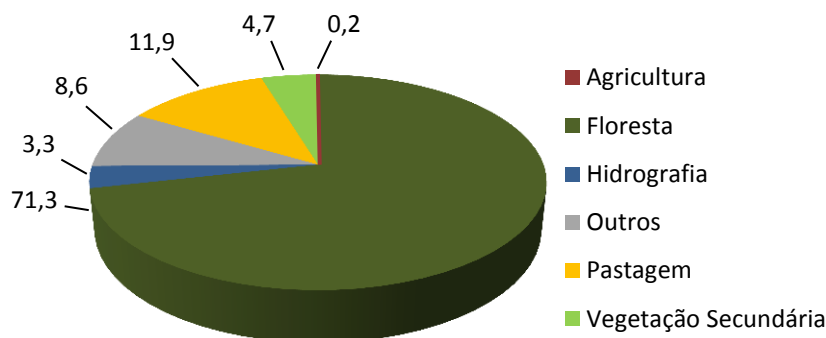
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

**Tabela 02** - Dados da classificação de uso e cobertura da Terra em 2008

CLASSE	ÁREA (km <sup>2</sup> )
Agricultura	2.073,58
Floresta	890.190,90
Hidrografia	41.069,89
Outros	107.828,98
Pastagem	147.993,47
Vegetação Secundária	58.797,55
<b>TOTAL</b>	<b>1.247.954,37</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

**Figura 07** - Participação relativa das classes de uso e cobertura da Terra no Estado do Pará em 2008



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na matriz de contingência (Tabela 03) observa-se que, de um total de 574 pontos distribuídos aleatoriamente sobre a Figura 06 e sobre a imagem de satélite do ano de 2008 utilizada como referência para a classificação, 515 se mostraram concordantes com a classificação. Assim, obteve-se uma Exatidão Global de 89,7% e Índice Kappa de 0,74. Com base nos parâmetros de qualidade da classificação de Landis e Koch (1977), a classificação de uso e cobertura da Terra de 2008 pode ser considerada muito boa.



**Tabela 03** - Matriz de contingência da classificação de uso e cobertura da Terra em 2008

Referência Classificação	Agricultura	Floresta	Hidrografia	Outros	Pastagem	Vegetação Secundária	TOTAL	INCLUSÃO (%)
Agricultura	2	-	-	-	1	-	3	0,0
Floresta	-	424	1	6	6	9	446	4,9
Hidrografia	-	1	13	1	-	-	15	13,3
Outros	-	2	-	22	4	2	30	26,7
Pastagem	1	5	-	3	34	6	49	30,6
Vegetação Secundária	-	2	-	5	4	20	31	35,5
TOTAL	3	434	14	37	49	37	515	
OMISSÃO (%)	33,3	2,3	7,1	40,5	30,6	45,9		

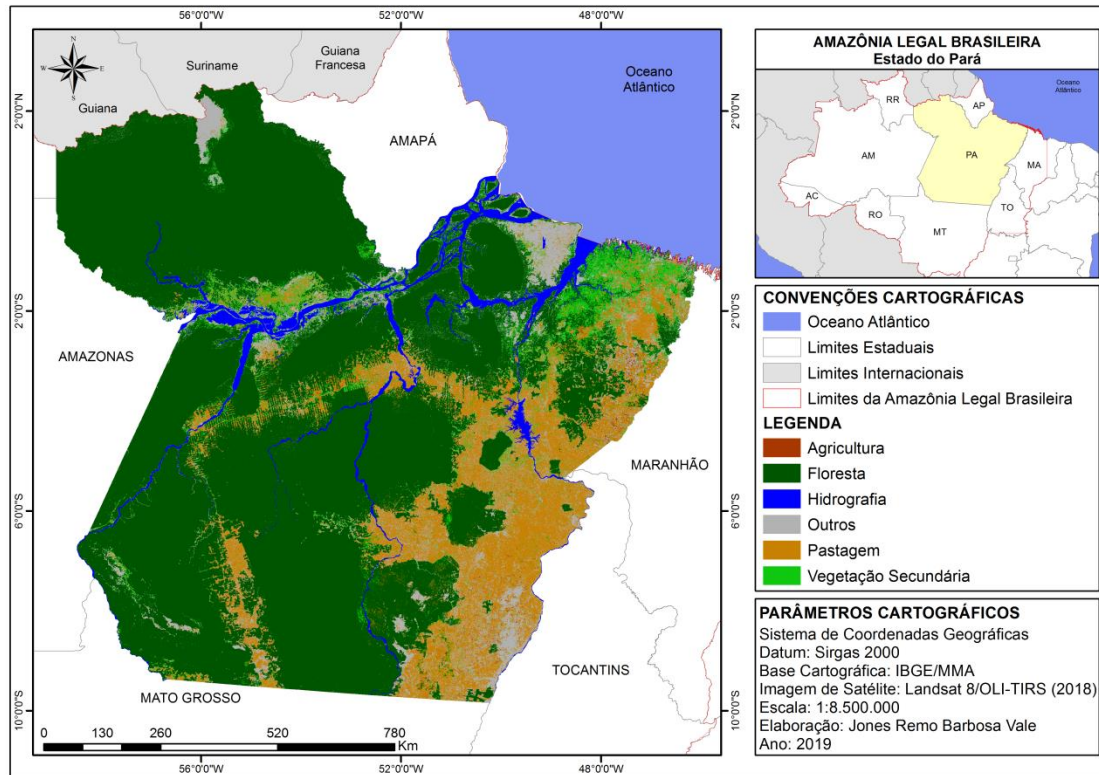
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Conforme os dados da Tabela 03, dentre as classes mapeadas, as que apresentaram maior erro de inclusão foram vegetação secundária, pastagem e outros, respectivamente, com 35,5%, 30,6% e 26,7%. As classes que apresentaram maior erro de omissão foram às classes de vegetação secundária, outros e pastagem, respectivamente, com 45,9%, 40,5% e 30,6%. A classe agricultura não apresentou erro de inclusão, mas de omissão obteve erro de 33,3%. A classe hidrografia apresentou erros de inclusão e omissão de 13,3% e 7,1%, respectivamente. A classe floresta apresentou erros de inclusão e omissão de 4,9% e 2,3%, respectivamente.

Em estudos sobre as dinâmicas de mudanças de uso e cobertura da Terra na Amazônia, Espindola *et al.*, (2011), Gollnow e Lakes (2014) e Sousa *et al.*, (2017), relataram que, em um intervalo de aproximadamente 10 anos, houve um decréscimo das áreas florestais e expansão de agricultura e pastagem, ou seja, estão intimamente relacionadas com o desmatamento. A intensificação das atividades agropecuárias provoca a busca por novas áreas, o que ocasiona no aumento do desflorestamento para o seu desenvolvimento. O processo de expansão das atividades agropecuárias no Estado do Pará torna-se perceptível com os resultados obtidos entre os anos de 2008 e 2018.

A Figura 08 representa a distribuição espacial das classes de uso e cobertura da Terra nas áreas desflorestadas do Estado do Pará até o ano de 2018 e os dados de áreas de cada classe estão dispostos na Tabela 04 e Figura 09.

**Figura 08** - Classificação de uso e cobertura da Terra nas áreas desflorestadas do Estado do Pará até 2018



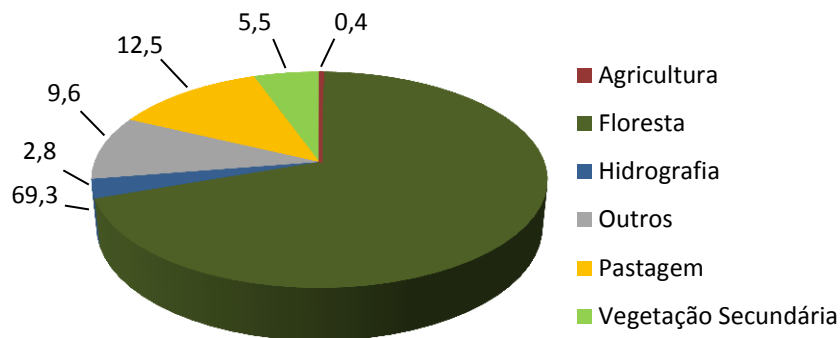
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

**Tabela 04** - Dados da classificação de uso e cobertura da Terra em 2018

CLASSE	ÁREA (km <sup>2</sup> )
Agricultura	5.183,00
Floresta	864.177,89
Hidrografia	35.202,36
Outros	119.707,50
Pastagem	155.393,00
Vegetação Secundária	68.291,03
<b>TOTAL</b>	<b>1.247.954,78</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

**Figura 09** - Participação relativa das classes de uso e cobertura da Terra no Estado do Pará em 2018



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2019).

Na matriz de contingência (Tabela 05) observa-se que, de um total de 585 pontos distribuídos aleatoriamente sobre a Figura 08 e sobre a imagem de satélite do ano de 2018 utilizada como referência para a classificação, 533 se mostraram concordantes com a classificação. Assim, obteve-se uma Exatidão Global de 91,1% e Índice Kappa de 0,79. Com base nos parâmetros de qualidade da classificação de Landis e Koch (1977), a classificação de uso e cobertura da Terra de 2018 pode ser considerada muito boa.

De acordo com os dados da Tabela 05, dentre as classes mapeadas, as que apresentaram maior erro de inclusão foram vegetação secundária, agricultura e pastagem, respectivamente, com 23,5%, 20% e 19,4%. As classes que apresentaram maior erro de omissão foram às classes de vegetação secundária, outros e agricultura, respectivamente, com 60,6%, 31% e 25%. A classe pastagem apresentou erro de omissão de 22,1%. A classe hidrografia não apresentou erro de omissão, mas obteve erro de inclusão de 5,6%. A classe floresta apresentou erros de inclusão e omissão de 6,5% e 0,7%, respectivamente.

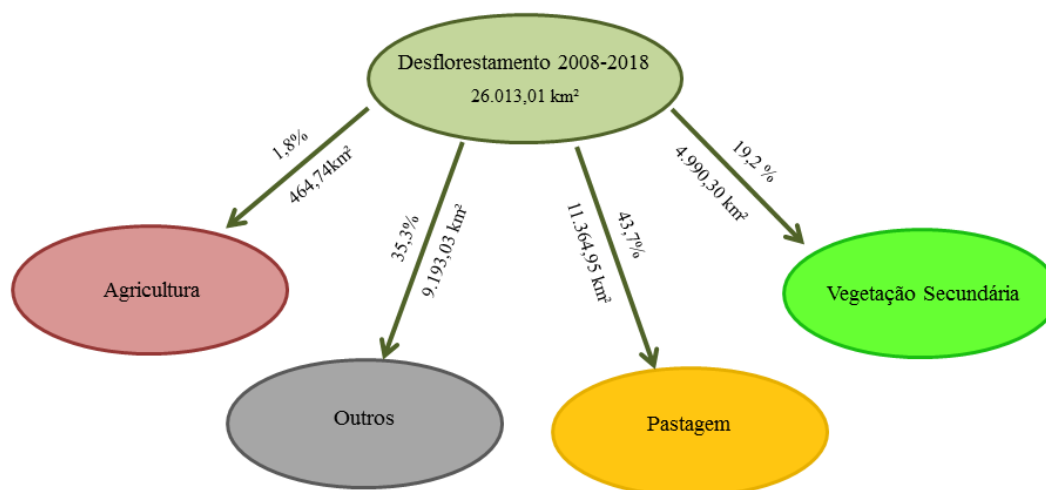
**Tabela 05** - Matriz de contingência da classificação de uso e cobertura da Terra em 2018

Referência Classificação	Agricultura	Floresta	Hidrografia	Outros	Pastagem	Vegetação Secundária	TOTAL	INCLUSÃO (%)
Agricultura	3	-	-	-	1	1	5	20,0
Floresta	-	418	-	9	8	12	447	6,5
Hidrografia	-	1	17	-	-	-	18	5,6
Outros	-	-	-	29	4	3	36	19,4
Pastagem	1	-	-	4	53	4	62	14,5
Vegetação Secundária	-	2	-	-	2	13	17	23,5
TOTAL	4	421	17	42	68	33	533	
OMISSÃO (%)	25,0	0,7	0,0	31,0	22,1	60,6		

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).





Entre os anos de 2008 e 2018 o desflorestamento no Estado do Pará foi de aproximadamente 26.013,01 km<sup>2</sup>, representando cerca de 2,1% da área do Estado. A classe pastagem foi a que recebeu maior área desflorestada com 11.364,95 km<sup>2</sup> (43,7%), seguida da classe outros com 9.193,03km<sup>2</sup> (35,3%) e da classe vegetação secundária com 4.990,30km<sup>2</sup> (19,2%). O diagrama de transição (Figura 10) representa a distribuição das classes de uso e cobertura da Terra sobre as áreas desflorestadas entre 2008-2018. A Tabela 06 apresenta alguns registros das visitas de campo.

**Figura 10** - Diagrama de transição das áreas desflorestadas para as classes de uso e cobertura da Terra no Estado do Pará entre os anos de 2008-2018



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

**Tabela 06** - Registros e informações das visitas de campo no Estado do Pará no ano de 2018

IMAGEM	CARACTERÍSTICAS
	<p>Latitude: 07°35'7.35"S</p> <p>Longitude: 49°59'51.38"W</p> <p>Município: Floresta do Araguaia</p> <p>Uso/Cobertura: Vegetação Secundária</p>
	<p>Latitude: 08°11'2.95"S</p> <p>Longitude: 49°36'26.49"W</p> <p>Município: Conceição do Araguaia</p> <p>Uso/Cobertura: Pastagem</p>
	<p>Latitude: 08°26'49.21"S</p> <p>Longitude: 49°42'24.87"W</p> <p>Município: Santa Maria das Barreiras</p> <p>Uso/Cobertura: Agricultura</p>
	<p>Latitude: 03°14'06.72"S</p> <p>Longitude: 49°01'26.40"W</p> <p>Município: Moju</p> <p>Uso/Cobertura: Vegetação Secundária</p>

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2019).

Os resultados evidenciam os ganhos das classes de pastagem, vegetação secundária e agricultura. Sendo que a agricultura cresce, sobretudo, sobre as áreas de pastagem conforme Adami *et al.* (2015).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos com as classificações de uso e cobertura da Terra em áreas desflorestadas do Estado do Pará entre os anos de 2008 e 2018, foi possível observar que os desflorestamentos recentes, 43,7% tornaram-se pastagem, 19,2% vegetação secundária e 1,8% agricultura. No entanto, a classe agricultura apresenta uma forte tendência ao crescimento em decorrência dos incentivos aos cultivos de soja e milho. Com isto nota-se que a pastagem está avançando sobre os desflorestamentos recentes e cedendo área para agricultura em menor proporção.

Constatou-se que o desenvolvimento econômico no Pará e a consequente expansão de suas atividades produtivas, como expansão do cultivo da soja no sudeste paraense, das áreas de pastagem, das atividades mineradoras e da extração madeireira são apontados como os principais indutores do seu desflorestamento. A dinâmica do uso e cobertura está baseada na consolidação, principalmente, dos produtos agropecuários como uma das variáveis na matriz econômica do Estado do Pará.

Em relação à plataforma Google Earth Engine, essa geotecnologia se mostrou uma ferramenta muito ágil e que permitiu que as classificações fossem geradas com boa acurácia. Destaca-se que essa plataforma vem ser uma importante ferramenta no monitoramento e controle do desmatamento ilegal. Assim, torna-se possível o desenvolvimento e o fortalecimento de políticas públicas ambientais na Floresta Amazônica, onde até os dias atuais, apresenta um cenário de extremo conflito de interesses, envolvendo atores, articulações e conjunturas locais, nacionais e globais.

## TRABALHOS PUBLICADOS RELACIONADOS COM O PIBIC

VALE, J. R. B.; SILVA, I.; SOUZA, L. F.; ADAMI, M.; GOMES, A. R. Dinâmica do uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas do município de Paragominas-PA entre os anos de 2004 e 2014. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIX, 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019, p. 1163-1166.

SOUZA, L. F.; ADAMI, M.; VALE, J. R. B.; SILVA, I.; CORTINHAS, L.; LIMA, I.; GOMES, A. R. Classificação de uso e cobertura da terra em áreas de não floresta do Sudeste Paraense através da plataforma Google Earth Engine (GEE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIX, 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019, p. 2642-2645.



## REFERÊNCIAS

ADAMI, M. *et al.* Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 e 2012. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, João Pessoa, 2015. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015, p. 7029-7035.

ALENCAR, A. *et al.* **O desenvolvimento que queremos: ordenamento territorial da BR-163, Baixo Amazonas, Transamazônica e Xingu.** Meeting report. 29-31 mar., (IPAM, ISA, FVPP, Fetagri BAM, FORMAD, FVPP, CEFTBAM, Forum BR-163, GTA), Santarém, PA, 2004.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 06, p.711-728, 2014.

ALVES, D. S. O processo de desflorestamento na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**, v. 12, p. 259-275, 2001.

ANDERSON, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS.** São José dos Campos: INPE, 2004.

ARAÚJO FILHO, M.. da C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da Terra na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 59/2, p. 171-179, 2007.

BASTOS, T. X. **O clima da Amazônia Brasileira segundo Köppen.** Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1982.

BECKER, B. K. **Geopolítica da Amazônia:** a nova fronteira de recursos. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1982.

\_\_\_\_\_. **Amazônia.** São Paulo: Ática, 1998.

\_\_\_\_\_. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários?. **Parcerias Estratégicas**, n. 12, p. 135-159, 2001.

\_\_\_\_\_. **Amazônia:** Geopolítica na virada do III milênio. Rio de Janeiro: Geramod, 2004.

\_\_\_\_\_. A Amazônia e a política ambiental brasileira. In: SANTOS, M.; BECKER, B. K. (Orgs.). **Território, territórios:** ensaios sobre o ordenamento territorial. Rio de Janeiro: Lamparina, 2007.

BRASIL. Casa Civil. **Lei nº 1.806, de 06 de janeiro de 1953.** Brasília, 1953.

\_\_\_\_\_. **Lei Complementar nº 31, de 11 de outubro de 1977.** Brasília, 1977.

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45, p. 05-32, 2001.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE, 2001.

CASTRO, E. Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia. **Novos cadernos do NAEA**, v. 08, n. 02, p. 05-40, 2005.

\_\_\_\_\_. Políticas de ordenamento territorial, desmatamento e dinâmicas de fronteira. **Novos cadernos do NAEA**, v.10, n. 02, p. 105-126, 2007.

COHEN, J. A. Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 01, p. 37-46, 1960.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and applications**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2008.

COSTA, E. S. S. **Perfil epidemiológico da dengue na região metropolitana de Belém-Pará, 2008 a junho de 2012**. 2014. 67f. Dissertação (Mestrado em Biologia de Agentes Infecciosos e Parasitários) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

COSTA, F. G. **Avaliação do potencial de expansão da soja na Amazônia Legal: uma aplicação do modelo de Von Thünen**. 2000. 162f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

COUTINHO, A. C. *et al.* **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal: TerraClass 2008**. Brasília/DF: Embrapa; Belém: INPE, 2013.

DINIZ, C. G. *et al.* DETER-B: The New Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System. **IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing**, v. 08, n. 07, p. 3619-3628, 2015.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, v.15, n. 02, p. 01-22, 2012.

ESPINDOLA, G. M. *et al.* Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. **Applied Geography**, v. 32, n. 02, p. 240-252, 2011.

FEARNSIDE, P. M. Avança Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. **Environmental Management**, v. 30, n. 06, p. 748-763, 2002.

\_\_\_\_\_. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 03, p. 680-688, 2005.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de exatidão global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 5755-5762.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over Central and Western tropical South America. **Climanálise**, n. 05, p. 36-44, 1990.





FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 02, p. 101-126, 1998.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FRANCISCO, B. H. R. *et al.* Contribuição à Geologia da Folha de São Luís (SA-23) no Estado do Pará. I Sinopse Preliminar. **Publicações Avulsas do Museu Paraense Emílio Goeldi**, n. 05, p. 02-13, 1966.

FURTADO, A. M. M.; PONTE, F. C. Mapeamento de unidades de relevo do Estado do Pará. **Revista GeoAmazônia**, v. 02, n. 02, p. 56-67, 2013.

GANEM, K. A. **Classificação da cobertura do solo na caatinga a partir de imagens do Landsat-8 e da ferramenta Google Earth Engine: uma comparação entre dados com e sem correção atmosférica**. 2017. 202f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

GASH, J. H. C. *et al.* **Amazonian Deforestation and Climate**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.

GAVLAK, A. A.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. Dinâmica de padrões de mudança de uso e cobertura da terra na região do Distrito Florestal Sustentável da BR-163. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 6152-6160.

GIBBS, H. K. *et al.* Brazil's Soy Moratorium. **Science**, v. 347, p. 377-378, 2015.

GOLLNOW F.; LAKES, T. Policy change, land use, and agriculture: The case of soy production and cattle ranching in Brazil, 2001 e 2012. **Applied Geography**, v. 55, p. 203-211, 2014.

GORELICK, N; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 2017.

HANSEN, M. C. *et al.* High-resolution global maps of 21 st-century forest cover change. **Science**, v. 134, n. 2011, p. 850–853, 2013.

HECHT, S. B. Environment, development and politics: capital accumulation and the livestock sector in Eastern Amazonia. **World Development**, v. 13, n. 06, p. 663-684, 1985.

HELLDEN, U.; STERN, M. Evaluation of Landsat Imagery and Digital Data for Monitoring Desertification Indicators in Tunisia. Proc. 14th. Int. **Symposium on Remote Sensing of Environment**, p. 1601-1611, 1980.

HOMMA, A. K. O. *et al.* Guseiras na Amazônia: Perigo para a Floresta. **Ciência Hoje**, v. 39, n. 233, p. 56-63, 2006.



HOUGHTON, R. A. *et al.* Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, p. 301-304, 2000.

IANNI, O. **Colonização e Contra-Reforma Agrária na Amazônia**. Petrópolis: Editora Vozes, 1979.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do Estado do Pará**. 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/panorama>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia Brasileira por satélites: Detecção de Desmatamento em Tempo Real – DETER**. São José dos Campos: INPE, 2008.

\_\_\_\_\_. **Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra no período de 10 anos nas áreas desflorestadas da Amazônia legal Brasileira**. Belém: INPE/CRA; Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

\_\_\_\_\_. **Monitoramento da floresta amazônica por satélite: Projeto PRODES**. 2018. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 01, p. 159-174, 1977.

LAURANCE, W. F. *et al.* The future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, p. 438-439, 2001.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da Terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins. **Observatorium**, v. 04, n.12, p. 90-106, 2012.

LONGLEY, P. A. *et al.* **Geographic Information Systems and Science**. 3 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

MACHADO, L. O. A fronteira agrícola na Amazônia. In: BECKER, B. K. *et al.* (Orgs.). **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. São Paulo: Hucitec, 1998, p.181-217.

MACHADO, L. de O. R. Desflorestamento na Amazônia Brasileira: ação coletiva, governança e governabilidade em área de fronteira. **Sociedade e Estado**, v. 24, n. 01, p. 115-147, 2009.

MAHAR, D. J. **Government policies and deforestation in Brazil's Amazon Region**. Washington: Word Bank Publication, 1989.

MALHI, Y. *et al.* Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science**, v. 319, n. 5860, p. 169–172, 2008.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia Legal**. 1 Ed. Brasília: Banco Mundial, 2003.



MELLO, N. G. T.; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 66, p. 108-129, 2017.

MENEZES, F. P. **Avaliação especial e sazonal da precipitação no Estado do Pará**. 2013. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

MERTENS, B. *et al.* Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: the case of São Félix do Xingu in South Pará. **Agricultural Economics**, v. 27, n. 03, p. 269-294, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4 ed. Viçosa: Ed. Viçosa, 2012.

MORTON, D. C.; SALES, M. H.; SOUZA, C. M.; GRISCOM, B. Historic emissions from deforestation and forest degradation in Mato Grosso, Brazil: 1) source data uncertainties. **Carbon Balance and Management**, v. 06, v. 18, p. 01-13, 2011.

NEPSTAD, D. *et al.* **Avança Brasil**: Os custos ambientais para a Amazônia. Belém: Gráfica e Editora Alves, 2000.

NEPSTAD, D. *et al.* Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 154, n. 03, p. 395-407, 2001.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; ARTAXO, P. Understanding the Climate of Amazonia: Progress From LBA. In: KELLER, M. *et al.* (Orgs.). **Amazonia and Global Change**. Washington, D.C.: American Geophysical Union Books, 2009a. p. 145-147.

NOBRE, C. A.; OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G. Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. In: KELLER, M. *et al.* (Orgs.). **Amazonia and Global Change**. Washington, D.C.: American Geophysical Union Books, 2009b. p. 149-162.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto**: princípios e aplicações. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, R. R. S. *et al.* Análise da vulnerabilidade natural dos solos à erosão como subsídio ao planejamento territorial em área da microbacia do igarapé Peripindeua, Nordeste Paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 4783-4790.

OLOFSSON, P. *et al.* Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**, v. 148, p. 42-57, 2014.

ROCHA, E. J. P. **Balço de umidade e influência de condições de contorno superficiais sobre a precipitação da Amazônia**. 2001. 210f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/SP, 2001.

ROCHA, V. M.; CORREIA, F. W.; FONSECA, P. Reciclagem de precipitação na Amazônia: um estudo de revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 01, p. 59-70, 2015.

RODRIGUES, J. C. **O nexu água-energia-alimentos aplicado ao contexto da Amazônia Paraense**. 2017. 92f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

\_\_\_\_\_. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: UFU, 2007.

ROSA, R. BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica**. Uberlândia: UFU, 1996.

ROSSETTI, D. F.; TOLEDO, P. M. Biodiversity from a historical geology perspective: A case study from Marajo Island, lower Amazon. **Geobiology**, v. 04, n. 03, p. 215–223, 2006.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM**, 3., Washington, D.C., 1973. **Proceedings...** Washington, D.C.: NASA, 1974. p. 309-317.

SATYAMURTY, P.; da COSTA, C. P. W.; MANZI, A. O. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, n. 01-02, p. 195-209, 2013.

SCHIESARI, L. *et al.* Pesticide use and biodiversity conservation in the Amazonian agricultural frontier. **Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, 2013.

SHIMABUKURO, Y. E. *et al.* **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso através de imagens NOAA-AVHRR**. São José dos Campos: INPE, 1999.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Unicamp, 1999.

SILVA, M. *et al.* A transformação do espaço amazônico e seus reflexos na condição atual da cobertura e uso da terra. **Novos Cadernos NAEA**, v. 16, p. 229-248, 2013.

SMITH, N. J. H. *et al.* **Amazonia: resiliency and dynamism of the land and its people**. Tokyo: United Nations University Press, 1995.

SOUSA, L. M.; ADAMI, M.; LIMA, A. M. M.; RAMOS, W. F. Avaliação do uso e cobertura da Terra em Paragominas e Ulianópolis-PA, utilizando dados do projeto TerraClass. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 69/03, p. 421-431, 2017.

SOUZA, L. F.; ADAMI, M.; VALE, J. R. B.; SILVA, I.; CORTINHAS, L.; LIMA, I.; GOMES, A. R. Classificação de uso e cobertura da terra em áreas de não floresta do Sudeste Paraense através da plataforma Google Earth Engine (GEE). In: **SIMPÓSIO**



BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIX, 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019, p. 2642-2645.

TARDIN, A. T. *et al.* **Levantamento de áreas de desmatamento na Amazônia Legal através de imagens do Satélite Landsat.** São José dos Campos: INPE, 1979.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.