



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MAPEAMENTO DA AGRICULTURA DE PEQUENA ESCALA E DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA NA REGIÃO DO BAIXO TOCANTINS, PA.

Marcus Vinicius Gonçalves da Silva

Relatório parcial de Iniciação Científica,
orientada pela Dra. Maria Isabel Sobral
Escada e coorientada pela Ma. Anielli
Rosane Souza.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MAPEAMENTO DA AGRICULTURA DE PEQUENA ESCALA E DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA NA REGIÃO DO BAIXO TOCANTINS, PA.

Marcus Vinicius Gonçalves da Silva

Relatório parcial de Iniciação Científica,
orientada pela Dra. Maria Isabel Sobral
Escada e coorientada pela Ma. Anielli
Rosane Souza.

RESUMO

Na Amazônia, é notável a escassez de esforços no mapeamento das classes de uso da terra relacionadas a sistemas agroflorestais e cultivos de pequena escala. A falta de dados espaciais e as dificuldades no mapeamento com imagens orbitais dificultam a compreensão das dinâmicas e a avaliação adequada do potencial socioeconômico dessas atividades. A diversidade e dimensões reduzidas das feições resultam em paisagens heterogêneas, tornando a classificação mais complexa e levando a ausências ou imprecisões na representação espacial. Para contribuir com a resolução deste problema este trabalho tem como objetivo estabelecer uma matriz metodológica para o mapeamento do uso e cobertura da terra, especialmente para agricultura anual de pequena escala, os estádios sucessionais da vegetação secundária e sistemas agroflorestais, para os municípios de Abaetetuba, Igarapé-Miri, Cametá, Mocajuba e Baião, localizados na região nordeste do estado do Pará, com imagem de satélite de 2017. A primeira etapa deste trabalho consistiu na construção de uma matriz metodológica de mapeamento de uso e cobertura da terra, dando ênfase às classes de agricultura anual de pequena escala e estágios sucessionais da vegetação secundária. Utilizando o cubo de dados do satélite Sentinel-2A com imagens de 16 dias, aplicamos o algoritmo Random Forest no ambiente Sits (*Satellite Image Time Series Analysis on Earth Observation Data Cubes*) com programação em R. Para o treinamento e classificação das diferentes classes de interesse, utilizamos bandas puras (B02, B03, B04, B05, B06, B07, B08, B08A, B11, B12) e índices espectrais NDVI, NBR e Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). A avaliação da classificação foi feita através da validação cruzada - *K-Fold*, que possibilitou gerar estimativa do modelo, matriz de confusão, acurácia global e Kappa. A abordagem apresentou resultados promissores, especialmente para o mapeamento da classe agricultura anual de pequena escala e das classes relativas aos estágios sucessionais de vegetação secundária. Obteve-se uma acurácia global de 78% da classificação e um coeficiente Kappa de 75%. Destacam-se algumas das

principais discordâncias entre as classes: 1) Agricultura de pequena escala com Pasto limpo (15,78%) e com Agricultura de larga escala (15,78%); 2) Vegetação secundária inicial com Agricultura de larga escala (6,06%) e Pasto limpo (3,03%) e; 3) Vegetação secundária avançada com Piscicultura (2,94%) e Vegetação Secundária Inicial (2,94%). Os resultados são preliminares. Testes com outros classificadores (*LightTAE* e *Support Vector Machine*) serão realizados. Para aprimorar os resultados da classificação, serão adicionadas mais amostras ao conjunto inicial. Além disso, incluiremos procedimentos para o mapeamento dos sistemas agroflorestais. Essas etapas adicionais são essenciais para melhorar a precisão e a confiabilidade do mapeamento das classes em estudo, possibilitando assim, inferir com um dado mais preciso, como se dão as dinâmicas do uso da terra na região.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Área de estudo.....	13
Figura 2.2 - Produção agrícola municipal.....	14
Figura 2.3 - Pecuária.....	14
Figura 2.4 - Produção extrativista.....	15
Figura 3.2 – Tile estudado.....	17
Figura 3.2.2 - Sensibilidade espectral.....	19
Figura 4.1 – Quadro de amostras.....	28
Figura 4.2 – Classificação inicial da área estudo: Random Forest.....	28
Figura 4.3 – Área por classe.....	31
Figura 4.4- Matriz de confusão.....	32
Figura 4.4 – Valores da matriz de confusão.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Materiais.....	16
Tabela 3.2.2 – Valores do MLME.....	21
Tabela 4 – Chave de Identificação.....	22
Tabela 4.1 – Área por classe.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivo geral	11
1.2 Objetivo específico	11
2 ÁREA DE ESTUDO	12
3 METODOLOGIA	15
3.1 Materiais	16
3.2 Métodos	16
3.2.1 Coleta de amostras	17
3.2.2 Processamento das amostras e aplicação do classificador	18
3.2.3 Avaliação das classificações	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5 CONCLUSÃO/ PRÓXIMOS PASSOS	33
6 BIBLIOGRAFIA	34

1. INTRODUÇÃO

O projeto PRODES é responsável pelo monitoramento por satélites, por corte raso, do desmatamento na Amazônia Legal, gerando desde 1988 as taxas anuais de desmatamento usadas pelo governo brasileiro para elaborar políticas públicas. Essas taxas são calculadas com base nos incrementos de desmatamento identificados em cada imagem de satélite. O indicador anual do PRODES é amplamente utilizado na proposição e avaliação da eficácia das políticas públicas implementadas. Desde 2004, a avaliação de danos à Amazônia legal tem mostrado números alarmantes ao longo das pesquisas. Com taxa de desmatamento de cerca de aproximadamente 264691.3720 Km², nos revelando um mau uso da terra, onde temos diversas atividades vinculadas a esse dano (INPE, 2019).

A fim de entender ampliar o entendimento sobre o uso e a cobertura da terra, visando compreender as dinâmicas locais de trabalho que interferem na utilização dos recursos naturais, temos a produção camponesa, onde é uma das principais atividades realizadas na região do Baixo Tocantins, situado na região nordeste do estado do Pará, Brasil. A agricultura camponesa nessa região é de importância para a economia local e a subsistência de muitas famílias. Essa agricultura é caracterizada por áreas de produção de médio e pequeno porte, geralmente administradas por famílias que utilizam técnicas tradicionais de cultivo e manejo sustentável da terra. O trabalho é realizado de forma manual ou com o auxílio de ferramentas simples, mantendo uma relação equilibrada com a natureza (COSTA, 2012).

O cultivo do açaí é uma das principais atividades agrícolas na região do Baixo Tocantins. Essa fruta nativa da Amazônia é conhecida por suas propriedades nutritivas e sabor único. O processo de cultivo envolve o plantio de mudas de açaí em áreas alagadas e de solo arenoso, condições ideais para o desenvolvimento da planta (BRONDIZÍO, 2008). Os agricultores camponeses dedicam-se ao manejo cuidadoso das áreas de cultivo, incluindo o controle das águas, adubação orgânica e práticas de rotação de culturas para preservar a fertilidade do solo. A colheita do açaí é um momento de grande importância, pois é quando os frutos maduros são colhidos manualmente e cuidadosamente

selecionados. Após a colheita, o açaí é processado para obtenção da polpa, que pode ser consumida diretamente ou transformada em diferentes produtos, como sucos, sorvetes e cremes. O cultivo do açaí não apenas proporciona renda para as famílias camponesas, mas também desempenha um papel fundamental na preservação da cultura e da biodiversidade da região (CHAVES et al, 2015).

A produção camponesa (agricultura de pequena escala e agroflorestais) é de grande importância sócio econômica e ambiental para a Amazônia, gerando uma economia significativa que, de acordo com Costa (2016), representa aproximadamente 22% do valor total da economia rural da região norte. Essas atividades causam menores danos ambientais, com menores taxas de desmatamento e de emissão de carbono, quando comparadas com as atividades agropecuárias de larga escala (Costa, 2016). Entretanto, os sistemas de monitoramento do uso e cobertura da terra da Amazônia, em geral realizados com imagens de satélite de moderada resolução espacial, priorizam o mapeamento de classes de uso e cobertura da terra como a agricultura anual de larga escala e pastagem, mais facilmente detectáveis e que ocorrem em áreas mais extensas. Como resultado, as economias dominantes de larga escala e suas dinâmicas tornam-se mais conhecidas e melhor representadas do que as economias associadas à produção camponesa, precariamente representadas e, muitas vezes, invisíveis para os formuladores de políticas públicas.

Tendo em vista a importância dessas economias e de sua representação cartográfica, vários estudos têm sido desenvolvidos por pesquisadores do LiSS (*Laboratório de Investigação Sócio Ambiental*) (SOUZA et al, 2019; SANTOS et al., 2020; PORTO et al., 2020) com o objetivo de desenvolver metodologias para o mapeamento e caracterização do uso e cobertura da terra, dando ênfase à cartografia de classes associadas à produção camponesa como, agricultura de pequena escala, vegetação secundária e sistemas agroflorestais na Amazônia. O mapeamento de vegetação secundária é de particular importância para este trabalho devido a sua associação com a agricultura de pequena escala (sistema de roçado ou *shifting cultivation*), que utiliza o sistema de pousio para a recuperação da fertilidade dos solos, podendo durar 18 anos ou mais.

Para complementar a base de dados do LiSS, a proposta desse trabalho é realizar o mapeamento do uso e cobertura da terra dos municípios Abaetetuba, Igarapé-Miri, Cametá, Mocajuba e Baião, para o ano de 2017. Este ano foi escolhido por corresponder ao ano em que foi realizado o censo agropecuário do IBGE, cujos dados deverão ser utilizados para avaliar os resultados das classificações e para caracterizar as atividades de uso e cobertura da terra. Para essa caracterização serão utilizadas variáveis relacionadas com os sistemas de produção existentes na área de estudo.

1.2 Objetivo Geral

Dado que uma parcela significativa da população Amazônica depende da economia da camponesa, em que está associada à produção de pequena escala e extrativista, e considerando que as classes de uso e cobertura da terra associadas a essas atividades não têm sido devidamente monitoradas em termos de forma e frequência adequadas, é necessário elaborar um método para mapear o uso e cobertura da terra na região do Baixo Tocantins, situada no Nordeste do Pará. Nesse sentido, o objetivo do trabalho é desenvolver metodologias para o mapeamento e caracterização do uso e cobertura da terra, dando ênfase à cartografia de classes de agricultura de pequena escala, vegetação secundária e sistemas agroflorestais na Amazônia.

1.1. Objetivos específicos

Considerado objetivo geral foram definidos 5 (cinco) objetivos específicos:

1. Através do teste em uma área piloto de diferentes algoritmos de classificação de uso e cobertura da terra, estabelecer um método de classificação que melhor identifique e caracterize os usos e coberturas da terra, especialmente as classes *vegetação secundária inicial*, *vegetação secundária avançada* e *agricultura anual de pequena escala* para o ano de 2017;
2. Através do teste em uma área piloto de diferentes algoritmos de classificação de uso e cobertura da terra, estabelecer um método de classificação que melhor identifique e caracterize os usos e coberturas

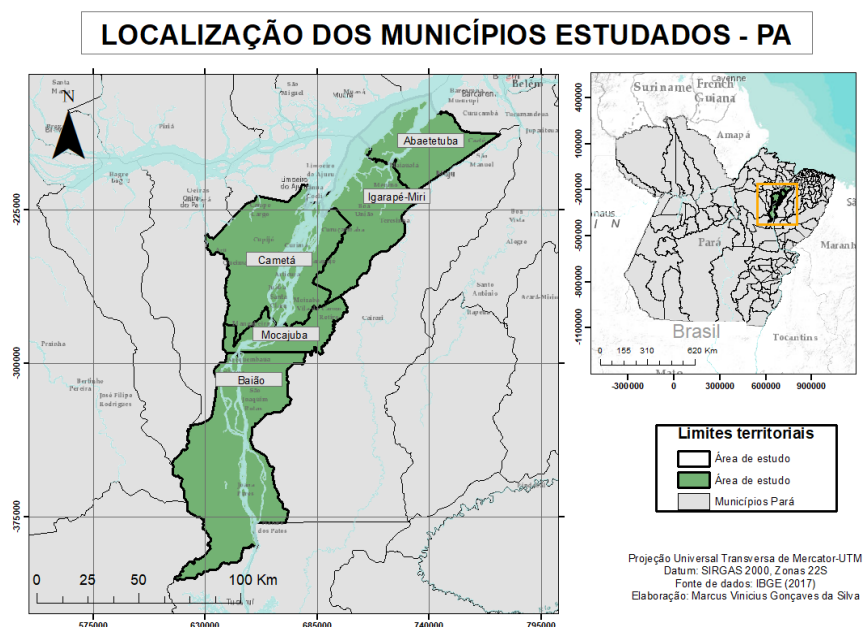
da terra, especialmente as classes vegetação secundária inicial, vegetação secundária avançada e agricultura anual de pequena escala para o ano de 2017;

3. Testar diferentes algoritmos de classificação de uso e cobertura da terra através do uso de imagens de cubo de dados, imagens de DRONE e algoritmo descritor do terreno HAND para estabelecer um método de classificação que melhor identifique e caracterize o açaí de várzea e de terra firme e;
4. Gerar um mapa final de uso e cobertura da terra, contendo as classes vegetação secundária inicial, vegetação secundária avançada, agricultura anual de pequena escala e de sistemas agroextrativistas baseado no açaí de várzea e terra firme para área de estudo para o ano de 2017.
5. Análise das dinâmicas de uso e cobertura da terra para os anos de 2004, 2014 e 2017 da área de estudo.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, representada abaixo na Figura 2.1, compreende 5 (cinco) município, estando intrinsecamente relacionado ao rio Tocantins, situados na região nordeste do estado do Pará conhecida como baixo Tocantins, sendo eles: Cametá, Mocajuba, Baião, Igarapé-Miri e Abaetetuba. Localizados nos tiles do Sentinel-2A: 22MFC, 22MFB, 22MGC, 22MGD.

Figura 2.1 – Área de estudo

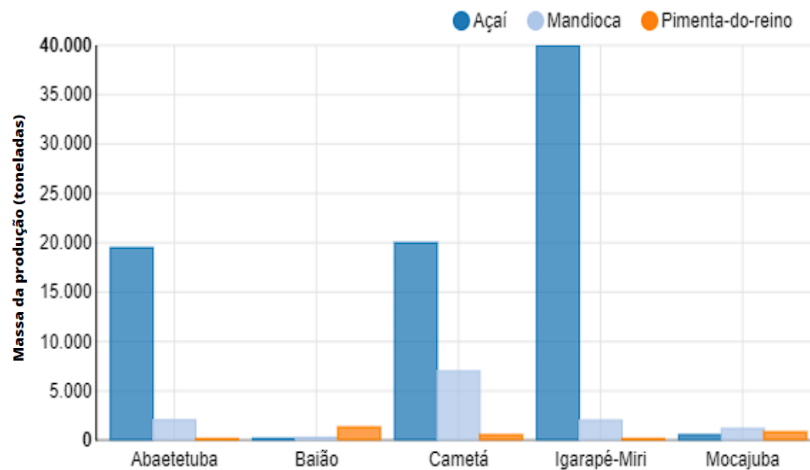


Fonte: Própria

a produção do açaí, abrange não apenas o cultivo, mas também o beneficiamento e a comercialização do produto, com a produção de polpa e a venda do açaí *in natura* para outras regiões do Brasil e até mesmo para o exterior. Essa atividade contribui para a balança comercial da região. Além disso, o açaí possui uma importância social e cultural significativa para as comunidades locais, sendo não apenas uma fonte de renda(G dos Santos Tavares, AKO Homma, 2015). Isso pode ser observado nas figuras a seguir (Figura 2.2, Figura 2.3 e Figura 2.4). Sendo representações gráficas obtidas através de dados do IBGE do ano de 2017 (Pesquisa Agrícola Municipal- PAM, Pesquisa da Pecuária Municipal- PPM e Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura- PEVS) que representam as dinâmicas econômicas e a influência do açaí no comércio local dos municípios listados acima.

Figura 2.2 - Produção agrícola municipal

Produção agrícola municipal

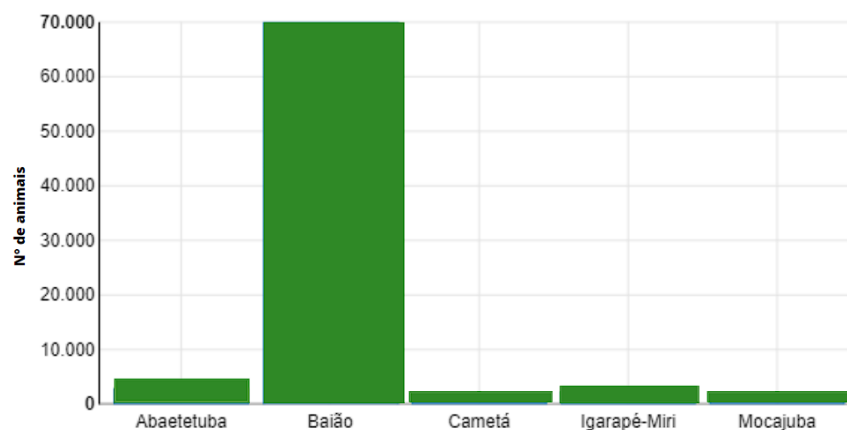


Fonte: IBGE- Produção agrícola municipal (2017).

Na figura anterior observa-se uma presença expressiva na produção do açaí onde a produção ocorre principalmente nos municípios de Igarapé-Miri, onde os valores estão na casa de 40.000 toneladas de açaí e Abaetetuba, juntamente a Cametá, em torno de 20.000 toneladas. Apesar de não ser tão expressiva em toneladas como o açaí, a produção agrícola na região é de grande importância para a economia, destacando-se o cultivo da mandioca e da pimenta-do-reino, especialmente nos municípios Baião e Mocajuba com valores menores que 5.000 toneladas.

Figura 2.3 - Pecuária

Pecuária

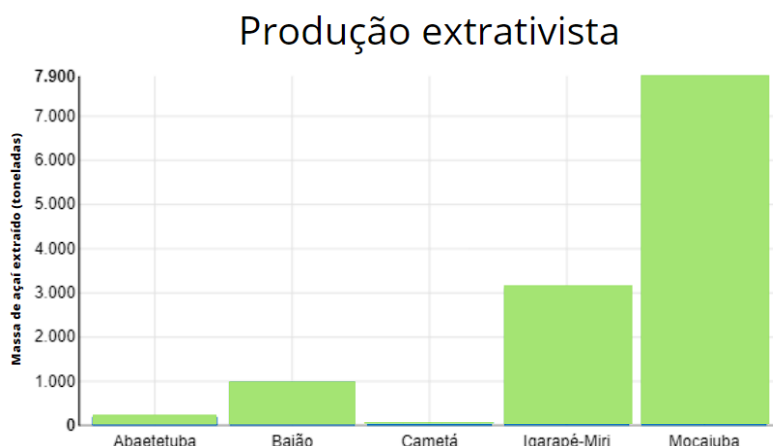


Fonte: IBGE- Pesquisa da pecuária municipal (2017).

Os dados da pecuária é de suma importância para o melhor entendimento das dinâmicas de uso da terra na região, uma vez que a criação de bovinos (Figura 2.3) impacta de maneira direta na paisagem, devido às mudanças que são feitas

na paisagem para que essa atividade seja exercida. Desse modo, destaca-se o município de Baião, onde se observa um alto número de cabeça de bovinos na região , chegando a 70.000 mil animais no ano de 2017.

Figura 2.4 - Produção extrativista



Fonte: IBGE- Produção da extração vegetal e da silvicultura (2017).

Na Figura 2.4 temos os dados de açaí extrativista, manejo extrativista do açaí é um processo que envolve a coleta cuidadosa e sustentável dos frutos das palmeiras, sem impactos adversos às plantas ou ao ambiente circundante. Os extrativistas empregam métodos que respeitam a planta mãe, assegurando sua regeneração natural e a perpetuação da espécie no ecossistema (MARTINOT et al, 2017). Dessa maneira, destaca-se, com um maior número de açaí extraído, o município de Mocajuba.

Nesse âmbito, destaca-se o município de Mocajuba pela notável extensão de extração do açaí. A produção agrícola do fruto mais notável está em Igarapé-Miri, Abaetetuba e Cametá, ao passo que as demais atividades agrícolas, como a mandioca e a pimenta-do-reino, exibem relevância econômica em todos os municípios mas de maneira menos expressiva quanto a quantidade produzida. A pecuária, especialmente em Baião, apresenta um rebanho bovino proeminente, alcançando 70.000 cabeças em 2017. Esses dados pecuários ostentam importância crucial na compreensão das dinâmicas territoriais, dada a influência direta da criação de bovinos na configuração da paisagem e no uso e cobertura da terra.

3 METODOLOGIA

Esta seção apresenta os materiais e os métodos utilizados para o desenvolvimento desse trabalho como o mapeamento das classes vegetação secundária inicial, vegetação secundária avançada e agricultura anual de pequena escala.

3.1 Materiais

Foram utilizados diferentes dados derivados do sensoriamento remoto. Estes dados estão descritos na tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Materiais

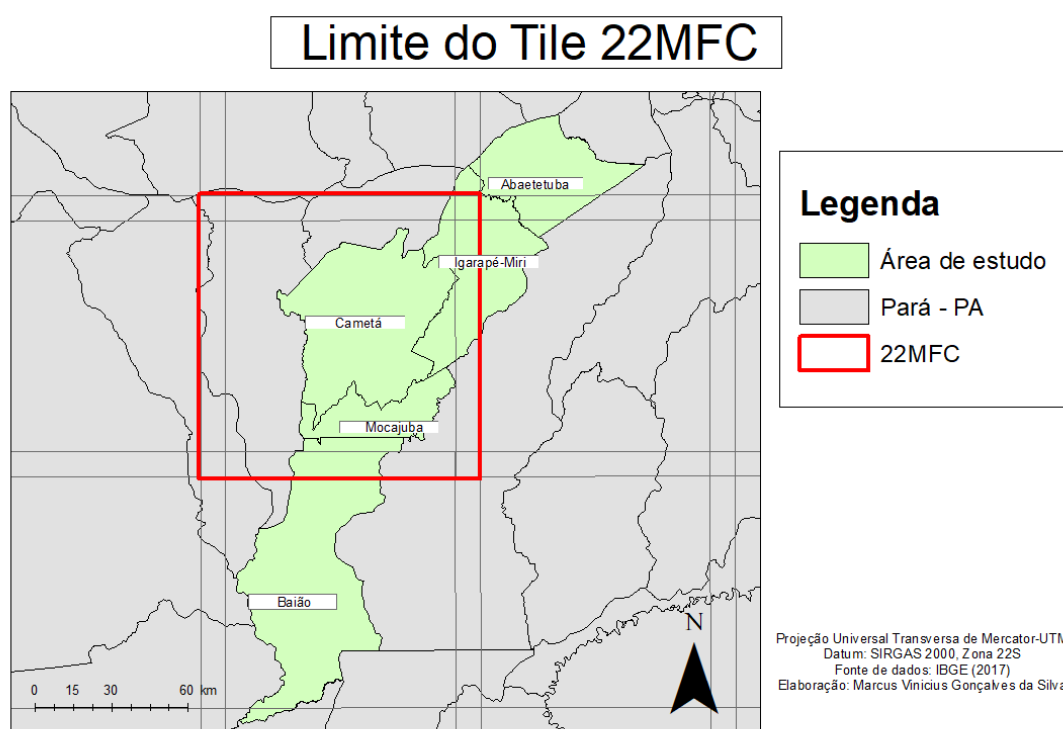
Tipos de dados	Dados	Ano	Fonte
Sensoriamento Remoto	Imagens do Sentinel-2A	2017	Mission Performance Center (MPC)
	Imagens do Google Earth	2017	Distribuída pela Agência espacial Francesa Centre National d'Études Spatiales- CNES
Temáticos	Máscara de área acumulada de supressão da vegetação nativa	2007	PRODES- INPE
Cartográficos	Limites municipais		IBGE
	Limites estaduais		

Fonte: Própria

3.2 Métodos

A abordagem metodológica utilizada para o mapeamento está dividida em 2 grandes etapas, as quais foram realizadas para uma área piloto que compreende ao tile 22MFC do Sentinel-2A que incorpora grande parte da área de estudo, como podemos observar na Figura 3.2 Para os processamentos foram utilizados: o sistema de informação geográfica (SIG) Qgis (Versão 3.26.) e *software* livre R.

Figura 3.2 – Tile estudado



Fonte: Própria

3.2.1 Coleta de amostras

Antes de iniciar a coleta de amostra foi elaborado um banco de dados no Qgis com informações geográficas da área de estudo como, informações do desmatamento, áreas de floresta e de não-floresta derivados do PRODES do ano de 2017, juntamente com arquivos do IBGE (*shapefiles* dos limites municipais e do estado do Pará), além de imagens do Sentinel-2A. Com base nas observações feitas sobre a imagem do Sentinel-2A foi desenvolvida uma chave de interpretação, a qual contempla as seguintes classes: Agricultura de

larga escala (AGLE), Agricultura de pequena escala (AGPE), Pasto limpo (PL), Pasto sujo ou com regeneração (PS), Vegetação secundária avançada (VSA), Vegetação secundária inicial (VSI), Área urbana (URB), Outros (OT), Água (AGUA) e psicultura (PSI).

3.2.2 Processamento de imagens e classificação

Uma das etapas iniciais do processamento de imagens consistiu em gerar e regularizar o cubo de dados com imagens do Sentinel-2A, que foram adquiridas em intervalos de 16. Esse processo foi realizado no ambiente Sits (*Satellite Image Time Series Analysis on Earth Observation Data Cubes*) utilizando a linguagem R. O cubo de dados foi gerado considerando os seguintes parâmetros.

- Período: 01-01-2017 , 31-01-2017
- Intervalo: 16 dias
- Tiles: 22MFC, 22MFB, 22MGC, 22MGD.
- Imagens: Sentinel-2^a

Para o cubo de dados, foram utilizadas as bandas espectrais, segmentos entre dois comprimentos de onda no espectro eletromagnético. Normalmente, o termo atribuído a uma banda espectral indica a região específica do espectro em que está posicionada (como infravermelho próximo, azul, verde, infravermelho térmico, entre outras), sendo elas: B02, B03, B04, B05, B06, B07, B08, B8A, B11, B12. Sendo comumente utilizadas no mapeamentos de uso e cobertura da terra, mostrando bons resultados em relação aos estudos de vegetação (QUARTAROLI et al. , 2014) . Podemos ver na Figura 3.2.2 as bandas e os seus respectivos comprimentos de ondas e nomes nas imagens do Sentiel-2A.

Figura 3.2.2 - Sensibilidade espectral.

Resolução	Nr da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nanômetro)	Combinações de Bandas
10 m	B02	Blue (Azul)	490	Cor Verdadeira RGB 04/03/02 Falsa Cor 1 e 2 RGB 08/04/03 e 04/08/03
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842	
20 m	B05	Red Edge 1	705	SWIR 1 RGB 12/11/8A
	B06	Red Edge 2	740	
	B07	Red Edge 3	783	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR 2	2190	
60 m	B01	Aerossol	443	—
	B09	Water Vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

Fonte: EngeSat – Soluções em imagens de satélites e geoprocessamento

Juntamente com as bandas, foram gerados os seguintes índices espectrais:

- NDVI (*Índice de Vegetação da Diferença Normalizada*): é utilizada para estimar a quantidade, a qualidade e o desenvolvimento de vegetação. A intensidade da radiação de certas bandas do espectro eletromagnético que emite ou reflete a vegetação é utilizada para verificar a quantidade de vegetação verde e sadia. Geralmente, quanto maior o contraste entre o comportamento espectral nessas duas regiões do espectro, maior vigor vegetativo na área estudada (IBRAHIN, 2014). índice expresso pela equação:

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

sendo amplamente utilizado no estudo da sucessão da vegetação, onde tem tido bons resultados na literatura.

- NBR (*Índice de Queimada Normalizada*): Índice expresso pela equação:

$$NBR = \frac{SWIR\ 2 - Red\ Edge\ 4}{SWIR\ 2 + Red\ Edge\ 4}$$

A faixa espectral no infravermelho próximo exibe uma baixa taxa de refletância quando confrontada com matéria orgânica submetida à combustão, como fragmentos lenhosos e folhas desidratadas, ao passo que registra uma alta taxa de refletância quando se trata de vegetação em estado saudável. Por outro lado, a faixa espectral no infravermelho de onda curta reflete matéria orgânica independentemente de suas condições, permitindo a padronização dos dados e o realce das áreas que sofreram o efeito do fogo. Sob essa perspectiva, a utilização das respostas espectrais distintas em cada faixa viabiliza a extensão das áreas atingidas pelas queimadas (SILVA; PESTANA; MARTINS, 2019). Sendo de suma importância para identificar agriculturas de pequena escala, pois após a colheita do açaí, é uma prática comum queimarem, de maneira controlada a área de plantio para “limpar” o lote.

- MLME (*Modelo Linear de Mistura espectral*): O modelo linear de mistura é uma abordagem usada no processamento de imagens de sensoriamento remoto para entender a composição espectral de um pixel da imagem. Ele considera que a radiação refletida ou emitida por uma área é uma combinação linear das contribuições espectrais de diferentes materiais presentes no pixel (SHIMABUKURO et al., 1998). Esse índice tem seu funcionamento a partir de endmembers que são valores de referência de acordo com cada classificação contida nele, sendo elas com seus respectivos endmember para cada banda:

Tabela 3.2.2 – Valores do MLME

		Bandas									
		B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B8A	B11	B12
Soil		839	1116	1278	1614	2142	2361	2474	2754	3198	2315
Vegetation		164	480	194	808	2142	2361	2474	2754	3198	2315
Shadow		110	193	119	108	26	35	10	10	26	2
		Endemenbers									

Fonte: Própria

Após a regularização do cubo (processo listado acima), iniciou-se o processo de classificação. Os testes foram realizados para um tile (22MFC), de realizar os primeiros testes de classificação e estipular possíveis ajustes que seriam necessários. Para isso foi utilizado o classificador *Random Forest* sendo um algoritmo de aprendizado de máquina que é usado tanto para tarefas de classificação quanto de regressão. Desse modo, cria várias árvores de decisão (*decision trees*) durante o treinamento e combina suas previsões para obter um resultado mais preciso e robusto. Cada árvore é construída usando uma amostra aleatória do conjunto de dados de treinamento e um subconjunto aleatório das características (atributos). A combinação das previsões das árvores ajuda a evitar o *overfitting* (ajuste excessivo) e a melhorar a generalização do modelo (BREIMAN, 2001).

3.2.3 Avaliação da classificação

Após o treinamento do classificador, aplicou-se o teste K-fold (BURMAN, 1989), para avaliar o modelo de classificação. Dividindo os dados em K subconjuntos, o modelo foi iterativamente treinado K vezes, usando K-1 subconjuntos para treinamento e 1 para teste. A média das métricas de

desempenho foi calculada, proporcionando avaliação abrangente e robusta do modelo, mitigando a influência da divisão inicial dos dados e garantindo avaliação imparcial e precisa do desempenho do modelo (CAMARA et al., 2010).

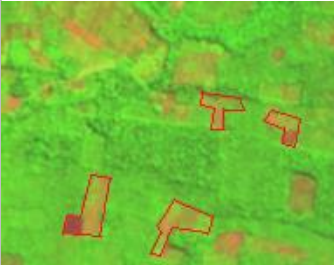
Feito isso, foram aplicadas as análises de desempenho do modelo utilizando a matriz de confusão, teste de acurácia e o coeficiente Kappa. A matriz de confusão é uma tabela que mostra a contagem de acertos e erros de um modelo de classificação em relação aos dados de teste. A acurácia é uma métrica que mede a proporção de predições corretas do modelo em relação ao total de predições. Já o coeficiente Kappa é uma medida que leva em consideração a concordância entre as predições do modelo e as classes reais, corrigindo a acurácia pela chance de acerto aleatório (MONARD et al., 2003). Essas análises são essenciais para avaliar a eficácia do modelo e sua capacidade de generalização.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são expostos os resultados obtidos com base nos testes realizados. O mapeamento do uso e cobertura da terra desempenha um papel fundamental na compreensão dos padrões da paisagem e na análise da dinâmica territorial, fornecendo informações essenciais para o planejamento econômico regional e a formulação de políticas adequadas.

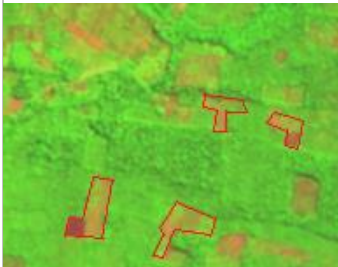
A tabela a seguir expressa a chave de identificação usada para a coleta de amostras.

Tabela 4 – Chave de Identificação

Agricultura de larga escala	Área com grande extensão de terra, relacionadas à produção de pimenta-do-reino e açaí em larga escala. Normalmente possui sua forma definida em polígonos e com variações entre os estádios de cultura.	• Forma: Regular, bem definidas e áreas grandes (maior que 100 ha). • Cor: Magenta ou verde limão. • Textura: Lisa ou levemente rugoso. • Pode apresentar diferentes estádios de cultivos (pimenta, açaí, cacau e etc.).	
Agricultura de pequena escala	Áreas de plantio é formada por pequenos talhões, associados à produção camponesa com cultivos de mandioca, pimenta-do-reino, açaí e outras culturas em menores proporções como milho, arroz e feijão. As áreas de produção camponesa possuem formas definidas de polígonos.	• Forma: regular bem definidas e áreas pequenas (menor que 2 ha). • Cor: Verde limão, magenta. • Textura: Lisa ou levemente rugoso. • Presença de diferentes culturas ou consórcios.	

Continua

Tabela 4 – Continuação

Agricultura de pequena escala	Áreas de plantio é formada por pequenos talhões, associados à produção camponesa com cultivos de mandioca, pimenta-do-reino, açaí e outras culturas em menores proporções como milho, arroz e feijão. As áreas de produção camponesa possuem formas definidas de polígonos.	• Forma: regular bem definidas e áreas pequenas (menor que 2 ha). • Cor: Verde limão, magenta. • Textura: Lisa ou levemente rugoso. • Presença de diferentes culturas ou consórcios.	
Água	Representa rios, lagos e lagoas.	• Forma: Irregular, sinuoso. • Cor: Azul escuro. • Textura: Liso.	

Continua

Tabela 4 – Continuação

Outros	Representa principalmente por banco de areia ao longo do curso do rio Tocantins e feições com característica de área ou afloramento rochoso.	• Forma: Irregular • Cor: Branco, tom de areia. • Textura: Liso ou com relevo aparente. • Bancos de areia. • Presente nas margens dos rios.	
Pasto limpo	Nesse tipo de pastagem predominam a vegetação herbácea podendo ter ou não arbustos baixos. Podendo ou não estar vinculado a criação de gado. Além disso pode apresentar leiras que indicam a limpeza e formação de pastagem.	• Forma: Regular, bem definidas e áreas grandes. • Cor: Magenta ou verde limão. • Textura: Lisa ou com rugosidade leve. • Presença das leiras.	

Continua

Tabela 4 – Continuação

Pasto sujo e com regeneração	Pasto sujo é representado por vegetação herbácea, arbustiva esparsa, podendo ocorrer ou não espécies arbóreas. Já a passagem com regeneração refere-se as áreas em que a vegetação nativa se encontra em estágio de regeneração com a presença de vegetação arbustivo e arbóreo	• Forma: Regular, bem definidas e áreas grandes. • Cor: Magenta, verde limão ou verde escuro. • Textura: Lisa com a presença de rugosidades.	
Área urbana	Locais de moradia e grande fluxo de pessoas, onde é possível encontrar casa, prédios, galpões, praças etc. Marcado pela presença de pavimentação nas ruas e diversas estradas formando bairros. Está relacionado a cidades, vilas, vilarejos, etc.	• Forma: Irregular, áreas grandes (cidades) ou pequenas (vilas e vilarejos). • Cor: Magenta, cinza e pode apresentar verde limão (bosques, parques, campos de futebol, etc.). • Textura: Quadriculado • Bem presente perto dos rios. • Presença de ruas e estradas.	

Continua

Tabela 4 – Continuação

Vegetação secundária avançada	Vegetação que não é caracterizada como a de origem do local, já foi cortada. Todavia, apresenta um alto índice de espécies arbóreas e alta densidade vegetal.	• Forma: Irregular, tamanho variável. • Cor: Verde escuro. • Textura: Rugosa. • Grandes extensões ou fragmentados. • Formação de sombras.	
Vegetação secundária inicial	Vegetação que não é caracterizada como a de origem do local, já foi cortada, apresentando vegetação rasteira com espécies gramíneas e arbustivas em sua maioria. Normalmente relacionada a áreas de plantio e pastagem.	• Forma: Irregular ou regular (próximo a plantações), geralmente pequenas. • Cor: Verde limão. • Textura: Lisa. • Vinculada a áreas de plantio.	

Continua

Tabela 4 – Continuação

Piscicultura	Região onde são encontrados tanques para a criação de peixes, relacionada com o consumo e venda como complemento de renda.	• Forma: Regular em formatos quadrangulares, geralmente pequenas. • Cor: Azul. • Textura: Lisa. • Pode apresentar variação no tom da coloração.	
--------------	--	--	---

Fonte: Própria

Posterior à elaboração da chave de interpretação, as amostras puderam ser coletadas de acordo com cada classe, visando manter uma pequena diferença entre a quantidade de amostras de cada classe, mantendo um equilíbrio entre as amostras para que seja evitada uma classificação tendenciosa por parte do classificador devido a diferentes números de amostras para cada classe.

A figura a seguir se refere à quantidade de amostras coletada em cada uma das classes.

Figura 4.1 – Quadro de amostras

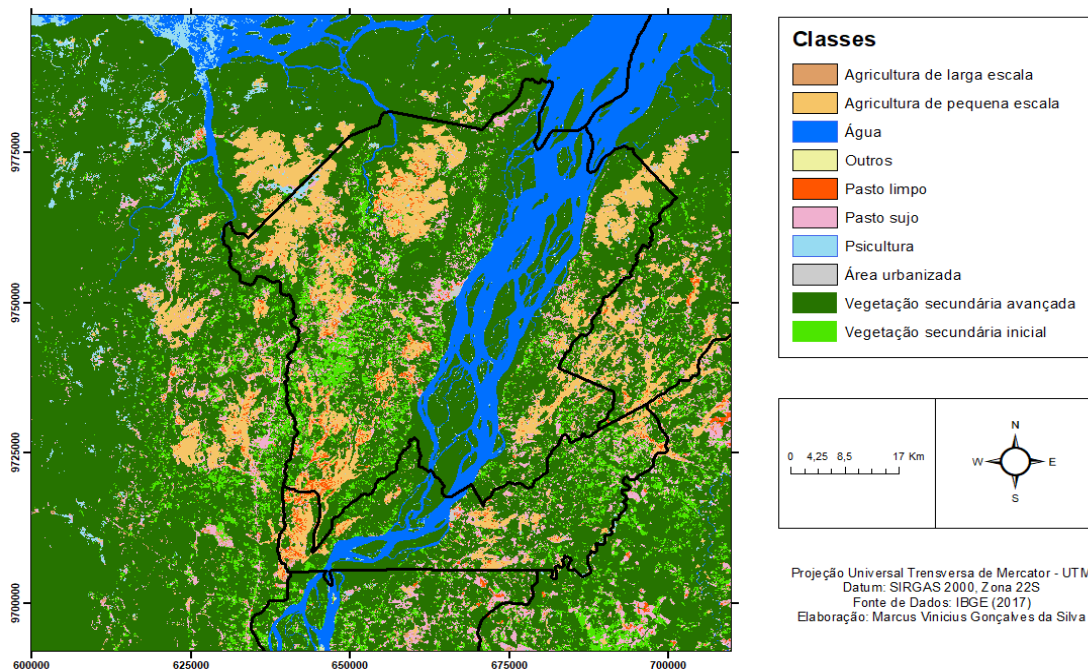
AGLE	AGPE	PL	PS
Agriculturas de larga escala Amostras: 31	Agriculturas de pequena escala Amostras: 33	Pastos limpos Amostras: 27	Pastos sujos ou com regeneração Amostras: 32
VSI	VSA	URB	OT
Vegetação secundária Inicial Amostras: 32	Vegetação secundária avançada Amostras: 32	Perímetro urbano Amostras: 29	Outros (banco de areia) Amostras: 27
	AGUA	PSI	
	Rios e demais fluxos d'água Amostras: 26	Tanques de criação de peixes Amostras: 29	

Fonte: Própria

A partir da abordagem metodológica realizou-se o mapeamento do uso e cobertura da terra da área de estudo (tile 22MFC). em que o resultado espacial é apresentada na Figura 4.2 A seguir na Figura 4.3 e Tabela 4.1 onde é possível analisar os resultados expressos pelo classificador.

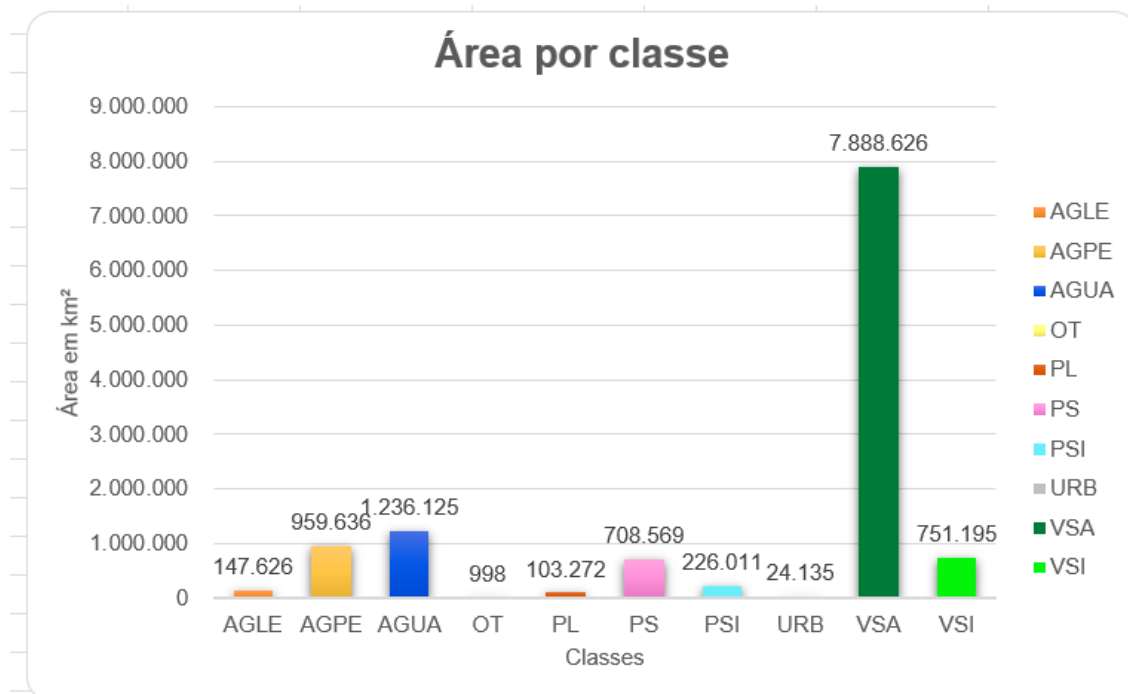
Figura 4.2 – Classificação inicial da área estudo: Random Forest

CLASSIFICAÇÃO INICIAL DA ÁREA DE ESTUDO



Fonte: Própria

Figura 4.3 – Área por classe



Fonte: Própria

Tabela 4.1 – Área por classe

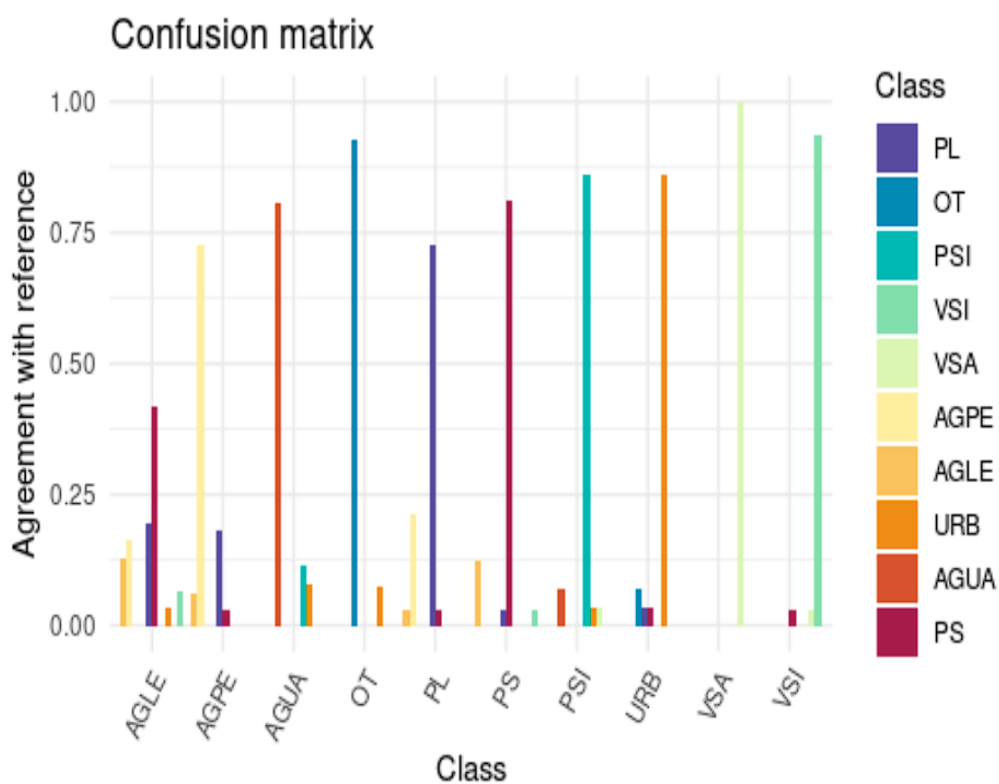
AGLE	147.626 km²
AGPE	959.636 km²
AGUA	1.236.125 km²
OT	998 km²
PL	103.272 km²
PS	708.569 km²
PSI	226.011 km²
URB	24.135 km²
VSA	7.888.626 km²
VSI	751.195 km²

Fonte: Própria

Analisando os dados fornecidos, observamos que algumas classes apresentam valores de áreas mais expressivos do que outras. Dentre elas, destaca-se "VSA" com uma área de 7.888.626 km², o que a coloca como a de maior extensão. Em seguida, temos "AGUA" com 1.236.125 km² e "AGPE" com 959.636 km², reforçando a sua relevância em termos de área abrangida. Por outro lado, "OT", "PL", e "PSI" possuem áreas menos expressivas, com valores de 998 km², 103.272 km² e 226.011 km², respectivamente.

Durante a análise visual do mapeamento (Figura 4.1), foram observados resultados expressivos, especialmente para as classes associadas aos estágios da vegetação secundária e agricultura de pequena escala. Os dados revelaram padrões e características significativas, destacando a importância dessa classe no contexto do estudo. No entanto algumas confusões ocorreram e podem ser observadas na Figura 4.4 e Figura 4.5

Figura 4.4- Matriz de confusão



Fonte: Própria

Figura 4.5 – Valores da matriz de confusão

Classe	Predições									
	PL	OT	PSI	VSI	VSA	AGPE	AGLE	URB	AGUA	PS
PL	24	0	0	0	0	6	6	1	0	1
OT	0	25	0	0	0	0	0	2	0	0
PSI	0	0	25	0	0	0	0	0	3	0
VSI	0	0	0	30	0	0	2	0	0	1
VSA	0	0	1	1	32	0	0	0	0	0
AGPE	7	0	0	0	0	24	5	0	0	0
AGLE	1	0	0	0	0	2	4	0	0	4
URB	0	2	1	0	0	0	1	25	2	0
AGUA	0	0	2	0	0	0	0	0	21	0
PS	1	0	0	1	0	1	13	1	0	26

Fonte: Própria

Analisando os resultados da validação cruzada (K-Fold), identificamos as principais discordâncias entre as classes. Essas divergências incluem: 1) Agricultura de pequena escala com Pasto limpo (15,78%) e com Agricultura de larga escala (15,78%); 2) Vegetação secundária inicial com Agricultura de larga escala (6,06%) e Pasto limpo (3,03%); e 3) Vegetação secundária avançada com Piscicultura (2,94%) e Vegetação Secundária Inicial (2,94%). Esses resultados destacam a importância de uma análise cuidadosa para melhor compreender a classificação das diferentes classes de interesse. Além disso, os resultados mostram a necessidade de se pensar em estratégias para melhorar o mapeamento da Piscicultura, diminuindo a confusão com classe bem distinta. Quanto aos testes de acurácia global e o coeficiente Kappa, sus valores são específicos de acordo com cada caso, oque pode ser descrito na ISO 19157, é uma norma internacional que trata de qualidade de dados geoespaciais e fornece diretrizes para avaliar a qualidade de dados. No entanto, a norma não especifica valores numéricos específicos para acurácia global, pois a determinação da acurácia aceitável pode variar de acordo com o contexto, aplicação e tipo de dados. Todavia de acordo com LUZ, N. B. da et al. (2018) um valor de limiar

mínimo de acurácia global pode ser estabelecido em 80%. Logo, os resultados dos teste nos revelam uma acurácia global de 78% da classificação e um coeficiente Kappa de 75%, evidenciando uma pequena disparidade com um possível valor de referência a ser adotado.

Dito isso, os teste aplicados estão revelando um mecanismo de classificação que pode vir a auxiliar na classificação do uso e cobertura da terra, oque pode ser um fator importante na tomada de decisões política e até mesmo para que se possa compreender onde ocorre e como ocorre agriculturas de pequena escala que estão intimamente ligadas a economia da população local. Podendo assim trazer uma melhor gestão dos recursos disponíveis e auxiliar quem pratica esse tipo de produção.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos até o momento demonstram um bom desempenho do modelo, com uma acurácia global de 78% e um coeficiente Kappa de 75%. No entanto, é importante ressaltar que ainda há espaço para melhorias e refinamentos no método. Apesar disso, os resultados já apresentam uma perspectiva promissora, mostrando-se interessantes para o desenvolvimento do estudo já que o mapeamento do uso e cobertura da terra é uma tarefa complexa e desafiadora.

Com a realização de ajustes nas amostras e teste de outros algoritmos de classificação, busca-se alcançar uma maior precisão e confiabilidade no mapeamento. uma revisão minuciosa das amostras utilizadas será realizada com o intuito de promover um melhor balanceamento das classes, mitigando possíveis enviesamentos e otimizando os resultados. Essa etapa é de grande relevância, uma vez que a representatividade adequada das classes é fundamental para a precisão e confiabilidade do mapeamento. Além disso, testes adicionais com outros classificadores, tais como o LightTAE e o *Support Vector Machine* (SVM), serão conduzidos a fim de aperfeiçoar a classificação do mapeamento do uso e cobertura da terra na região do Baixo Tocantins. Essa abordagem visa comparar o desempenho dos diferentes algoritmos e identificar o que melhor representa as características específicas da área de estudo. Com

o propósito de abranger de forma mais completa a diversidade das práticas agrícolas e extrativistas na região do Baixo Tocantins.

Dessa maneira, com a realização desses testes adicionais e aprimoramentos nas amostras e procedimentos de classificação, visamos elevar o nível de precisão e acurácia do mapeamento do uso e cobertura da terra na região. O resultado desse estudo terá implicações importantes no planejamento econômico regional e na gestão sustentável do território, fornecendo informações valiosas para a tomada de decisões e a implementação de políticas públicas eficazes na região do Baixo Tocantins.

6 BIBLIOGRAFIA

CAMARA, Gilberto et al. Sits: Satellite Image Time Series Analysis on Earth Observation Data Cubes. [Data da última compilação: 21 de junho de 2023]. ALMEIDA, R. Amazônia, Pará e o mundo das águas do Baixo Tocantins. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 291–298, 2010.

IBGE. **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>. Acesso em: 29 mar. 2023.

INPE. **TerraClass**. Disponível em: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php. Acesso em: 31 dez. 2023.

VILAS BOAS, L. G. DIFERENÇAS E SEMELHANÇAS ENTRE A AGRICULTURA FAMILIAR E A AGRICULTURA CAMPONESA. **Geografia em Questão**, [S. l.], v. 15, n. 01, 2022. DOI: 10.48075/geoq.v15i01.24963. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/24963>. Acesso em: 31 jul. 2023.

MENEZES, L. C.; SANTOS, L. G. B. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo da vegetação. **Oficina de Textos**. 2010.

MONARD, Maria Carolina; BARANAUSKAS, José Augusto. Conceitos Sobre Aprendizado de Máquina. **Sistemas Inteligentes Fundamentos e Aplicações**. 1 ed. Barueri-SP: Manole Ltda, 2003. p. 89-114. ISBN 85-204-168.

LUZ, N. B. da et al. Manual de Análise de Paisagem: Volume 2: Procedimentos Para a Execução Do Controle de Qualidade Do Mapeamento de Uso e Cobertura Da Terra. 2018.

GOMES, F. F.; GARCIA, G. J.; SILVA, J. K. Comercialização do açaí no estado do Pará: alguns comentários. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, 2015.

TAVARES, G. dos S.; HOMMA, A. K. O. Comercialização do açaí no estado do Pará: alguns comentários. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, 2015.

MARTINOT, J. F. et al. Coletar ou cultivar: as escolhas dos produtores de açaí-da-mata (Euterpe precatoria) do Amazonas. **Revista De Economia E Sociologia Rural**, v. 55, n. 4, p. 751–766, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550408>.

SILVA, F. et al. Sensoriamento remoto para detecção de queimadas no cerrado maranhense: uma aplicação no Parque Estadual do Mirador. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 13, n. 2, p. 90-105, 2019. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rqa/article/view/5759/2747>.

Shimabukuro, Y. E.; Novo, E. M.; Ponzoni, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. SUPPL. 2, p. 1729-1737, 1998

Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. Fraction images derived from landsat tm and mss data for monitoring reforested areas. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v. 21, n. 1, p. 67-74, 1995.

BREIMAN, L. Random Forests. *Machine Learning*. **Kluwer Academic Publishers**. v. 45, p. 5-32, 2001

COSTA, F. DE A. Contributions of fallow lands in the Brazilian Amazon to CO2 balance, deforestation and the agrarian economy: Inequalities among competing land use trajectories. **Elementa: Science of the Anthropocene**, v. 4, 2016.

BRONDÍZIO, E. S. Açaí palm fruit: From a staple to fashionable food. In: BRONDÍZIO, E. S. (Ed.). . **The Amazonian Caboclo and the açaí palm: Forest Farmers in the Global Market**. New York: New York Botanical Garden Press, 2008. p. 402.

COSTA, F. DE A. Contributions of fallow lands in the Brazilian Amazon to CO2 balance, deforestation and the agrarian economy: Inequalities among competing land use trajectories. **Elementa: Science of the Anthropocene**, v. 4, 2016.

PORTO, H. C.; SOUZA, A. R.; ESCADA, M. I. S. **Análise da dinâmica de uso e cobertura da terra associada aos sistemas agroflorestais e agrícolas de pequena escala na região do nordeste do Pará: o período de 2004 a 2016.**

São José dos Campos: INPE, 2020. 20 p. Bolsa PIBIC/INPE/CNPq. IBI: <8JMKD3MGP3W34R/443G3C8>. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/443G3C8>>.

SANTOS, G. V. S.; ESCADA, M. I. S.; SOUZA, A. R. Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra associada às atividades produtivas extrativistas e à agricultura de pequena escala: a região de Mocajuba e Cametá, no nordeste do Pará. In: Seminário de iniciação científica e iniciação em desenvolvimento tecnológico e inovação (SICINPE), 2019, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019. On-line. Bolsa PIBIC/INPE/CNPq. IBI: <8JMKD3MGPDW34R/3U53EDL>. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGPDW34R/3U53EDL>>.

SOUZA, A. R. DE et al. Cartografia do Invisível: Revelando a Agricultura de Pequena Escala com Imagens Rapideye na Região do Baixo Tocantins, PA. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 38, p. 137–153, 2019.