



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21d/2021/08.27.15.26-TDI

EXPANSÃO DA AGRICULTURA DE LARGA ESCALA NA BACIA DO RIO CURUÁ-UNA (PA): DINÂMICA AGRÁRIA E SUAS IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS

Danielle Silva de Paula

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pelas Dras. Maria Isabel Sobral
Escada, e Jussara de Oliveira
Ortiz, aprovada em 18 de agosto
de 2021.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/45BAN3P>>

INPE
São José dos Campos
2021

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)
Divisão de Biblioteca (DIBIB)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

Membros:

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21d/2021/08.27.15.26-TDI

EXPANSÃO DA AGRICULTURA DE LARGA ESCALA NA BACIA DO RIO CURUÁ-UNA (PA): DINÂMICA AGRÁRIA E SUAS IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS

Danielle Silva de Paula

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pelas Dras. Maria Isabel Sobral
Escada, e Jussara de Oliveira
Ortiz, aprovada em 18 de agosto
de 2021.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/45BAN3P>>

INPE
São José dos Campos
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Paula, Danielle Silva de.

P281e Expansão da agricultura de larga escala na bacia do rio Curuá-Una (PA): dinâmica agrária e suas implicações ambientais / Danielle Silva de Paula. – São José dos Campos : INPE, 2021.

xxii + 136 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2021/08.27.15.26-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2021.

Orientadoras : Dras. Maria Isabel Sobral Escada, e Jussara de Oliveira Ortiz.

1. Unidades de paisagem de produção. 2. Uso e cobertura da terra. 3. Agricultura de larga escala. 4. Intensificação. I.Título.

CDU 528.8:332.3(811.5)



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**
Serviço de Pós-Graduação - SEPGR**DEFESA FINAL DE DISSERTAÇÃO DE DANIELLE SILVA DE PAULA**
BANCA Nº 207/2021, REG 143774/2019

No dia 18 de agosto de 2021, às 09h00min, por teleconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestra em Sensoriamento Remoto. O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca Examinadora e revisão final pelo(s) orientador(es).

Título: “EXPANSÃO DA AGRICULTURA DE LARGA ESCALA NA BACIA DO RIO CURUÁ-UNA (PA): DINÂMICA AGRÁRIA E SUAS IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS”

Membros da banca:

Dra. Silvana Amaral Kampel - Presidente - INPE
Dra. Maria Isabel Sobral Escada - Orientadora - INPE
Dra. Jussara de Oliveira Ortiz - Orientadora - INPE
Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro - Membro Interno - INPE
Dra. Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo - Membro Interno - INPE
Dr. Danilo Araújo Fernandes - Membro Externo - UFPA/ICSA



Documento assinado eletronicamente por **Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo, Pesquisador**, em 19/08/2021, às 17:53 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Miguel Vieira Monteiro, Pesquisador**, em 19/08/2021, às 21:35 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Silvana Amaral Kampel, Pesquisadora**, em 20/08/2021, às 15:02 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Isabel Sobral Escada, Tecnologista**, em 21/08/2021, às 08:12 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jussara de Oliveira Ortiz, Pesquisadora**, em 24/08/2021, às 11:32 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Documento assinado eletronicamente por **Danilo Araujo Fernandes (E), Usuário Externo**, em



13/09/2021, às 14:17 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://sei.mctic.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **7976542** e o código CRC **9F9FDD8C**.

Referência: Processo nº 01340.005220/2021-74

SEI nº 7976542

“Da minha aldeia vejo quanto da terra se pode ver no
Universo...
Por isso a minha aldeia é tão grande como outra terra
qualquer
Porque eu sou do tamanho do que vejo
E não do tamanho da minha altura...

Nas cidades a vida é mais pequena
Que aqui na minha casa no cimo deste outeiro.
Na cidade as grandes casas fecham a vista à chave,
Escondem o horizonte, empurram o nosso olhar para longe
de todo o céu,
Tornam-nos pequenos porque nos tiram o que os nossos
olhos nos podem dar,
E tornam-nos pobres porque a nossa única riqueza é ver.”

Alberto Caeiro

A meus avós maternos, Vó Maria e Vô Antônio (in memoriam)

A meus avós paternos, Vó Aparecida e Vô Roberto

A minha Tia Avó Maria (in memoriam)

A meus pais, Rosilene e Valter de Paula

A meu irmão, Matheus de Paula.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e Nossa Senhora de Aparecida, por terem me abençoado, iluminado e protegido durante esta caminhada.

À Dra. Maria Isabel Sobral Escada, por me orientar durante todo este processo, sendo compreensiva, dedicada e motivadora, pois sempre me ajudou a superar minhas dificuldades e limitações, me guiando com toda atenção, sempre que solicitada.

À Dra. Jussara de Oliveira Ortiz, minha primeira orientadora no Instituto, que em 2016, junto com o Dr. Sergio Rosim, introduziram-me ao Sensoriamento Remoto. Desde então, sempre me incentivando, orientando e apoiando.

Ao Mestre Renê Antonio Novaes Junior, que desde o primeiro dia da graduação, viu em mim o potencial para seguir nesta linha acadêmica, abrindo meus olhos para o mundo através da Geografia, fazendo-se presente em todos os momentos durante este processo.

A todos os meus colegas de turma e do LISS (Laboratório de Investigação em Sistemas Socioambientais), em especial, à Mestre Mariane Souza Reis e Mestre Anielli Rosane de Souza, por sempre estarem dispostas a ajudar e compartilhar suas experiências. Às minhas amigas, Mestre Cândida Leite e Mestre Ana Larissa Freitas, vocês são incríveis!

Às minhas amigas da sala 17, Mestre Noeli A. P. Moreira e Mestre Bruna Cristina Braga, vocês foram e são muito importantes nesta trajetória.

Aos docentes do INPE, em especial ao Dr. Antonio Miguel Vieira Monteiro, Dr. Sidnei João Siqueira Sant'Anna, Dr. Laércio Massaru Namikawa, Dr. Thales Sehn Körting e Dra. Silvana Amaral Kampel, por transmitirem seus conhecimentos e se dedicarem tanto aos alunos. A todos funcionários do INPE, que participam da nossa rotina e dividem essa experiência.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

RESUMO

No final dos anos 1990, inicia-se a expansão da produção de grãos no Bioma Amazônia, por meio da agricultura mecanizada e de larga escala. Como resultado, observam-se importantes mudanças na paisagem, com sua homogeneização, concentração de terras e o avanço da agricultura de larga escala (AGLE) sobre outras formas de produção. Na região Sudoeste do Pará, esse processo ocorre mais intensamente nas proximidades das sedes dos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Curuá-Una, unidade de análise deste trabalho. Considerando este contexto, esse estudo se propôs a avaliar e caracterizar a expansão da AGLE e seus efeitos sobre a perda de cobertura florestal, os sistemas agropecuários e extrativistas e a diversidade da paisagem. O estudo baseia-se no desenvolvimento de uma tipologia de Unidades de Paisagem de Produção (PLU's), que é utilizada como proxy das trajetórias tecno-produtivas propostas por Costa (2009) e representadas por células de tamanho de 9 km². Os procedimentos foram desenvolvidos em três etapas: 1) classificação semiautomática de imagens TM/OLI Landsat do ano de 2019 e refinamento de dados de uso e cobertura da terra do TerraClass, relativos aos anos 2000 e 2010; 2) desenvolvimento de uma tipologia de PLU's e seu mapeamento por meio de técnicas de mineração de dados; 3) análise das transições e dinâmicas espaço-temporais do uso e cobertura da terra e das PLU's. Os resultados mostram o crescimento da AGLE entre 2000 e 2019, de 23 km² para 1.093 km². As classes com maior proporção de conversão para AGLE, entre 2000 e 2019, foram pasto (38%) e vegetação secundária (31%). Nesse período, estima-se uma perda total de 4.704 km² (18,5%) de Floresta. Das áreas ocupadas pela AGLE em 2019, 27% (298 km²) eram provenientes de Floresta em 2000. A agricultura de pequena escala (AGPE) perdeu 26% (24 km²) de área para AGLE em 2019. As PLU0, PLU1 e PLU2 foram as que mais perderam área, enquanto as PLU2, PLU3/3a e PLU5a, foram as que mais ganharam. Poucas áreas de PLU0 (floresta) foram convertidas diretamente para PLU5/5a (36 km²). Esses resultados sugerem que a conversão de terras das PLU2 e PLU3/3a para PLU5/5a, na região do Planalto, pode ter levado, indiretamente, à expansão das PLU2 e PLU3/3a sobre áreas florestais (PLU0) e/ou agroextrativistas (PLU1), para o interior da bacia. Em relação aos índices de diversidade de paisagem estimados para as PLU5/5, ao contrário do que se esperava, foram similares aos das PLU's não florestais. Observa-se em 2010 e 2019 que a AGPE persiste e coexiste na área em que a PLU5/5a se estabeleceu. Entretanto, sabe-se que é frágil o equilíbrio entre sistemas de produção que apresentam grandes assimetrias, em relação ao capital e às tecnologias empregadas, sendo necessário adotar políticas que valorizem e fortaleçam os modos de produção camponês, em especial, os de base florestal.

Palavras-chave: Unidades de Paisagem de Produção. Uso e cobertura da Terra. Agricultura de larga escala. Intensificação.

EXPANSION OF LARGE-SCALE AGRICULTURE IN THE CURUÁ-UNA RIVER BASIN (PA): AGRICULTURAL DYNAMICS AND ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS

ABSTRACT

In the late 1990s, grain production started to expand in the Amazon Biome, through mechanized and large-scale agriculture. As a result, important changes are observed in the landscape, with its homogenization, concentration of land and the advance of large-scale agriculture (LSA) over other forms of production. In the southwest region of Pará, this process occurs more intensely in the vicinity of the cities of Santarém, Belterra and Mojuí dos Campos, which are part of the hydrographic basin of the Curuá-Una river, the unit area of analysis of this work. Considering this context, this study aimed to evaluate and characterize the expansion of LSA and its effects on the loss of forest cover, agricultural and extractive systems and changes on landscape diversity. The study is based on the development of a typology of Production Landscape Units (PLU's), which is used as a proxy for the techno-productive trajectories proposed by Costa (2009) and represented by cells with a size of 9 km². The procedures were developed in three steps: 1) semi-automatic classification of TM/OLI Landsat images for 2019 and refinement of TerraClass land use and cover data for 2000 and 2010; 2) development of a PLU's typology and PLU's mapping through data mining techniques; 3) analysis of transitions and spatial-temporal dynamics of land use and land cover and PLU's. The results show the growth of LSA between 2000 and 2019, from 23 km² to 1,093 km². The classes with the highest proportion of conversion to AGLE between 2000 and 2019 were pasture (38%) and secondary vegetation (31%). During this period, a total loss of 4,704 km² (18.5%) of Forest is estimated. Of the total area occupied by LSA in 2019, 27% (298 km²) came from Forest in 2000. Small-scale agriculture (SSA) lost 24 km² (26%) to LSA from 2000 to 2019. The PLU0, PLU1 and PLU2 were the ones that lost the most area, while the PLU2, PLU3/3a and PLU5a, were the ones that gained the most. Few areas of PLU0 (forest) were directly converted to PLU5/5a (36 km²). These results suggest that the conversion of land from PLU2 and PLU3/3a to PLU5/5a, in the Planalto region, may have indirectly led to the expansion of PLU2 and PLU3/3a over forest (PLU0) and/or agroextractive (PLU1) areas, into the basin. Regarding the estimated landscape diversity indices for PLU5/5, contrary to what was expected, they were similar to non forest PLUs. We can observe that in 2010 and 2019 SSA persists and coexists in the area where the PLU5/5a was established. However, it is known that the balance between production systems that present great asymmetries, in relation to capital and technology, is fragile, and it is necessary to adopt policies that value and strengthen peasant production methods, especially those based on forest resources.

Keywords. Production Landscape Units. Land Use and Land Cover. Large-scale agriculture. Intensification.

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 2.1: Exemplo de cobertura florestal com diferentes tipos de usos.....	9
Figura 2.2: Processo de conversão da cobertura da terra.....	10
Figura 2.3: Processo de modificação da cobertura da terra: degradação florestal.....	10
Figura 2.4: Processo de intensificação do uso e cobertura da terra.....	11
Figura 2.5: Linha do tempo do histórico de ocupação na Amazônia.....	13
Figura 3.1: Área de estudo.....	33
Figura 3.2: Recobrimento da bacia considerando os limites de cada cena Landsat.....	37
Figura 3.3: Fluxograma com procedimentos metodológicos empregados	39
Figura 3.4: Reclassificação e refinamento do TerraClass.....	41
Figura 3.5: Procedimentos para o refinamento das classes mosaico de ocupações e área não observada, do TerraClass.....	43
Figura 3.6: Procedimentos adotados para a classificação das cenas que compõe a área de estudo em 2019.....	46
Figura 3.7: Fluxograma metodológico da etapa 2.....	50
Figura 3.8: Exemplo de matriz de transição.....	51
Figura 4.1: Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2000.....	63
Figura 4.2: Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2010.....	64
Figura 4.3: Resultado da classificação do uso e cobertura da terra em 2019.....	65
Figura 4.4: Área das classes de uso e cobertura dos anos analisados....	67
Figura 4.5: Diagrama de Sankey dos anos 2000 para 2019.....	68
Figura 4.6: Histograma de Ganho e perda no período de 2000 até 2019.	68

Figura 4.7:	Exemplo de mosaico de usos e cobertura da terra relacionado à AGPE com registros de campo e nas imagens Landsat.....	70
Figura 4.8:	Diagrama de Sankey dos anos 2000 a 2010.....	72
Figura 4.9:	Gráfico de perda e ganho de 2000 para 2010.....	73
Figura 4.10:	Diagrama de Sankey dos anos 2010 para 2019.....	75
Figura 4.11:	Gráfico de perda e ganho de 2010 para 2019.....	76
Figura 4.12:	Área das classes X número de interações do boosting.....	85
Figura 4.13:	Resultado da classificação das PLU's de 2000.....	90
Figura 4.14:	Resultado da classificação das PLU's de 2010.....	91
Figura 4.15:	Resultado da classificação das PLU's de 2019.....	92
Figura 4.16:	Áreas ocupadas pelas PLU's para os anos de 2000, 2010 e 2019 na Bacia do Curuá-Una.....	93
Figura 4.17:	Área cultivada de Arroz e Soja em Santarém.....	95
Figura 4.18:	Gráfico de perda e ganho de área das PLU's para 2000 a 2010.....	99
Figura 4.19:	Transição das áreas das PLU's entre 2000 e 2010.....	101
Figura 4.20:	Gráfico de perda e ganho de área das PLU para o período de 2010 a 2019.....	102
Figura 4.21:	Transição entre 2010 e 2019.....	104
Figura 4.22:	Gráfico de perda e ganho de 2000 para 2019.....	105
Figura 4.23:	Transição entre 2000 e 2019.....	106
Figura 4.24:	Mapa das transições para PLU5a e 5 entre 2000 e 2019.....	108
Figura 4.25:	Mapa do Índice de Diversidade de Shannon estimados para 2000, 2010 e 2019.....	111
Figura 4.26:	Boxplots da classe de floresta em cada PLU.....	114
Figura 4.27:	Boxplots da classe de vegetação secundária em cada PLU...	115

Figura 4.28:	Boxplots da classe do Índice de Shannon para cada PLU.....	116
Figura A.1:	Uma das árvores de decisão obtida a partir de 99 interações.....	132
Figura B.1:	Teste Dunn para as classes analisadas em 2000.....	133
Figura B.2:	Teste Dunn para as classes analisadas em 2010.....	134
Figura B.3	Teste Dunn para as classes analisadas em 2010.....	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1:	Descrição das classes utilizadas no TerraClass.....	17
Tabela 2.2:	Definições das Trajetórias tecnológicas.....	26
Tabela 2.3:	Tipologias de padrões de uso e cobertura da terra associadas às atividades econômicas agropecuárias e extrativistas.....	28
Tabela 3.1:	Imagens e dados utilizados para o mapeamento e refinamento do uso e cobertura da Terra.....	35
Tabela 3.2:	Dados utilizados para a classificação das PLU's.....	37
Tabela 3.3:	Valores dos parâmetros utilizados na segmentação.....	45
Tabela 3.4:	Parâmetros utilizados para segmentação das cenas de 2019.....	47
Tabela 4.1:	Matriz de confusão do ano 2000.....	55
Tabela 4.2:	Exatidão por classe do refinamento de 2000.....	56
Tabela 4.3:	Matriz de confusão do ano 2010.....	57
Tabela 4.4:	Exatidão por classe do refinamento de 2010.....	57
Tabela 4.5:	Matriz de confusão da cena A.....	58
Tabela 4.6:	Avaliação da exatidão por classe da cena A.....	58
Tabela 4.7:	Matriz de confusão da cena B.....	60
Tabela 4.8:	Avaliação da exatidão por classe da cena B.....	60
Tabela 4.9:	Matriz de confusão da cena C.....	60
Tabela 4.10:	Avaliação da exatidão por classe da cena C.....	61
Tabela 4.11:	Matriz de confusão da cena D.....	61
Tabela 4.12:	Avaliação da exatidão por classe da cena D.....	61
Tabela 4.13:	Matriz de transição de 2000 a 2019.....	67
Tabela 4.14:	Transição de 2000 para 2010.....	72

Tabela 4.15:	Transição de 2010 para 2019.....	75
Tabela 4.16:	Definições das PLU's.....	84
Tabela 4.17:	Matriz de confusão da classificação das PLU's de 2000.....	87
Tabela 4.18:	Matriz de confusão da classificação das PLU's de 2010.....	88
Tabela 4.19:	Matriz de confusão da classificação das PLU's de 2019.....	89
Tabela 4.20:	Legenda das matrizes de transição.....	98
Tabela 4.21:	Avanço da AGLE sobre os sistemas de produção de 2000 para 2019.....	109
Tabela A.1:	Métricas utilizadas na mineração de dados.....	131

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo geral.....	5
1.2	Organização do documento.....	6
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1	Definições e conceitos associados ao uso e cobertura da terra	8
2.1.1	Mudança de uso e cobertura da terra.....	9
2.2	Histórico de ocupação e o desmatamento na Amazônia.....	12
2.3	Monitoramento do uso e cobertura da terra na Amazônia.....	16
2.4	Métodos e técnicas utilizadas para a classificação da agricultura de pequena escala	18
2.4.1	Métricas para caracterização da estrutura e composição da paisagem.....	21
2.4.2	Tipologias de padrões de uso e cobertura da terra associadas a atividades econômicas agropecuárias e extrativistas.....	22
2.4.3	Mineração de dados para o mapeamento de padrões de uso e cobertura da terra	29
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Descrição da área de estudo	32
3.2	Material.....	34
3.3	Procedimentos metodológicos.....	38
3.3.1	Mapeamento do uso e cobertura da Terra	39
3.3.2	Técnicas de mineração de dados para o mapeamento das PLU's .	48
3.3.3	Integração de dados e análise das transições de uso e cobertura da terra e das PLU's	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1	Classificação e avaliação dos dados de uso e cobertura da terra	54
4.1.1	Refinamento do TerraClass.....	55
4.1.2	Classificação de uso e cobertura da terra de 2019	57

4.2	Análise da transição do uso e cobertura da terra no período de 2000 a 2019.....	62
4.2.1	Síntese das análises dos processos de mudança do uso e cobertura da terra	78
4.3	Unidades de Paisagem de Produção: dinâmicas espaciais e temporais	80
4.3.1	Tipologia das Unidades de Paisagem de Produção- PLU.....	82
4.3.2	Classificação das Unidades de Paisagem de Produção	85
4.3.3	Análise das dinâmicas espaço temporais das Unidades de Paisagem de Produção	90
4.3.4	Análise de transição das Unidades de Produção da Paisagem	97
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
	APÊNDICE A- MÉTRICAS DE ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DA PAISAGEM	131
	APÊNDICE B – TABELAS DOS TESTES ESTATÍSTICOS.....	133

1 INTRODUÇÃO

O bioma Amazônico é caracterizado por sua vasta extensão territorial e pela sua rica biodiversidade, estendendo-se do oceano Atlântico até as encostas da Cordilheira dos Andes, com uma média de 600 m de altitude e ocupando 40% do território sul-americano. De todo esse território, que corresponde a aproximadamente 7.000.000 Km², 69% pertence ao Brasil, ou seja, cerca 4.871.000 km² (AB'SABER, 1977; BRASIL, 2020). A importância deste bioma inclui a sua capacidade de transporte de umidade para outras regiões do continente (CORREIA et al., 2007), retenção de carbono da atmosfera (NOBRE; NOBRE, 2002), regulação hídrica, manutenção da biodiversidade, até a provisão de alimentos, fibras, madeira, produtos medicinais, entre outros. Apesar da grande importância do bioma Amazônia, a ocupação deste território, que ocorreu de forma mais intensa após a década de 1970, se caracterizou por grandes mudanças ambientais, econômicas e sociais. Essas mudanças ocorreram em decorrência de estratégias de ocupação implantadas a partir da década de 1960 pelo governo brasileiro, que tinha como finalidade integrar a Amazônia às outras regiões do Brasil. Essas políticas se basearam na indução da imigração da população de outras regiões do Brasil, como nordeste e sul, na criação de projetos de colonização e projetos agropecuários, além da expansão da infraestrutura local, como a construção de redes de estradas, de hidrelétricas, ampliação e conexão das redes de cidades e de telecomunicações (BECKER, 2005; MACHADO, 1998). Essa nova infraestrutura somada aos incentivos fiscais oferecidos pelo governo viabilizou o estabelecimento de diferentes formas de economia possibilitando a instalação de empresas agropecuárias, madeireiras e mineradoras, de grandes fazendas e dos projetos de colonização (AB'SABER, 1989; BECKER, 2004).

A rápida transformação na região levou a diversos problemas ambientais, sendo o desmatamento um dos mais evidentes. Para um melhor conhecimento desse processo e para monitorar a perda florestal no final da década de 80, foi criado o Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), desenvolvido e executado pelo Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais (INPE), para apoiar as políticas de controle e fiscalização do desmatamento. A partir de então, o PRODES passou a estimar taxas anuais de desmatamento para toda a extensão da Amazônia Legal (VALERIANO et al., 2012). Até o final da década de 1990, grande parte das áreas desmatadas eram utilizadas para implantação de pastagem, para a atividade pecuária, desenvolvida de forma extensiva, e para outros usos agrícolas de pequena escala como mandioca, café, cacau, arroz, milho, urucum, etc. (RIVERO et al., 2009; DIAS FILHO, 2016; ALMEIDA et al., 2016).

No final da década de 90 o cultivo da soja avançou do cerrado para o bioma Amazônia, concentrando-se principalmente, nos estados de Mato Grosso e Pará (IBGE, 2020a). No estado do Pará, esta atividade se concentra na região Sudoeste, principalmente nos municípios de Santarém, Mojuí dos Campos e Belterra (BECKER, 1995; D'ANTONA et al., 2011; DAL'ASTA et. al, 2013), área de estudo do corrente trabalho. O programa Avança Brasil ¹, plano plurianual do governo (CARDOSO, 2008), elaborado para o período de 2000 a 2003, previa a aplicação de grande montante de recursos para investimentos na expansão de infraestrutura por todo o Brasil, como a construção de gasodutos, ampliação e pavimentação de estradas, hidrovias e usinas hidrelétricas. Na Amazônia, parte da infraestrutura de transporte prevista por esse plano foi estabelecida e destinou-se ao escoamento da soja, visando o mercado internacional (FEARNSIDE, 2001), sendo complementada pela iniciativa privada, como o porto da Cargill em Santarém, e, mais recentemente, os portos de Miritituba, distrito do município de Itaituba, localizado na região do baixo Tapajós (DAL'ASTA et al., 2017). Com a perspectiva do aumento de investimentos na infraestrutura para o escoamento da produção de grãos, e das atividades econômicas já existentes, como a pecuária, a exploração mineral e madeireira, associada à inexistência de um plano eficaz para o

¹ A infraestrutura prevista no programa Avança Brasil não foi necessariamente implantada no período de 2000 a 2003, como previsto. Algumas obras, como a pavimentação da BR 163 e BR 230 ainda estão sendo concluídas, enquanto outras obras não foram implementadas como a construção de ferrovias, gasodutos entre outras.

combate ao desmatamento, em 2004 foi registrada a segunda maior taxa de desmatamento na Amazônia, de 27.772 km² (PRODES, 2021).

Em resposta a esse grande aumento das taxas de desmatamento o governo brasileiro criou o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia (PPCDAM). Esse programa envolveu vários ministérios e Instituições dos estados da Amazônia Legal, sendo um instrumento importante para a coordenação e elaboração de políticas integradas e ações de controle e combate ao desmatamento. Como parte das ações do PPCDAM, foi criado o DETER, em 2004, Sistema de Alerta de Desmatamento em Tempo Real (INPE, 2008), para a detecção rápida de novos desmatamentos, gerando dados para operações de fiscalização em conjunto com o IBAMA (INPE, 2008). Para melhorar a eficácia das políticas de controle e combate ao desmatamento do PPCDAM foi realizado um acordo (Moratória da Soja) em 2006, entre organizações não governamentais, agroindústria e governo, com o compromisso das indústrias não comprarem soja proveniente de áreas desmatadas, a partir de julho de 2008. Com essas e outras políticas e ações, além do fortalecimento da fiscalização, a partir de 2005 as taxas de desmatamento declinaram até chegar em 2012 a 4.571 Km², a menor taxa de desmatamento experimentada pela Amazônia, desde o início de seu monitoramento em 1988 pelo PRODES. Essas taxas, a partir de então, vem apresentando tendência de aumento, atingindo 10.851 km² em 2020 (INPE, 2019). O enfraquecimento das Instituições responsáveis pela conservação e fiscalização das áreas florestais, como o IBAMA e o ICMBIO, dentro e fora de Unidades de Conservação e Terras Indígenas, a desarticulação e paralisação do PPCDAM, além da falta de investimentos em operações de fiscalização, entre outros fatores, levaram ao progressivo aumento do desmatamento após 2016 (SONTER et al., 2017; CARVALHO et al., 2019; PEREIRA et al., 2019; REYDON et al., 2020).

Na região Sudoeste do Pará, com a entrada dos sistemas de produção mais intensivos no final da década de 1990, os pequenos produtores rurais passaram a conviver com uma nova lógica de produção, de base tecnológica e capital intensivo, com requisitos de mão de obra qualificada e que incorpora

extensas áreas aos seus processos produtivos. Essa nova lógica de organização do território modifica a paisagem, deixando marcas que se configuram em diferentes padrões espaciais e que variam em função dos atores presentes e de suas formas de produção (ESCADA, 2003; ALVES et al., 2013). Com a intensificação do uso da terra, uma nova estruturação do espaço regional se impôs, levando a processos de concentração de terra que, com frequência, excluíram pequenos produtores locais (BRONDÍZIO; SIQUEIRA, 1997; MONTE-MÓR, 2008). Esses produtores passaram por transformações em sua força produtiva, com a incorporação de atividades econômicas que levaram ao desenvolvimento da moderna agricultura capitalista (agronegócio) na região de Santarém, impactando um movimento de migração de parte da população local para a cidade e para outros núcleos urbanizados nas proximidades de Santarém e Mojuí dos Campos (SANTOS, 2020). Esse processo também já havia sido relatado por D'Antona et al. (2011); Dal'Asta et al. (2013) Souza (2016); Souza et al. (2017) e Souza et al. (2019) na região de Santarém. No trabalho de Souza et al. (2017), a análise integrada da intensificação do uso da terra e da diversidade da paisagem mostrou que em 2012, a paisagem ainda não estava inteiramente transformada pelo agronegócio, restando diversas áreas, em seus interstícios, de produção agrícola de pequena escala, com remanescentes florestais e de vegetação secundária. Entretanto, esse é um processo que ainda está em curso na região, se intensificando principalmente a partir de 2016 com estímulo do governo às atividades relacionadas com o agronegócio na Amazônia. Esse processo deve ser investigado, tanto em sua dimensão espacial, quanto temporal, observando seus efeitos na estrutura da paisagem, nos modos de produção, e nas taxas de conversão da cobertura florestal.

Esse trabalho se propõe a avaliar os efeitos ambientais descritos nas análises das dinâmicas das transformações da paisagem florestal, em decorrência das atividades produtivas ligadas à expansão da agricultura de larga escala (AGLE) na bacia do Rio Curuá-Una, na porção Sudoeste do Pará. Essa análise foi realizada baseada em dados de sensoriamento remoto, técnicas de processamento digital de imagens e de análise espacial. Algumas questões

são levantadas para nortear esse estudo, como: Quais os principais modos de produção na Bacia Curuá-Una em 2000, 2010 e 2019? Como a AGLE se expandiu sobre os modos de produção existentes em 2000? Como a AGLE avançou sobre as áreas florestais? Quais os principais efeitos ambientais do avanço da AGLE na bacia do Curuá-Una?

Para análise e representação dos modos de produção, é utilizada uma tipologia de padrões de paisagem associados ao uso e cobertura da terra adaptada de Souza (2016) para a região Sudoeste do Pará. Para nos referirmos às unidades relativas aos padrões de paisagem associados aos principais modos de produção é adotado o termo PLU's (*Production Landscape Units ou Unidades de Paisagem de Produção*) proposto por Dal'Asta et al (em preparação), que são unidades que apresentam padrões de paisagem associados a diferentes modos de produzir, usos da terra, atores, e contextos de infraestrutura e/ou ambiental. As PLU's refletem estratégias escolhidas ao longo dos anos em relação ao uso da terra, resultante das escolhas relativas às formas de produzir associadas aos padrões tecnológicos empregados para produção, que resultam em diferentes impactos na paisagem e afetam os recursos naturais. Para mediar as relações entre os padrões de uso da terra e os sistemas técnicos produtivos, uma tipologia de PLU's foi desenvolvida por Dal'Asta e colaboradores, para representar a paisagem da região oeste do Acre para o estudo de malária. A tipologia de PLU's foi desenvolvida a partir de adaptações da tipologia desenvolvida por Souza (2016) na região de Santarém e arredores, que por sua vez, se baseia na categoria econômica das trajetórias técnico-produtivas desenvolvidas por Costa (2009, 2012, 2021) para compreensão da dinâmica agrária no bioma Amazônia.

1.1 Objetivo geral

A proposta deste trabalho é caracterizar a expansão da AGLE na região bacia do rio Curuá - Una, no sudoeste do Pará, avaliando seus efeitos sobre a perda de cobertura florestal, os sistemas agropecuários e extrativistas e a diversidade

de paisagem. Considerando o objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar e caracterizar padrões de paisagem associados aos sistemas de produção agropecuários e extrativistas (PLU's) a partir das trajetórias tecnológicas definidas por Costa (2009) e da adaptação da tipologia desenvolvida por Souza (2016;), para os anos de 2000, 2010, e 2019 na Bacia do Curuá-Una;
2. Analisar a evolução das PLU's associadas aos modos de produção de larga escala, nos anos de análise, quanto à sua expansão/retração sobre os sistemas de produção agropecuários e extrativistas;
3. Avaliar a dinâmica da cobertura florestal, vegetação secundária e da diversidade da paisagem, decorrentes da expansão da AGLE no período de análise.

1.2 Organização do documento

Este documento foi organizado em 5 seções: Fundamentação Teórica, Área de Estudo, Materiais e Métodos, Resultados e Considerações Finais.

Após a apresentação da introdução e dos objetivos, a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica, em que são definidos os principais conceitos relacionados ao tema do trabalho, assim como o arcabouço teórico e os métodos e técnicas empregados na metodologia.

Na Seção 3 é descrita a área de estudo com sua localização geográfica, os materiais utilizados e os procedimentos metodológicos, tendo como base um fluxograma, que organiza o trabalho em três etapas: 1) procedimentos para a classificação e refinamento do uso e cobertura da terra nos anos analisados; 2) procedimentos para o mapeamento das PLU's e 3) análise integrada do uso e cobertura da terra e das PLU's em relação às suas dinâmicas e aos padrões espaço-temporais observados. Na terceira etapa, é realizada a integração dos mapas de uso e cobertura da terra dos diferentes anos com os mapas de PLU's obtidos, para análises das dinâmicas do período de 2000 a 2019,

direcionadas para responder às questões formuladas neste trabalho. Na Seção 4 são apresentados os resultados obtidos a partir da análise e cruzamento dos dados de uso e cobertura da terra, das PLU's e da caracterização das PLU'd quanto aos indicadores de desmatamento, vegetação secundária e índice de diversidade de paisagem. Nesta Seção são apresentadas as discussões dos principais achados considerando os referenciais teóricos utilizados e a literatura. Para finalizar, na Seção 5 são apresentadas as considerações finais e perspectivas de pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nessa seção são apresentados os principais conceitos, definições e técnicas utilizadas neste trabalho. O principal objetivo desta seção é apresentar os tópicos que se relacionam com o desenvolvimento metodológico seguido neste trabalho, sem a pretensão de esgotar o assunto, mas apresentar o arcabouço teórico utilizado e fundamentar a metodologia e as técnicas empregadas.

Essa seção se inicia com a definição de conceitos relacionados com uso e cobertura da terra e apresenta um breve histórico de ocupação da Amazônia, com ênfase no histórico da expansão da soja sobre o bioma e no monitoramento da cobertura florestal da Amazônia. Em seguida, são apresentadas técnicas de classificação de imagens, com destaque para aquelas possibilitam mapear modos de produção de pequena escala, que são insuficientemente representados nos sistemas de monitoramento de uso e cobertura da terra da Amazônia. São apresentados conceitos e referenciais teóricos relacionados com os sistemas de produção existentes na Amazônia, sobre os quais se fundamenta esse trabalho. Tais referenciais que categorizam e caracterizam os modos de produção na Amazônia possibilitam que sejam criadas tipologias, relacionadas com padrões de uso e cobertura da terra, que podem ser identificados e mapeados com dados provenientes de imagens de satélite e com o emprego de técnicas de mineração de dados, análise espacial e métricas de paisagem. Esses temas são abordados com maior detalhe nas seções seguintes.

2.1 Definições e conceitos associados ao uso e cobertura da terra

Os conceitos de cobertura e uso da terra são, frequentemente, confundidos devido a sua inter-relação, o que provoca muitas vezes ambiguidade e imprecisão em sua aplicação (COMBER, 2008). Essa confusão resulta, muitas vezes, em problemas de compreensão dos dados de uso e cobertura, criando imprecisões nas legendas dos mapas, classificações e nos estudos relacionados ao tema, sendo necessário, defini-los primeiramente.

A cobertura da terra representa o estado físico e biofísico da superfície da terra e é definida a partir da observação das propriedades dessa superfície em um determinado instante. O uso refere-se à forma em que os elementos biofísicos da superfície da terra são utilizados (manejados) e/ou ao propósito para qual esses elementos são utilizados (MEYER; TURNER, 1992). Uma cobertura e /ou um uso da terra podem não ter uma relação direta, ou seja, uma cobertura pode apresentar usos múltiplos, assim como um uso pode estar associado a múltiplas coberturas. Uma área de cobertura florestal, por exemplo, pode apresentar usos simultâneos ou alternados como extrativismo, turismo e conservação (Figura 2.1). Um uso, por sua vez, também pode ocorrer em múltiplas coberturas como, por exemplo, o uso residencial em um loteamento que pode apresentar diversos tipos de construções, árvores, jardins, ruas, etc., ou uma área de agricultura, que também pode apresentar diferentes coberturas como a vegetação em diferentes estágios e/ou solo exposto, concomitantemente ou alternadamente (RIEBSAME; MEYER; TURNER, 1994).

Figura 2.1: Exemplo de cobertura florestal com diferentes tipos de usos.



Fonte: Produção da autora.

2.1.1 Mudança de uso e cobertura da terra

Existem vários tipos de processos associados às mudanças no uso e cobertura da terra, podendo ser utilizados termos como conversão, modificação, substituição e intensificação, como proposto por (MEYER; TURNER, 1994), sendo os dois primeiros utilizados mais frequentemente para definir mudanças da cobertura da terra e os dois últimos, para se referir às mudanças de uso da

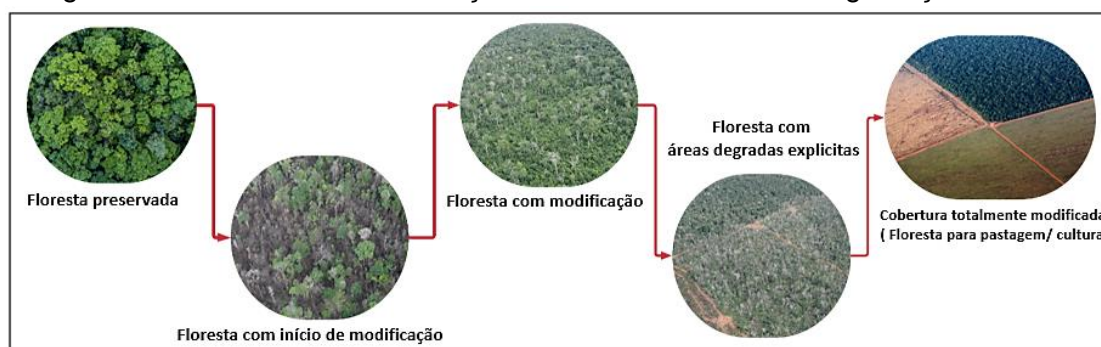
terra, sendo a intensificação um termo utilizado somente para uso. Nesta seção utilizamos esses termos, conforme sugerido pelos autores, para facilitar a descrição e diferenciação desses distintos processos. A conversão (Figura 2.2) é definida como o processo de substituição completa de um tipo de cobertura para outro, como por exemplo, o desmatamento, em que a cobertura florestal é totalmente convertida em pasto. A modificação (Figura 2.3), segundo os autores, é um processo gradual, que ocorre de forma não abrupta. Como exemplo, pode-se citar a degradação florestal, decorrente da extração seletiva de madeira, ou a degradação de áreas campestres pelo excesso de pastejo, em que ocorrem alterações graduais nas características da cobertura original (MEYER; TURNER, 1994).

Figura 2.2: Processo de conversão da cobertura da terra.



Fonte: Produção da autora.

Figura 2.3: Processo de modificação da cobertura da terra: degradação florestal.



Fonte: Produção da autora.

No processo de substituição, segundo os autores, ocorre a mudança de um uso para outro, como por exemplo, do uso de conservação para o ecoturismo,

ou de extrativismo para ecoturismo. Outra forma de mudança do uso da terra é a sua intensificação que está relacionada com (Figura 2.4) o aumento da intensidade de um uso existente. Por exemplo, um local onde havia agricultura de pequena escala (AGPE), devido ao processo de tecnificação, uso de insumos, maquinários e mão de obra qualificada, passa a apresentar uma agricultura mais intensificada, com maior número de safras, menor período de pousio, maior número de cabeças de gado por ha etc. Assim, o uso extensivo da terra, é substituído por um sistema agrícola com produção de larga escala que, devido a intensidade de produção, reduz a fertilidade do solo, sendo necessário adotar técnicas e produtos químicos para fertilização do solo, uso de maquinário para colheita e manejo da terra.

Figura 2.4: Processo de intensificação do uso e cobertura da terra.



Fonte: Produção da autora.

A *intensificação* do uso agrícola, geralmente, se refere a um aumento na quantidade de produção (alimentos, combustível ou fibra) obtida por unidade de terra, por meio de práticas e tecnologias de gestão aprimoradas ou aumento de insumos, pressupondo, desenvolvimento da indústria mecânica-química. (TILMAN et al., 2011).

Diversos estudos têm sido realizados com o intuito de descrever os processos que levam à intensificação. Dentre eles destaca-se o modelo teórico de Boserup (1970), que descreve a intensidade em que o uso da terra varia a partir do tempo de pousio. Esse modelo é útil para descrever a intensificação do uso da terra em áreas de fronteira agropecuária. A autora propõe uma classificação dos sistemas de uso da terra baseada nos graus de intensidade de uso, que variam de acordo

com o tempo de pousio e a duração dos ciclos de cultivo em uma determinada área. Para alguns autores (BRONDÍZIO, 2004; SIQUEIRA, 1997; HOMMA, 2012), a intensificação da agricultura pode ser definida como sinônimo de redução de custos e aumento da produtividade de uma dada cultura, elevando ao máximo o uso da terra.

O processo de intensificação, dependendo de como ocorre, pode resultar na produção de dois tipos de paisagem (BERTZKY et al., 2011). 1) Paisagens homogêneas, em que uma cobertura associada a um tipo de uso ocupa sozinha grandes extensões de terra ou; 2) Paisagens heterogêneas, em que ocorre a redução da área ocupada por um determinado uso e cobertura, liberando porções de terra para outros tipos de uso e outras coberturas, levando a um aumento na diversificação da paisagem. Na Amazônia o tipo predominante de paisagens produzidas por processos de intensificação é o primeiro, uma vez que há grande disponibilidade de terras baratas, muitas vezes vendidas ou apropriadas de forma ilegal (MACUL, 2019).

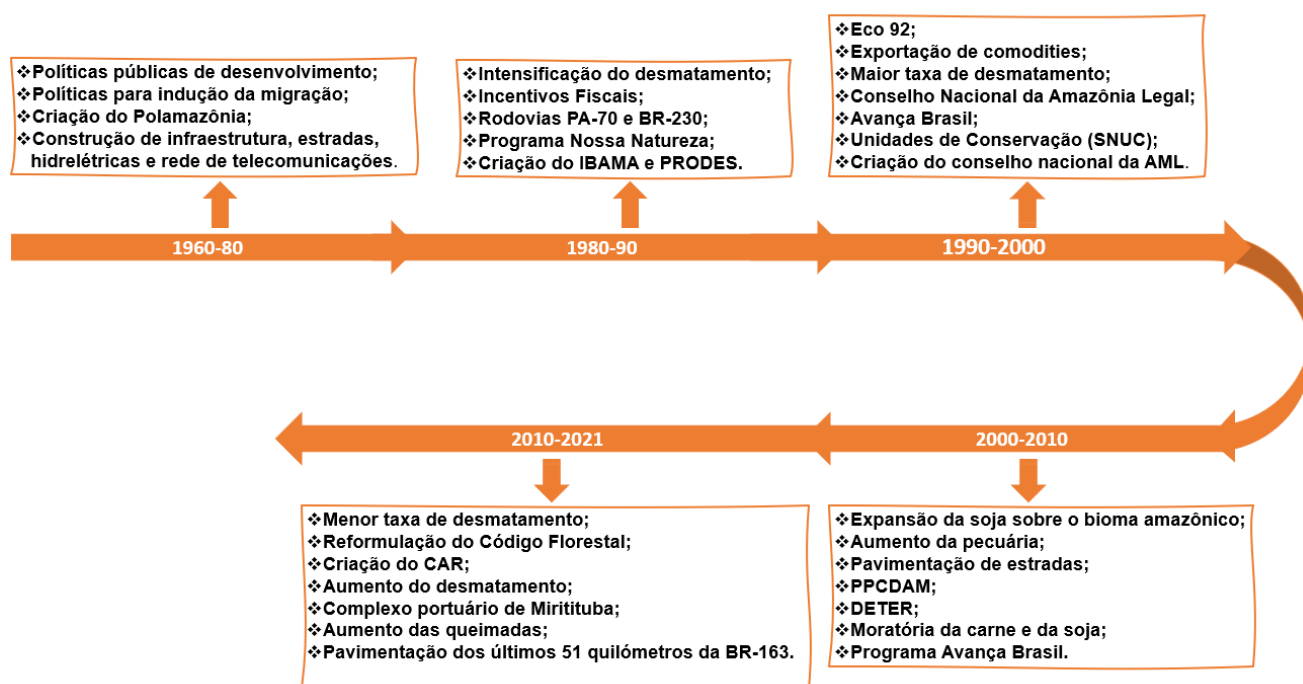
Os efeitos da intensificação do uso da terra na paisagem foram analisados por Souza et al. (2017) na região sudoeste do Pará por meio de índices de intensificação que foram posteriormente confrontados com índices de diversidade da paisagem para o ano de 2012. Os indicadores apontaram para o aumento do processo de intensificação devido à introdução da agricultura mecanizada de grãos em larga escala. Porém, esse processo encontrava-se ainda em andamento e grande parte das terras ainda não haviam sido completamente incorporadas pelo agronegócio, nem dominadas por uma única classe de cobertura da terra, gerando valores altos do índice de diversidade da paisagem. A região compartilhava ainda o espaço com os diferentes modos de produção, ou seja, entre as áreas estabelecidas para a produção de grãos, podiam-se encontrar áreas dedicadas à agricultura familiar e à pecuária.

2.2 Histórico de ocupação e o desmatamento na Amazônia

A Amazônia que conhecemos hoje é resultado dos diferentes processos históricos. Segundo Becker (2005), na segunda metade do século XX, foi o

período em que ocorreram os principais impactos ambientais decorrentes da sua ocupação. Mudanças estruturais ocorreram na fronteira de ocupação, a qual a autora define como um espaço não plenamente estruturado e capaz de gerar realidades novas. Segundo a autora, a fronteira de ocupação da Amazônia do início das décadas de 1960 e 1970, se caracterizou pela migração intrarregional e por uma economia diversificada, com cadeias produtivas de estruturas mais complexas envolvendo o acesso à terra, à agricultura, à pecuária, à exploração madeireira e mineral. A região passou por diversas fases de desenvolvimento, apresentadas de forma resumida na Figura 2.5, que contextualiza o histórico e os principais fatores que levaram à intensificação da ocupação na região amazônica no período de 1970 a 2020.

Figura 2.5: Linha do tempo do histórico de ocupação na Amazônia.



Fonte: Produção da autora.

As diversas políticas públicas de ocupação da região norte do território brasileiro refletiram-se diretamente no aumento do contingente populacional da Amazônia que em 1970 chegou a sete milhões de habitantes (IBGE, 1970).

Entre estas políticas destacam-se a criação do Plano Nacional de Desenvolvimento - PND I e II que utilizaram como estratégia a criação de estradas para facilitar a conexão da Amazônia com os demais estados do Brasil e a criação do Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia – Polamazônia. Como consequência dessa ocupação, devido à falta de planejamento adequado, considerando as especificidades do bioma, começaram a surgir os primeiros problemas ambientais (CARDOSO; MÜLLER, 1977; BECKER, 1997).

Em meados da década de 1980 o desmatamento na região começou a se intensificar. Entre as principais causas estão a implantação de grandes projetos agropecuários apoiados por incentivos fiscais, estimulando, no sul do Estado do Pará e no norte do Estado de Mato Grosso, por exemplo, a ocupação da terra e a retirada da cobertura florestal. As construções das rodovias Belém-Brasília (BR-153), e da Transamazônica (BR-230) criaram um eixo de desmatamento, juntamente com a construção das usinas hidrelétricas de Balbina no Estado do Amazonas e Tucuruí no Pará. Neste período a Amazônia despertou atenção internacional, que questionava sobre a falta de políticas desenvolvidas para sua conservação. Diante de tais pressões, o Estado brasileiro criou o Programa Nossa Natureza em 1988 que culminou com a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), em 1989. Paralelamente foi criado pelo INPE, sob demanda do governo federal, o projeto PRODES que realiza o monitoramento por satélites do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal e produz, desde 1988, taxas anuais de desmatamento, usadas pelo governo brasileiro para auxiliar no estabelecimento de políticas públicas de combate ao desmatamento na região (VALERIANO et al.,2012).

Um evento importante que exerceu pressão política para a conservação da Amazônia, foi a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92) realizada no Brasil, que teve como um dos focos principais promover discussões sobre a conservação da floresta. Porém, é nesta década de 90, que a Amazônia registra a maior taxa de desmatamento, em 1995, de 29.059 km². Para conter o aumento do desmatamento em 1995,

foi criado o Conselho Nacional da Amazônia Legal (BRASIL,1995), e aprovada a Lei 9.985 em 2000, que instituiu o *Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (BRASIL, 2000)*.

No final da década de 90 as culturas de exportação, principalmente a soja, passam a ser incentivadas, e se expandem pelo Bioma Amazônia, atraindo imigrantes das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Também no final dessa década o *Programa Avança Brasil* (CARDOSO, 2008), formulado para o período de 2000 e 2003, previu a instalação de infraestrutura na região como estradas, ferrovias, hidrovias, gasodutos e hidrelétricas, principalmente para apoiar as atividades relacionados com as culturas de exportação. O aumento da migração para região, somado à perspectiva de construção de portos e estradas, e ao incentivo às atividades agropecuárias de larga escala, trouxeram mais impactos para a floresta. Segundo Domingues e Bermann (2012), os impactos envolveram desmatamento e queimadas nas áreas florestais e de pastagens para expansão da área plantada, e processos de concentração de terras. Além disso, os autores mencionam os impactos sociais devido ao deslocamento de populações das áreas rurais para as grandes cidades em decorrência da venda de terras para a introdução da monocultura da soja e da pecuária extensiva.

Como resultado desses processos, aliado à falta de fiscalização, é registrada a segunda maior taxa de desmatamento em 2004 (27.772 km²). Para conter o aumento do desmatamento foi instituído o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal - PPCDAM do qual o INPE faz parte, desenvolvendo o sistema de alerta de desmatamento na Amazônia Legal em tempo quase real – o DETER. Em 2006, como uma medida complementar ao combate ao desmatamento, passa a vigorar a Moratória da Soja. Trata-se de um pacto ambiental entre entidades representativas de produtores, que em linhas gerais, proíbe a compra de soja proveniente de áreas recém desmatadas na Amazônia, após o estabelecimento do acordo. Mais tarde, em 2010, o Ministério Público Federal nos estados do Pará, Mato Grosso, Amazônia e Rondônia, cria a moratória da carne para impedir os maiores frigoríficos de

negociarem carne com propriedades sem certificação de regularidade ambiental (MPF, 2010). O PPCDAM a partir de 2018 tornou-se inativo e as ações relativas à vigilância e ao combate ao desmatamento passou a ser de responsabilidade do Conselho Nacional da Amazônia Legal (CNAL), presidido pela casa civil, sem a representação das entidades civis e de grande parte das Instituições federais e estaduais.

Observa-se um decréscimo acentuado das taxas de desmatamento no período de 2005 (19.014km²) a 2012 (4.571 km²), em que o PRODES detecta a menor taxa de desmatamento, desde o início do monitoramento. Nesse mesmo ano ocorre a reformulação do Código Florestal e cria-se o Cadastro Ambiental Rural -CAR, que tem como principal finalidade integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, tornando obrigatório o cadastramento de todos os imóveis rurais de forma a aumentar o controle do desmatamento nas áreas de preservação permanente e de reserva legal. Entretanto, as informações de cunho declaratório não foram validadas e, assim, com o sistemático adiamento do prazo para realização desse cadastro, bem como de sua validação, esse instrumento se tornou inócuo e, no final da década, devido ao arrefecimento da fiscalização por parte do governo federal (afetado pelo corte de verbas para a fiscalização e pela desativação do PPCDAM), ocorre gradativamente o aumento do desmatamento, que em 2020, chega a 10.851 km² (PRODES, 2021).

2.3 Monitoramento do uso e cobertura da terra na Amazônia

Na seção anterior, foi apresentado um breve histórico da ocupação da Amazônia após os anos de 1970, juntamente com a dinâmica do desmatamento correspondente aos períodos abordados. Foi mencionada a criação do Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), desenvolvido pelo INPE, que realiza o inventário do desmatamento por corte raso (INPE, 2019). Para complementar esse dado e qualificar as áreas desmatadas, o INPE, em parceria com a EMBRAPA, criou o projeto TerraClass (INPE, 2019). O TerraClass qualifica o desmatamento na

Amazônia Legal brasileira em relação aos tipos de uso e cobertura da terra (ALMEIDA et al., 2016). Para isso, são utilizadas imagens do satélite Landsat, com 30 metros de resolução espacial, considerando as classes apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Descrição das classes utilizadas no TerraClass.

Classes	Definição
Floresta	Área de floresta primária, da Amazônia Legal não alterada, também utilizada pelo projeto PRODES.
Vegetação Secundária	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.
Regeneração com Pasto	Áreas que, após o corte raso da vegetação natural e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, encontram-se no início do processo de regeneração da vegetação nativa, apresentando dominância de espécies arbustivas e pioneiras arbóreas. Áreas caracterizadas pela alta diversidade de espécies vegetais.
Agricultura Anual	Áreas extensas com predomínio de culturas de ciclo anual, sobretudo de grãos, com emprego de padrões tecnológicos elevados, tais como uso de sementes certificadas, insumos, defensivos e mecanização, entre outro.
Pasto Limpo	Áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio de vegetação herbácea, e cobertura de espécies de gramíneas entre 90 e 100%.
Pasto Sujo	Áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio da vegetação herbácea e cobertura de espécies de gramíneas entre 50 e 80%, associado à presença de vegetação arbustiva esparsa com cobertura entre 20 e 50%.
Pasto com Solo Exposto	Áreas que, após o corte raso da floresta e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, apresentam uma cobertura de pelo menos 50% de solo exposto.
Área Urbana	Manchas urbanas decorrentes da concentração populacional formadora de lugarejos, vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural apresentando adensamento de arruamentos, casas, prédios e outros equipamentos públicos.
Hidrografia	Águas superficiais
Mineração	Áreas de extração mineral com a presença de clareiras e solos expostos, envolvendo desflorestamentos nas proximidades de águas superficiais.
Mosaico de Ocupações	Áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra e que devido à resolução espacial das imagens de satélite não é possível uma discriminação entre seus componentes. Nesta classe, a agricultura familiar é realizada de forma conjugada ao subsistema de pastagens para criação tradicional de gado).
Outros	Áreas que não se enquadram nas chaves de classificação e apresentam padrão de cobertura diferenciada de todas as classes do projeto, tais como afloramentos rochosos, praias fluviais, bancos de areia entre outros.
Área Não Observada	Áreas que tiveram sua interpretação impossibilitada pela presença de nuvens ou sombra de nuvens, no momento de passagem para aquisição de imagens de satélite, além das áreas recentemente queimadas.
Reflorestamento (inserida em	Áreas que após o corte raso foram reflorestadas com espécies exóticas com a finalidade comercial

Fonte: Adaptado de Almeida et al (2016).

Embora o objetivo do TerraClass seja qualificar o desmatamento da Amazônia Legal, devido à resolução espacial dos sensores usados (20 a 30 m) e à escala de mapeamento, esse sistema não distingue a classe Agricultura de Pequena Escala (AGPE) das demais classes agropecuárias. Para suprir a falta dessa classe Souza (2019) e Santos (2018) desenvolveram metodologias para

realizar o refinamento dos dados do TerraClass, em particular das classes de mosaico de ocupação e vegetação secundária, utilizando técnicas de processamento digital de imagens com produtos de alta resolução espacial (RapidEye, 5 m).

Para entender a dinâmica da expansão da AGLÉ, em especial, da soja sobre o bioma Amazônia, é preciso conhecer e mapear os diversos modos de produção existentes, de grande a pequena escala, para avaliar sobre quais sistemas esse tipo de agricultura avança. Estes resultados podem ser utilizados para discutir políticas públicas que visam fortalecer a economia local, incentivando e preservando modos de produção tradicionais e de pequena escala, que são em grande parte, responsáveis pela produção de alimentos que abastecem as cidades e se caracterizam por economias de baixa emissão de CO₂ (JUNIOR et al., 2010). Por este motivo, foram desenvolvidas metodologias para realizar o refinamento dos dados do TerraClass, fornecendo um melhor detalhamento das classes de uso da terra associadas à agricultura de pequena escala, com técnicas de classificação de imagens orientada a objeto e com o uso de imagens de alta resolução espacial. Essas técnicas são apresentadas na seção seguinte.

2.4 Métodos e técnicas utilizadas para a classificação da agricultura de pequena escala

Diversos estudos têm sido realizados para compreender a dinâmica dos processos que ocorrem na Amazônia (WALKER; MORAN, 2000; MARGULIS, 2003; ESCADA et al., 2005; SOUZA, et al. 2017). Devido à grande extensão desta região, estes estudos baseiam-se em dados de sensoriamento remoto orbital, os quais permitem uma visão sinóptica recorrente, em grandes extensões da superfície terrestre. Entretanto, para a identificação e mapeamento de feições pequenas, como as áreas de agricultura de pequena escala, que geralmente apresentam dimensões menores que 1 ha, as imagens de resolução espacial de 30 m do Landsat, como as utilizadas nos mapeamentos de uso e cobertura da terra do TerraClass, Mapbiomas e IBGE,

apresentam limitações. Para o mapeamento dessas feições é importante o uso de imagens de melhor definição, de 5 a 10 metros de resolução espacial, como, por exemplo, o RapidEye (5 m) usado por Souza (2016), Souza et al (2019) e Bragion (2020). Santos (2018) utilizou técnicas de classificação, segmentação e Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) em imagens TM/Landsat (30m) e CBERS (5/10m) para classificar uso e cobertura da terra e, identificar, através de refinamento da classe de mosaico de ocupação do TerraClass, sistemas de pequena escala e agroflorestais, na região do município de Mocajuba, PA.

Dentre os tipos de técnicas de classificação que possibilitam mapear os sistemas de pequena escala, destaca-se a classificação orientada a objeto, também conhecida como GEOBIA (Geographic Object-Based Image Analysis - Análise de Imagens baseada em Objetos Geográficos), que considera um conjunto de pixels (regiões) como unidade de origem dos atributos da imagem como forma, textura, contextuais, aumentando a precisão da classificação (BRANCO et al., 2018). Em relação aos modelos tradicionais de classificação de imagem, a abordagem orientada a objeto, utilizando sensores de alta resolução espacial, tem se mostrado eficaz (FRIEDRICH et al., 2009; TAUBENBÖCK et al., 2010; SOUZA; KUX, 2014; PACHECO et al., 2021), aproximando as técnicas de processamento digital de imagens à extração de informações a partir do raciocínio e fotointerpretação humanos.

Alguns trabalhos de mapeamento com essas técnicas e interpretação visual têm sido utilizados na Amazônia. Souza (2016) desenvolveu uma metodologia que utiliza classificação baseada em interpretação visual para desenvolver tipologias de padrões de uso e cobertura da terra, com a finalidade de identificar e caracterizar áreas de agricultura de pequena escala em comunidades ribeirinhas. Em seu trabalho foram utilizados dados do RapidEye e do TerraClass, para o ano de 2012. Para este mapeamento, a autora fez classificação visual em áreas de raio de 8 km, no entorno de comunidades, obedecendo a um critério estabelecido na literatura e, também, em campo, sobre distâncias máximas percorridas pelas populações de comunidades

ribeirinhas e de terra firme em atividades de caça e agrícolas. Os mapas gerados foram utilizados para a análise da composição e estrutura espacial das paisagens, para aprimorar a compreensão e caracterização das atividades produtivas agropecuárias e extrativistas ao redor das comunidades.

Souza et al. (2019) mapearam agricultura de pequena escala, aplicando técnicas de classificação orientada a objeto em imagens Reis/RapidEye (resolução espacial de 5m), nos municípios de Cametá, Mocajuba e Baião, localizados na região Nordeste do Pará. Para avaliar a capacidade de refinamento da classe Mosaico de Ocupação, proveniente do dado produzido pelo projeto TerraClass, os autores testaram os algoritmos *MAXVER*, *Bhattacharya* e *K-Vizinho Mais Próximo*. Dentre os algoritmos testados, o *K-Vizinho Mais Próximo (KNN)* foi o que obteve melhor resultado para identificação da classe de agricultura de pequena escala. Com esta técnica, duas regiões vizinhas na imagem são analisadas e, dado um critério de similaridade, elas são agrupadas em uma única região, caso esse critério seja atendido. Para separar ou agrupar regiões, o algoritmo utiliza atributos de forma e cor estabelecidos pelo usuário.

Ainda no município de Mocajuba, Pacheco et al. (2021) compararam os algoritmos KNN adaptado e árvore de decisão C5.0, utilizando imagem do mosaico Planet com cerca de 5m de resolução espacial e obtiveram melhor desempenho no mapeamento de agricultura de pequena escala com o C5.0.

Em ambientes urbanos, Souza (2014) realizou testes para avaliar a capacidade do uso de imagens satélite WorldView-II (DIGITAL GLOBE, 2009) com técnicas de mineração de dados por árvore de decisão para a classificação da cobertura do solo urbano em áreas costeiras. O autor utilizou técnicas de fusão de imagens, segmentação e árvore de decisão. A técnica de mineração de dados por árvores de decisão apresentou um bom desempenho e alto potencial para mapeamento de uso e cobertura da terra.

Como resultado dos processos de classificação de imagens, mapas de uso e cobertura da terra podem ser utilizados como dados de entrada para a análise da estrutura e composição da paisagem. Na seção seguinte, as formas de

representação da paisagem baseadas no modelo corredor-mancha-matriz, bem como índices utilizados para a caracterização de paisagens, são descritas.

2.4.1 Métricas para caracterização da estrutura e composição da paisagem

A evolução de uma paisagem é resultado de três mecanismos operando em diferentes escalas temporais: processos geológicos, geomorfológicos e de colonização de organismos (incluindo a população humana), este último se desenvolvendo em uma curta escala de tempo, ocasionando rápidas mudanças nos ecossistemas locais. A junção destes três mecanismos resulta em uma paisagem composta por diferentes formas de relevo, tipos de vegetação e usos da terra (FORMAN; GODRON, 1986).

Uma paisagem pode ser representada de diferentes formas, como gradientes, superfícies contínuas, mosaicos e redes (FORMAN, 1995; ALBERTI, 2009) . Para cada uma dessas representações existe um conjunto de técnicas e ferramentas adequadas para sua análise. Para a análise do processo de fragmentação da paisagem, por exemplo, a abordagem mais utilizada é a de mosaicos, que possibilita avaliar de forma quantitativa, a partir de métricas da paisagem, sua estrutura e composição. Nessa abordagem, a paisagem é representada por um modelo composto por três principais elementos: manchas, corredores e matriz (FORMAN, 1995).

As manchas podem ser definidas como uma superfície não linear, com bordas bem definidas, diferindo em aparência da sua vizinhança. Podem variar de tamanho, forma, tipo, representando áreas de habitat que apresentam um conjunto de espécies de plantas e animais que interagem entre si e com seu meio físico (FORMAN; GODRON, 1986). Os corredores são faixas de cobertura da terra lineares que diferem do entorno, e podem ser geradas de forma natural, como é o caso dos rios, cordilheiras e trilha de animais; ou por ação antrópica, como é o caso das estradas, canais, linhas de transporte de energia entre outros. A matriz é, por definição, o elemento mais extenso de uma paisagem e o mais conectado, onde estão imersos os outros elementos,

desempenhando um papel dominante em seu funcionamento (FORMAN, 1995).

Existe uma grande variedade de métricas que podem ser utilizadas para análise da estrutura da paisagem, ou seja, que avaliam o arranjo espacial dos elementos que compõe uma paisagem. Dentre elas se destacam as métricas de fragmentação, borda, forma, vizinho mais próximo, densidade, conectividade, isolamento, área, entre outras (MCGARIGAL; MARKS, 1995). Para a análise da composição da paisagem são utilizadas métricas de composição que possibilitam avaliar a dominância, equidade, abundância, riqueza e diversidade da paisagem.

Para análise da fragmentação da paisagem, podem ser utilizadas medidas que possibilitam avaliar o grau de ruptura de uma mancha de vegetação, enquanto as métricas de isolamento são utilizadas para medir o grau de isolamento de uma mancha ou de um conjunto de manchas. Métricas de conectividade também são utilizadas na análise de fragmentação da paisagem fornecendo índices que possibilitam gerar indicativos sobre a capacidade da paisagem de facilitar fluxos biológicos (MCGARIGAL; MARKS, 1995; METZGER, 2003).

Índices de composição, como o índice de diversidade de Shannon (SHDI), que se baseiam na relação entre riqueza (número de classes) e abundância (proporção de área das classes presentes na paisagem) são utilizados para avaliar a diversidade de classes de uso e cobertura da terra presentes em uma paisagem (MCGARIGAL; MARKS, 1995). No trabalho de Souza (2016), na região de Santarém, essa métrica foi utilizada para descrever níveis de homogeneização/heterogeneidade da paisagem e agentes da produção econômica local.

2.4.2 Tipologias de padrões de uso e cobertura da terra associadas às atividades econômicas agropecuárias e extrativistas

As atividades de uso e cobertura da terra bem como os sistemas técnicos produtivos associados têm sido abordados por diferentes autores a partir de diferentes perspectivas. Alguns autores, como Boserup (1970) apresentam,

através de modelos teóricos, tipologias dos sistemas técnico-produtivos, descrevendo suas categorias a partir da análise de processos de intensificação do uso da terra, tendo como base as atividades agrícolas e a duração de períodos de pousio. A intensificação do uso da terra é comumente definida como um processo em que as atividades agropecuárias são desenvolvidas com a intenção de aumentar a produtividade ou o lucro por unidade de área (BRONDÍZIO; SIQUEIRA, 1997; HOMMA, 2012; MARTIN et al., 2018).

No presente trabalho o arcabouço teórico utilizado envolve o conceito de Trajetórias Tecnológicas (TT's), desenvolvido por Costa (2009), e de tipologias de PLU's, adaptada de Dal'Asta (em preparação) e Souza (2016), esta última desenvolvida para a região Sudoeste do Pará.

A abordagem de Costa (2009) vai além da categorização dos sistemas produtivos por níveis de intensificação do uso da terra. O conceito de TT, utilizado pelo autor, relaciona-se com a forma com que questões relativas ao processo de produção são resolvidas, a partir de um conjunto de decisões tomadas por agentes, em um determinado nível econômico, local ou regional. Dessa forma, um produtor que possui tecnologia, mas menor acesso ao capital, resolve seus problemas de forma diferente do produtor que possui acesso ilimitado aos mesmos elementos.

Ainda segundo Costa (2009), a natureza pode ser vista sob duas perspectivas: como matéria-prima ou como o objeto do trabalho humano e força produtiva, ou seja, como 'capital natural'. Considerando as formas de relação com a natureza, configuram-se dois paradigmas tecnológicos distintos na realidade da produção rural da Amazônia: *paradigma agropecuário*, em que as soluções técnicas pressupõem o desmanche da natureza e; o *paradigma agroextrativista*, como capital produtivo, em que as soluções técnicas convivem com a natureza. No primeiro caso, ela é tratada como algo substituível, sendo considerada como matéria genérica que entra nos processos produtivos como, por exemplo, a madeira que é retirada do bioma e é processada transformando sua natureza. No segundo caso, a natureza faz parte do processo produtivo e possui valor agregado. Neste caso, o agente compreende a importância da

manutenção da natureza, uma vez que sem ela é impossível dar continuidade a sua produção.

De acordo com Costa (2009), a perspectiva que trata a natureza na condição de matéria prima, indicando o desmonte do bioma originário para comercialização de suas partes, é parte integrante do sistema de produção identificado como *paradigma agropecuário*. Quando se pressupõe a manutenção da natureza originária, configura-se um paradigma tecnológico tratado como *paradigma extrativista*. Dentre as diversidades dos agentes, o autor posiciona a natureza em relação às trajetórias tecnológicas de dois modos, baseado em duas racionalidades:

- 1- Patronal. Nesta lógica a natureza é tratada como matéria prima. A natureza originária é removida, cedendo lugar às atividades exógenas ao bioma, como a pecuária e agricultura, que fazem uso intensivo do paradigma mecânico-químico. Essa racionalidade está associada aos sistemas agropecuários homogêneos, com sistemas produtivos intensivos e uso de insumos mecânicos e químicos, sendo extensivo no que se refere ao tamanho das áreas utilizadas. Caracteriza-se pela produção de grandes commodities, provenientes da pecuária e agricultura extensiva com racionalidade empresarial, baseada na maximização do lucro e mão de obra assalariada (BRONDÍZIO, 2008; COSTA, 2009).
- 2- Camponês. Lógica caracterizada pela centralidade das famílias nos processos de decisão. Neste caso, a natureza é tratada como força produtiva, oferecendo os elementos necessários para a produção. Essa racionalidade está associada aos sistemas mais diversificados de uso da terra, que incluem o extrativismo, pecuária (corte e leite de pequena escala), agricultura temporária e permanente, e pode ser caracterizada pelo uso, principalmente, de mão de obra familiar.

Essas duas lógicas, camponesa e patronal, diferem pelos modos de produção, uso de tecnologia, racionalidade na tomada de decisão, e pela forma como se

relacionam com a natureza, configurando os diferentes sistemas produtivos rurais da Amazônia (COSTA, 2020a, 2021, SOUZA et al, submetido).

Para a obtenção das categorias de TT's, Costa (2019), além do referencial teórico em economia regional (DOSI, 1982 apud COSTA 2009) , utiliza dados do Censo de 1995 -1996 e 2006 e 2017, como o valor bruto da produção (VBP), entre outras variáveis, considerando grupos de produtos utilizados nos sistemas patronal e (IBGE, 1998; 2009) camponês, Técnicas estatísticas são utilizadas para fazer emergir as diferentes categorias (COSTA, 2009). Com isso, o autor descreve as principais trajetórias tecnológicas presentes na Amazônia em cada ano analisado, explicitando os diferentes sujeitos/ agentes da produção, suas diferenças e racionalidades.

Codeço et al. (2021) fazem uma síntese das TT's estabelecidas por Costa (2019), apresentada na Tabela 2.2, e descrevem para cada categoria, a paisagem gerada e o nível de impacto ambiental, considerando as atividades produtivas locais, diferentes agentes e sistemas produtivos, além do tipo de mão de obra empregado. As duas principais racionalidades econômicas são apresentadas configurando as principais lógicas técnico-produtivas da Amazônia e suas diferentes maneiras de interação com o bioma (COSTA, 2009).

Tabela 2.2: Definições das Trajetórias tecnológicas.

Trajetórias tecnológicas (TT)		Descrição dos padrões da paisagem	
Sistema Camponês	TT1	Sistemas de produção que convergem para a agricultura de caráter permanente (cacau, pimenta, café) e temporárias (mandioca, milho, arroz e feijão). Colheitas com composições e diversidade variadas, mas ainda mantendo um nível de diversidade estrutural em sua operação.	Mosaicos heterogêneos de cobertura da terra compostos por pequenas culturas temporárias e permanentes, vegetação secundária em diferentes estágios, pequenas pastagens e grandes contínuas áreas florestais.
	TT2	Sistemas de produção agroflorestais, compostos principalmente por dois tipos: Um baseado em extração não madeireira (açai, nozes, ceras, borracha, óleos - andiroba, copaíba, etc.) e outra baseada em sistemas agroflorestais com culturas permanentes (principalmente cacau). Ambos estão profundamente enraizados na diversidade estrutural como um contexto ecológico essencial para a produção.	Predominância de grandes áreas florestais contínuas, que podem ou não conter pequenas manchas de vegetação e culturas permanentes associadas à cobertura florestal.
	TT3	Sistemas produtivos que convergem para gado pequeno/médio pecuária com a produção de laticínios ou gado de corte, muitas vezes associados a temporários (mandioca, arroz, feijão, milho) e/ou culturas permanentes (cacau, erva-doce, café).	Predominância de pastagens pequenas e médias áreas, que podem conter arbustos e árvores (pastagem não manejada) associado a pequenas áreas de cultivo, vegetação secundária em estágios iniciais e fragmentos de floresta.
Sistemas Patronais	TT4	Sistemas produtivos que convergem quase exclusivamente para a pecuária de corte. Esses sistemas podem apresentar safras compreendendo espécies forrageiras para a pecuária, como milho e cana-de-açúcar	Paisagens homogêneas consequentes da dominância de grandes áreas de pastagens limpas (manejada) com pequenas manchas de fragmentos de florestas.
	TT5 e 6	Sistemas produtivos baseados no cultivo de culturas permanentes (TT5), como óleo de palma (dendê) ou açai irrigado de sequeiro, e sistemas silviculturais (TT6), com cultivo de espécies exóticas, espécies florestais nativas e a extração de produtos como madeira, lenha, nozes, ceras e gomas, entre outros.	Paisagens homogêneas provocadas pela dominância de grandes manchas contendo uma ou algumas espécies de árvores e arbustos plantados. No caso da silvicultura, podem ocorrer algumas áreas de colheita de madeira. A paisagem pode ou não apresentar remanescentes florestais.
	TT7	Sistemas produtivos voltados para safras temporárias apresentando os forte uso de tecnologias mecânicas e /ou químicas, principalmente para cultivo de grãos (soja, arroz, milho, etc.).	Paisagem homogênea gerada pela dominância de grandes manchas de uma única cultura com ou sem poucos e pequenos remanescentes florestais.

Fonte: Adaptado de Codeço et al. (2021) e Costa (2009).


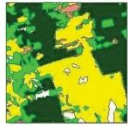
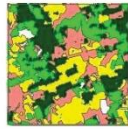
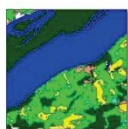

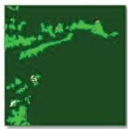
As trajetórias tecnológicas emergem das relações entre os modos de produção e os paradigmas de uso da natureza (COSTA, 2009). São resultantes da interação entre diferentes fatores como incentivos externos (projetos de desenvolvimento e mercado de produtos agrícolas), características das comunidades locais (organização, infraestrutura e posse da terra) e acesso a recursos e tecnologias que podem gerar diferentes tipos e padrões de paisagem.

Procurando utilizar a paisagem, para fazer a mediação entre dados de uso e cobertura da terra derivados de imagens de satélite, Souza (2016), baseada na análise de padrões de paisagem, adapta a tipologia das trajetórias tecnológicas de Costa (2009), e estabelece uma tipologia de PLU's, associada aos sistemas técnicos produtivos da região sudoeste do Pará. A tipologia desenvolvida pela autora é, na verdade, uma aproximação dos conceitos estabelecidos por Costa (2009), utilizando dados sensoramento remoto, de campo e do censo agropecuário, para identificar diferentes padrões espaciais associados às diferentes atividades produtivas e aos agentes. O mapeamento das PLU's é realizado por meio de mapas de uso e cobertura da terra, métricas de paisagem e técnicas de mineração de dados.

A categorização desenvolvida por Souza, como mencionado, baseia-se na tipologia proposta por Costa (2009), em que o nível de intensificação do uso da terra, também é considerado. Com o mapeamento das PLU's, representadas por células² de 8X8 km, é feita a caracterização das comunidades ribeirinhas e de terra firme que se inserem em diferentes contextos de produção na região sudoeste do Pará. A tipologia de padrões de uso e cobertura da terra desenvolvida pela autora é apresentada na Tabela 2.3. Dados de uso e cobertura da terra do TerraClass (ALMEIDA et al., 2016) são refinados para gerar a classe *agricultura de pequena escala*. Esses dados são também utilizados para representar os diferentes padrões de paisagem que correspondem às categorias definidas nesta tipologia.

² O tamanho da representação celular utilizada por Souza (2016), foi definido tanto empiricamente, com conhecimento da área de influência das comunidades e mapas de uso e cobertura da terra. Quanto a partir de expedições de campo e na literatura, onde foi observado que os moradores das comunidades estão situados a uma distância de 8km de suas áreas de produção agrícola e de caça.

Tabela 2.3: Tipologias de padrões de uso e cobertura da terra associadas às atividades econômicas agropecuárias e extrativistas.

Padrão	Categorias e Agentes	Padrões Espaciais	Atividade produtiva dominante	Descrição
	Patronal Agricultura Anual - PAA	A agricultura anual é caracterizada pela forma geométrica regular isolada com manchas de vegetação secundária contínua.	Agricultura de larga escala (culturas anuais enfatizada na produção de grãos)	Sistema de produção intensivo de uso da terra, predominando a agricultura anual de larga escala, fazendo uso intensivo do solo, insumos e defensivos agrícolas. Possui Mão de obra assalariada.
	Patronal Pecuária -PP	O pasto Limpo se diferencia pela forma geométrica regular com fragmentos de vegetação secundária e pasto sujo irregulares.	Atividade produtiva de larga escala voltada para a pecuária.	Sistema de produção intensivo de uso da terra voltado para a pecuária. Pode empregar técnicas de manejo de pastagem como: pastejo rotacionado e com infraestrutura em boas condições (curral, piquetes, cerca, cocho etc.)Dependem predominantemente da mão de obra assalariada.
	Transitório entre Patronal e Agricultura Familiar	A mancha de pasto limpo apresenta forma geométrica regular e irregular. Possui manchas de vegetação secundária com forma irregular e pasto sujo com forma irregular.	Atividade produtiva baseada em pecuária e culturas perenes.	Sistema de uso da terra, em geral, em transição de extensivo para intensivo. A atividade pode ser voltada tanto para a pecuária, quanto para produção de cacau, mandioca, banana e pimenta. Possui Mão de obra familiar ou assalariada temporária.
	Agricultura Familiar	Pasto limpo e sujo tem mancha geométrica irregular e pequena. As manchas de agricultura de pequena escala tem formato geométrico regular pequeno e isolado próximo a manchas de vegetação secundária e grandes extensões de floresta.	Atividade produtiva de culturas perenes e anuais, cuja ênfase é a agricultura familiar.	Sistema extensivo de uso da terra, baseado em agricultura familiar com cultivos de lavouras brancas (arroz, feijão, milho, mandioca), produção de frutas etc. Mão de obra familiar
	Extrativismo e Agricultura Familiar	Possui áreas de pasto limpo e sujo, ambos de forma irregular e isolados. A mancha de agricultura de pequena escala tem formato pequeno, geométrico e regular com vegetação secundária em seu entorno, podendo variar de tamanho e sendo contínua. A mancha de floresta é grande.	Atividade produtiva baseada em recursos florestais (não madeireira), na pesca e na plantação de culturas (perene e anual).	Sistema extensivo do uso da terra e predominância de atividades relacionadas com a extração de recursos florestais não madeireiros e atividades de pesca.
	Extrativismo	Possui mancha grande e contínua de floresta. A mancha de vegetação secundária possui formato irregular pequeno, isolado e alongado. As manchas de pasto sujo e limpo tem forma irregular, pequena e isolada.	Atividade de produção é baseada no extrativismo de origem animal e vegetal.	Sistema extensivo de uso da terra com predominância de atividades de extração de produtos não madeireiros e recursos naturais de origem animal e vegetal. Depende da mão de obra familiar.

Legenda

 Agricultura de Larga Escala	 Água	 Pastagens
 Agricultura de Pequena Escala	 Floresta	 Vegetação Secundária

Fonte: Souza (2016).

No refinamento dos dados do TerraClass, Souza (2016) utilizou imagens do sistema sensor REIS/RapidiEye-2. Com essas imagens foi possível identificar e caracterizar os diferentes padrões espaciais de uso e cobertura da terra do entorno das comunidades ribeirinhas e de terra firme, além de identificar diferentes contextos de intensificação e de diversidade de paisagem.

A seguir são apresentadas as técnicas de mineração de dados utilizadas por Souza (2016), adotadas no presente trabalho.

2.4.3 Mineração de dados para o mapeamento de padrões de uso e cobertura da terra

A mineração de dados pode ser definida como um conjunto de métodos para identificar padrões a partir de um conjunto de dados, agregando algum nível de informação (RUSHING et al., 2005). Estes métodos lidam com o desafio de capturar padrões e agentes, presentes no espaço geográfico, extraíndo conhecimentos específicos para compreender ou decidir sobre temas relevantes, incluindo mudanças no uso da terra, variações climáticas e estudos de biodiversidade (KORTING, 2012). Nos procedimentos de mineração de dados pode-se considerar uma imagem digital como um conjunto de dados, em que diversos atributos estão relacionados com cada registro ou instância. Por exemplo, cada pixel pode ser um registro ou instância e os valores de reflectância de cada banda espectral podem ser considerados como atributos dos pixels. Entretanto, alguns desses atributos podem ser irrelevantes (não influenciam o conjunto de dados), ou ainda, redundantes (não adicionam nenhuma nova informação). As técnicas de mineração de dados ao serem utilizadas na classificação de imagens, permitem selecionar atributos que melhor contribuem para uma classificação (NEVES et al., 2017).

Um sistema de mineração de dados bastante utilizado em trabalhos que fazem a associação entre padrões e processos de mudança do uso e cobertura da terra na Amazônia é o GeoDMA³ - *Geographic Data Mining Analyst* (KÖRTING; FONSECA; CÂMARA, 2013), plugin do software TerraView (INPE, 2018). Esse sistema integra desde técnicas de segmentação e extração de atributos de paisagens, recursos de mineração de dados utilizados para o reconhecimento e o mapeamento de padrões de paisagens, e análises multi-temporais em grandes bancos de dados geográficos. O sistema, também, utiliza métricas espaciais, de paisagens e espectrais como atributos para a

³ O GeoDMA - *Geographic Data Mining Analyst*, funciona como um plugin no software TerraView (INPE, 2018), que integra desde técnicas de segmentação e extração de atributos de paisagens, até recursos de mineração de dados. Permite o reconhecimento e o mapeamento de padrões de paisagens e análises multi-temporais em grandes bancos de dados geográficos (KÖRTING; FONSECA; CÂMARA, 2013).

análise e classificação de padrões espaciais de uso da terra. O algoritmo utilizado para criar a árvore de decisão e classificar a imagem é o C4.5 (QUINLAN, 2021). As árvores de decisão são construídas a partir de um conjunto de amostras de classes, definidas pelo usuário, para treinamento. A árvore é produzida escolhendo as melhores decisões (atributos) que permitem separar as classes, por meio de uma medida de entropia.

Um outro algoritmo de mineração de dados implementado no GeoDMA (KÖRTING; FONSECA; CÂMARA, 2013) é o *Boosting* - C 5.0, que gera "n" árvores de decisão. O valor de "n" é definido pelo usuário, que pode utilizar os resultados obtidos nas sequências anteriores, de forma combinada e, assim, melhorar o resultado final da classificação, diminuindo possíveis erros, uma vez que a classe atribuída é aquela que recebe maior votação (DE OLIVEIRA; VENTURIERI, 2018; QUINLAN, 2021).

Na literatura, encontram-se vários trabalhos que utilizam essas técnicas que possibilitam associar padrões de uso e cobertura da terra à diferentes agentes e formas de produção na Amazônia. Silva et al. (2008), por exemplo, utilizaram um conjunto de métricas de paisagem e técnicas de mineração de dados para identificar e caracterizar diferentes padrões de desmatamento associados à diferentes atores e formas de ocupação. Os padrões espaciais de desmatamento identificados nas imagens foram associados às atividades de pequenos, médios e grandes agricultores e pecuaristas, na região do Xingu-Iriri, no Sudeste do Pará, e no município do Vale do Anari, em um projeto de assentamento do INCRA, em Rondônia, observando processos de concentração de terras.

Gavlak (2011) utilizou indicadores demográficos e ambientais, obtidos a partir de dados do censo demográfico e de mudanças de cobertura florestal, para identificar e caracterizar as associações entre a dinâmica populacional e dinâmica das mudanças de cobertura da terra no Distrito Florestal Sustentável da BR-163 (DFS), no estado do Pará, observando o período de 1997 a 2007. Neste trabalho, o autor utilizou o classificador estrutural implementado no

GeoDMA para identificar e classificar células que representam diferentes estágios da fronteira agropecuária.

Souza (2016) utilizou o algoritmo C 4.5 (QUINLAN, 2021) e, a partir do modelo teórico das tipologias apresentado na Tabela 2.3 da Seção 2.5.1, realizou a classificação de paisagens relacionadas com as trajetórias tecnológicas. Esse trabalho foi realizado para uma região extensa do sudoeste paraense para o ano de 2012, cujo objetivo foi caracterizar o contexto produtivo em que comunidades ribeirinhas e de terra firme estavam inseridas na área de estudo relacionando sua produção agropecuária e extrativista para consumo e venda com indicadores ambientais e socioeconômicos.

Pinheiro et al (2016) utilizaram o algoritmo C4.5 para a análise de padrões de degradação florestal no período de 1985 a 2011 em uma região do Estado do Pará para avaliação de trajetórias de degradação florestal relacionadas com eventos de exploração madeireira e fogo florestal. Nesse trabalho foi estabelecida uma tipologia representando um gradiente de intensidade de degradação florestal a partir dos padrões espaciais da cobertura florestal presentes na área estudada. Essa mesma metodologia foi utilizada por Oliveira e Venturieri (2018) com dados de uso e cobertura da terra do TerraClass para os anos de 2008 e 2010, para avaliar a dinâmica de paisagens florestais nas regiões do Araguaia e Tapajós no Pará.

No bioma Cerrado, as mesmas técnicas e metodologia semelhante foram utilizadas para avaliar as mudanças de paisagem em uma área de expansão da fronteira agrícola na Bahia com dados de desmatamento de 2020 e de uso e cobertura da terra (ASSIS; ESCADA; AMARAL, 2021). As autoras mostraram que a expansão da agricultura de grãos em larga escala ocorreu nos limites entre paisagens que apresentavam nível intermediário de fragmentação com áreas de vegetação íntegra, exercendo uma forte pressão sobre elas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

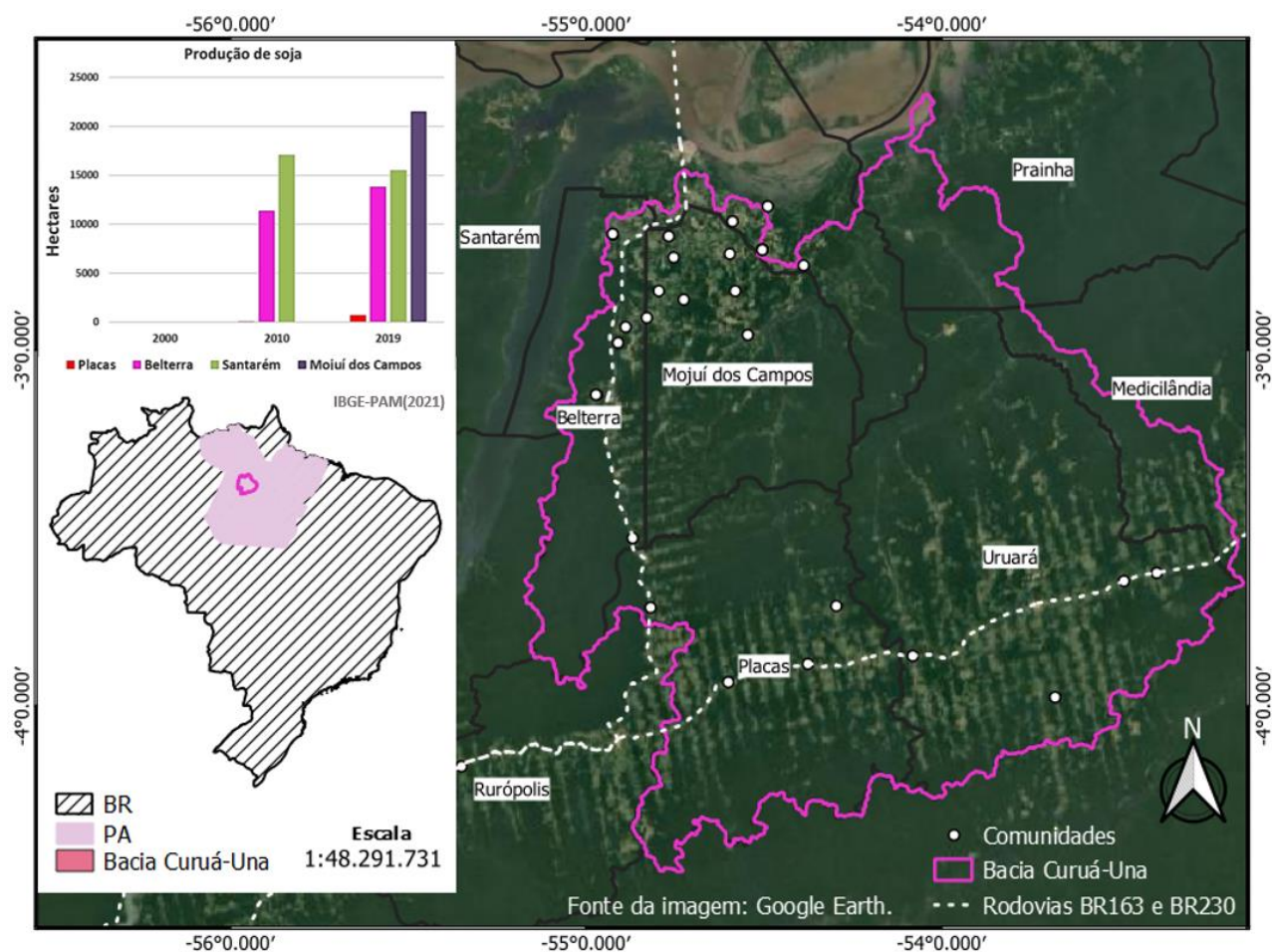
3.1 Descrição da área de estudo

Nesta seção é apresentada a descrição geral da área de estudo, indicando alguns marcos que influenciaram as mudanças de uso e cobertura da terra na região.

A área de estudo é delimitada pela bacia hidrográfica do rio Curuá-Una (Figura 3.1), afluente do rio Amazonas. A bacia possui uma área de aproximadamente 31 mil km² e abrange os municípios de Uruará, Placas e Mojuí dos Campos e parte dos municípios de Santarém, Prainha, Medicilândia e Belterra. Segundo a classificação de Köppen, a região tem um clima predominante do Subtipo “Af3” (KÖPPEN, 1936), caracterizado por elevados índices pluviométricos ao longo do ano, não apresenta estação seca e a precipitação do mês menos chuvoso é igual ou superior a 60 mm. Além disso, a umidade relativa apresenta valores acima de 80%, com precipitação média anual de 2000 a 2500 mm. Os tipos de solo da bacia variam de Gleissolo, Plintossolo, Neossolo, Argissolo e Latossolo (SEMA, 2020).

Um dos marcos importantes foi a construção da Usina Hidrelétrica Curuá-Una, inaugurada em 1977 e localizada na Cachoeira do Palhão, 70km a sudeste de Santarém, com capacidade inicial de 20 MW, e uma área alagada inferior a 100 km². Desde a instalação da usina, tem-se registro de povoamento ao longo da bacia. Registros de 2003 estimaram uma população no entorno da represa de 1.900 pessoas, exercendo primordialmente atividades associadas ao extrativismo e à agricultura (MPEG, 1985; OLIVEIRA, et al., 2003).

Figura 3.1: Área de estudo.



Fonte: Produção da autora.

A região é caracterizada pela presença de pequenos a grandes imóveis rurais, pecuária extensiva, agricultura anual de larga escala e familiar e extrativismo (PRINTES, 2017). Destacam-se a produção de açaí, cana-de-açúcar, mandioca, soja, arroz, milho, urucum e pimenta do reino como os principais produtos produzidos (IBGE, 2017). A produção de soja na bacia inicia-se nos anos 2000 a partir de incentivos estatais para expansão do agronegócio, além da instalação do porto da Cargill em 2003, em Santarém, que intensificou o plantio de soja na região (AMARAL et al., 2009; SANTOS, 2020).

Dentre os municípios que fazem parte da bacia, de acordo com registros do censo agropecuário, em 2006 e 2018 (Figura 3.1), a produção de soja obteve um expressivo aumento. Os municípios de Santarém e Mojuí dos Campos se

mantiveram como maiores produtores da área de estudo, sendo este último criado em 2013, a partir de um desmembramento do município de Santarém.

3.2 Material

A etapa de mapeamento do uso e cobertura da terra para a avaliação da expansão agrícola de larga escala foi realizada tendo como base dados provenientes do Landsat e dados auxiliares provenientes de diferentes sensores, cujas características são apresentadas na Tabela 3.1. Imagens Landsat⁴, sensores TM e OLI, foram utilizadas para o mapeamento de uso e cobertura da terra, enquanto imagens do Google Earth e do catálogo de imagens Planet⁵, com resolução espacial de 3m, foram utilizadas para a avaliação das classificações dos mapas de uso e cobertura da terra e das PLU's.

⁴Assim como Souza (2016) utilizou para o refinamento do dado de uso e cobertura da terra as bandas: 5 (760- 850 nm), 4 (690 - 730 nm) e 3 (630 - 685 nm) do sensor TM, também foram utilizadas neste trabalho para os anos 2000 e 2010. Para a classificação do uso e cobertura da terra do ano de 2019 as bandas utilizadas foram: 4 (640-690 nm), 3 (530-590nm) e 2 (450-510nm). Sendo que todas as bandas utilizadas foram convertidas para reflectância de superfície gratuitamente pela USGS (United States Geological Survey) em <<https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-science-products>>.

⁵As imagens Planet são disponibilizadas através de uma parceria entre o INPE e a Iniciativa Internacional de Clima e Florestas da Noruega. <<http://www.dpi.inpe.br/fipcerrado/planetexplorer/>>.

Tabela 3.1: Imagens e dados utilizados para o mapeamento e refinamento do uso e cobertura da Terra.

	Satélite/ Sensor	Órbita/ponto	Bandas utilizadas (RGB)	Resolução espacial	Resolução temporal	Data
Refinamento	Landsat 5/TM	227/062	5,4,3	30 m	16 dias	1999
	Landsat 5/TM	226/062	5,4,3	30 m	16 dias	2000
	Landsat 5/TM	227/063	5,4,3	30 m	16 dias	2000
	Landsat 5/TM	226/063	5,4,3,EVI	30 m	16 dias	2000
	Landsat 5/TM	227/062	5,4,3,EVI	30 m	16 dias	2010
	Landsat 5/TM	226/062	5,4,3,EVI	30 m	16 dias	2010
	Landsat 5/TM	227/063	5,4,3,EVI	30 m	16 dias	2010
	Landsat 5/TM	226/063	5,4,3,EVI	30 m	16 dias	2010
Classificação	Landsat 8/OLI	227/062	4,3,2,EVI	30 m	16 dias	2019
	Landsat 8/OLI	226/062	4,3,2,EVI	30 m	16 dias	2019
	Landsat 8/OLI	227/063	4,3,2,EVI	30 m	16 dias	2019
	Landsat 8/OLI	226/063	4,3,2,EVI	30 m	16 dias	2019
	Dado	Fonte	Resolução espacial	Data		
Máscará	PRODES	INPE	30 m	Anual	2019	
	Uso e cobertura da terra- TerraClass	INPE	30 m	-	2014	
Avaliação	Google Earth Pro	Google	-	-	-	
	Mosaico Planet	Planet/INPE	-	-	-	

Fonte: Produção da autora.

Neste trabalho utilizamos as bandas 5, 4, e 3 acrescidas do índice EVI (Enhanced Vegetation Index – Índice de Vegetação Melhorado) que auxilia no mapeamento da vegetação e por apresentar menor interferência dos efeitos decorrentes do processo de imageamento, como iluminação e atenuação atmosférica. Segundo Huete et al. (1997) o índice otimiza os sinais da vegetação, minimizando a influência da atmosfera (Equação 3.1). Embora o

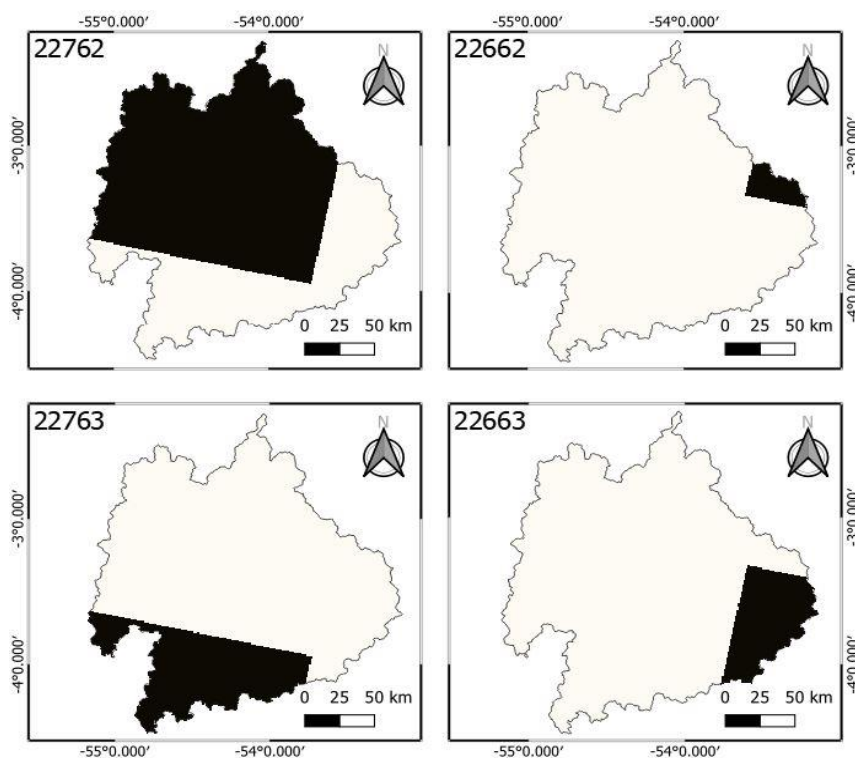
NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) seja um índice comumente utilizado para correção de efeitos decorrentes do processo de imageamento, optamos pelo EVI, pois o NDVI é afetado pela variação nas propriedades dos solos, causando saturação (NOVO et al., 2005; PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{L + \rho_{NIR} + C_1 * \rho_{RED} - C_2 * \rho_{BLUE}} \quad (3.1)$$

onde L é o fator de ajuste para o solo; G é o fator de ganho, C1 e C2 são coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis presentes na atmosfera. ρ_{NIR} , ρ_{RED} e ρ_{BLUE} referem-se à refletância da superfície de infravermelho próximo (NIR). Os valores adotados pela equação de EVI são: L=1, C1=6, C2=7,5 e G= 2,5 (HUETE, 1997; JUSTICE et al., 1998). Sendo que o índice foi fornecido gratuitamente pela USGS (United States Geological Survey).

A área mapeada de cada cena Landsat, que compõe a área de estudo da bacia Curuá-Una é apresentada na Figura 3.2., enquanto a Tabela 3.2 apresenta os dados utilizados na classificação das PLU's.

Figura 3.2: Recobrimento da bacia considerando os limites de cada cena Landsat.



Fonte: Produção da autora.

Tabela 3.2 – Dados utilizados para a classificação das PLU's.

Descrição	Ano	Fonte	Resolução Espacial
Uso e Cobertura da Terra – TerraClass refinado	2000	INPE	30 m
Uso e Cobertura da Terra – TerraClass refinado	2010	INPE	30 m
Uso e Cobertura da Terra	2019	Produção da autora	30 m

Fonte: Produção da autora.

Para realização dos processamentos das imagens, das operações espaciais e mineração de dados, foram utilizados os seguintes aplicativos:

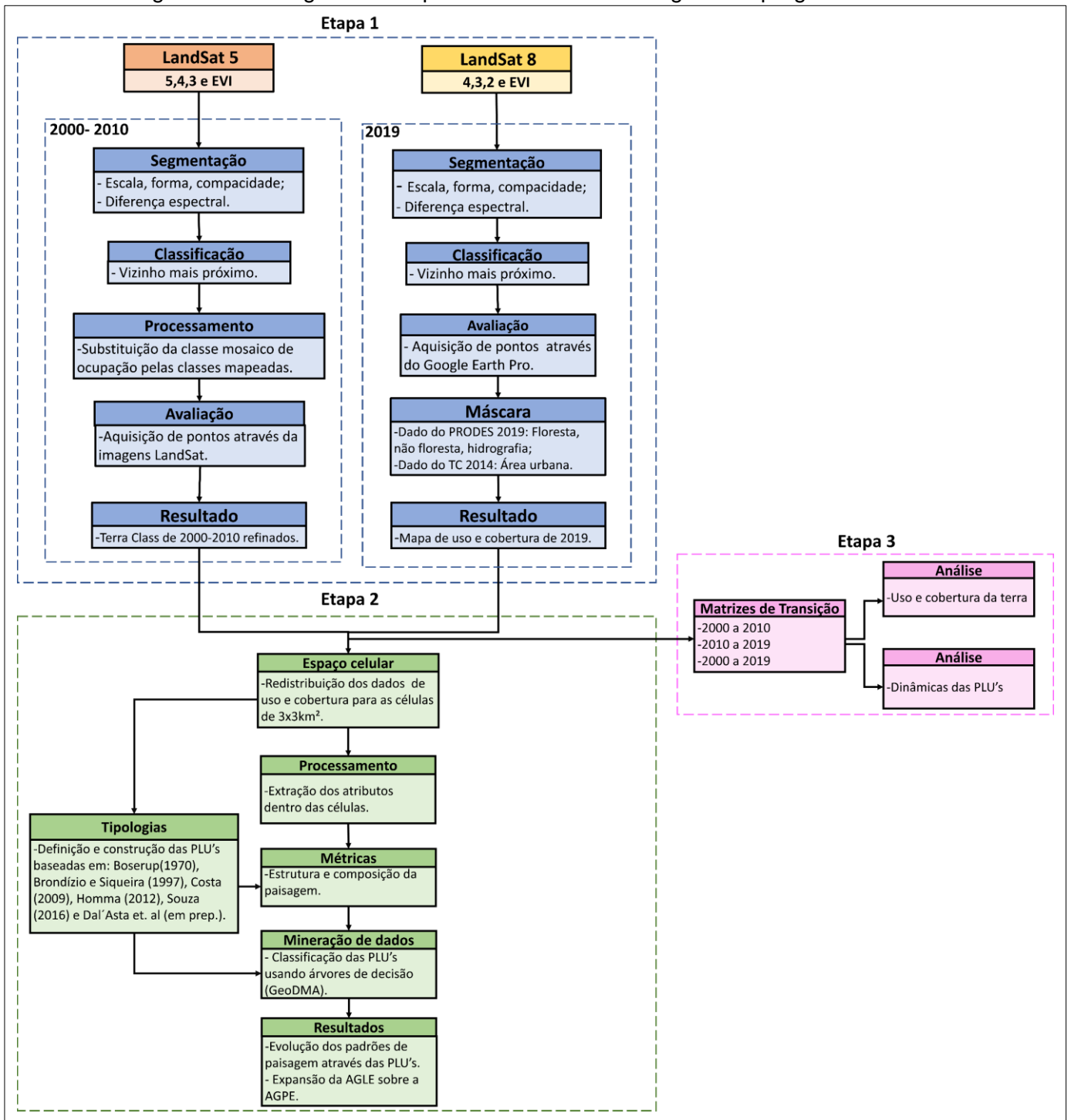
- eCognition versão 9 (TRIMBLE, 2021).
- Sistema de Processamento de Informações Geográficas- SPRING 5.4 (CÂMARA et al., 1996).
- GeoDMA 2.0.0 – C5.0 (KÖRTING, T. S. et al., 2013;QUINLAN, 2021).
- QuantumGis 3.18.
- R Script (COSTA, 2018).

3.3 Procedimentos metodológicos

A metodologia deste trabalho é apresentada em 3 etapas, como pode ser observado no fluxograma da Figura 3.3. A primeira etapa compreende o mapeamento do uso e cobertura da terra para os anos investigados. Nesta etapa foi realizado o refinamento do TerraClass de 2000 e 2010, e a classificação do ano de 2019. Na segunda etapa são apresentados os procedimentos para identificação e classificação das PLU's, com técnicas de mineração de dados e o uso de métricas de paisagem. As PLU's são representadas por uma grade celular, cujo tamanho de 3 X 3 km foi definido, empiricamente, em função das dimensões, composição e arranjos espaciais das manchas de uso e cobertura da terra da área de estudo.

Na terceira etapa são descritos os procedimentos utilizados na integração dos dados e na análise de resultados obtidos nas etapas anteriores. Essas etapas estão detalhadas nas seções seguintes, tendo como base o fluxograma apresentado na Figura 3.3.

Figura 3.3: Fluxograma com procedimentos metodológicos empregados.



Fonte: Produção da autora.

3.3.1 Mapeamento do uso e cobertura da Terra

Como mencionado na Seção 2.2, a área de estudo passou por grandes modificações relacionadas aos processos de ocupação da terra, ocasionadas

pela expansão do agronegócio no final da década de 1990. Para compreender melhor este processo, descrever e relacionar os agentes que influenciaram essas modificações, é necessário observar a área de estudo em diferentes períodos para a análise temporal das mudanças do uso e cobertura da terra na região. Esta análise possibilita avaliar as transições no período compreendido entre os anos 2000, 2010 e 2019, para identificar os modos de produção predominantes na região, e como a agricultura de larga escala se expandiu sobre os usos da terra existentes e como transformou a paisagem.

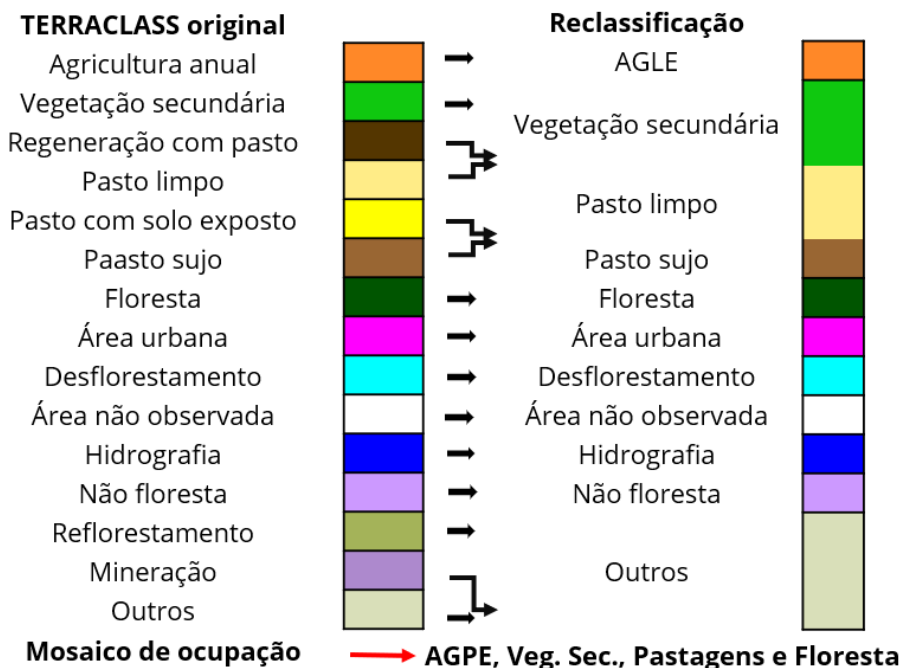
Para o mapeamento do uso e cobertura da terra utilizou-se três procedimentos. O primeiro, a reclassificação dos mapas de uso e cobertura da terra para a simplificação da legenda do TerraClass, mantendo o foco nas principais classes de interesse para esse trabalho. O segundo procedimento consistiu no refinamento dos dados de uso e cobertura da terra do TerraClass, para os anos de 2000 e 2010, incluindo a classe de agricultura de pequena escala (AGPE). No terceiro procedimento foi realizada a classificação completa do uso e cobertura da terra para 2019, utilizando o mesmo conjunto de classes dos dados refinados de 2000 e 2010. A classificação completa das imagens de 2019 foi realizada devido à inexistência de mapas do TerraClass para este ano. Nessa seção os procedimentos para o refinamento são apresentados nas Subseções 3.3.1.1, 3.3.1.2 e 3.1.1.3.

3.3.1.1 Reclassificação das classes de uso e cobertura da terra do TerraClass

A reclassificação dos dados do TerraClass (2000 e 2010) foi realizada com o intuito de simplificar a legenda, mantendo-se apenas as principais classes de interesse desse trabalho. Essa legenda foi utilizada também na classificação das imagens OLI/Landsat para o ano de 2019, acrescida da classe agricultura de pequena escala, cujos procedimentos utilizados são descritos na Seção 3.3.1.2 Os critérios definidos para a reclassificação e geração da legenda simplificada estão apresentados na Figura 3.4. As classes consideradas para a reclassificação foram definidas a partir de análises realizadas na região de

estudo. A classe *agricultura de pequena escala* (AGPE) foi refinada a partir da classe *mosaico de ocupações*, cujos procedimentos de classificação são apresentados na Seção 3.2.1.2. Além disso, as classes de *reflorestamento* e *mineração* foram agregadas à classe *outros* e a classe *regeneração com pasto* foi agregada à classe de vegetação secundária.

Figura 3.4: Reclassificação e refinamento do TerraClass.



Fonte: Produção da autora.

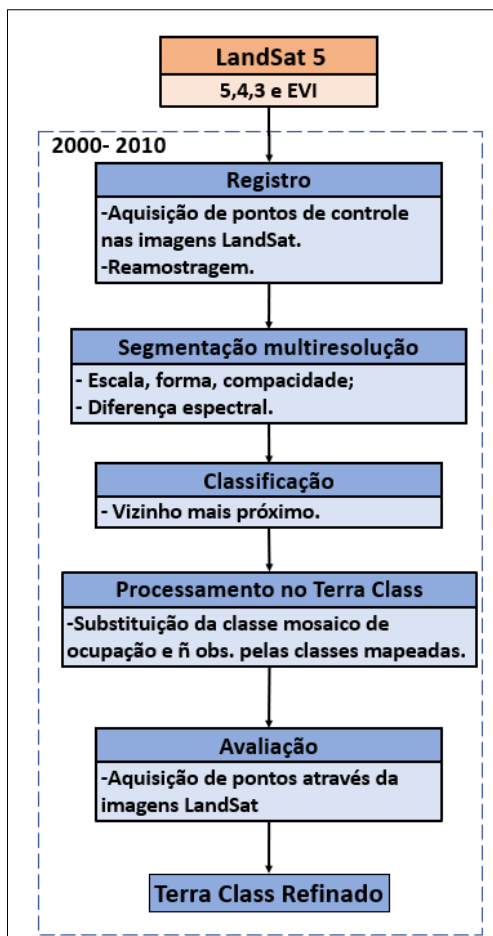
3.3.1.2 Refinamento dos dados do TerraClass

Para a identificação e mapeamento da *AGPE*, classe inexistente no dado do TerraClass, foi feito o refinamento da classe *mosaico de ocupação* do TerraClass para os anos 2000 e 2010. O refinamento foi realizado com as imagens Landsat 5/TM, para o ano de 2000, devido à indisponibilidade de dados com resolução espacial de maior detalhe do que a do Landsat. Para 2010, embora existam imagens disponíveis do RapidEye (com resolução espacial de 5 m), o esforço para mapear toda a bacia (31 mil km²) seria muito grande, sendo necessárias mais de 15 cenas para cobrir toda a área da bacia. Esses dois anos foram, portanto, refinados com imagens Landsat 5, a partir

dos procedimentos desenvolvidos por Souza et al (2019) e por Santos (2018) para a região nordeste do Pará.

Souza (2016) e Souza et. al. (2019), para identificar e mapear a classe de AGPE, refinaram a classe *mosaico de ocupação e vegetação secundária*, considerando que esse tipo de agricultura, em que predominam áreas de cultivo de mandioca, pimenta, cacau, entre outros, ocorre associado à vegetação secundária, devido ao sistema de pousio ou agroflorestal. Seguindo essa metodologia, no presente trabalho, optou-se por refinar a classe *mosaico de ocupações* para 2000 e 2010, uma vez que a vegetação secundária já está inserida no contexto da AGPE, e pequenas áreas de pastagem podem ser associadas a práticas de AGPE. Além disso, a classe *área não observada* do TerraClass de 2000, também foi refinada, utilizando imagens de 1999, que não apresentavam cobertura de nuvens. Os procedimentos propostos para o refinamento da classe de *mosaico de ocupações* e *área não observada* do TerraClass para os dois anos, bem como para a avaliação do mapa resultante, são esquematizados na Figura 3.5.

Figura 3.5: Procedimentos para o refinamento das classes mosaico de ocupações e área não observadas, do TerraClass.



Fonte: Produção da autora.

A primeira etapa do refinamento consistiu no procedimento de registro entre os dados do TerraClass e as imagens Landsat. Neste procedimento os pontos de controle foram adquiridos de forma manual, com os dados do TerraClass e as imagens Landsat e, reamostrados pelo método do vizinho mais próximo.

Na segunda etapa do refinamento foram realizadas segmentações multiresolução em cada uma das cenas (Figura 3.2 e Tabela 3.3). Esta técnica possibilita que duas regiões vizinhas sejam agrupadas em uma única região, de acordo com um critério de similaridade (BAATZ; SCHAPE, 2000). O algoritmo utiliza o atributo de cor (espectral) e forma para avaliar o grau de similaridade entre as regiões, baseado nos parâmetros de forma, compacidade, escala e diferença. De acordo com Matsuoka e Haertel (2007), o atributo cor

possibilita separar objetos com tonalidades diferentes, uma vez que ele representa as variações nos valores do pixel dentro do segmento para cada banda espectral. O atributo de forma é constituído por dois outros fatores, a compacidade e a suavidade. A compacidade representa o quão compacto é um objeto. Essa medida é definida matematicamente pela razão entre o perímetro de um objeto e a raiz quadrada do número de pixels dele. A suavidade é uma métrica utilizada para avaliar se um segmento apresenta curvas em sua geometria e se ele é alongado ou não. Essa métrica é expressa pela razão entre o perímetro do objeto e o perímetro do retângulo que o envolve, paralelo às bordas do objeto analisado (TRIMBLE, 2021).

A diferença espectral da segmentação é utilizada para mesclar objetos vizinhos de acordo com seus valores médios de intensidade de camada, ou seja, ele funciona como um filtro para limpar a segmentação. Assim, diminui a quantidade de seguimentos que possuem as mesmas características espectrais, separados durante o processo. Neste contexto, esse parâmetro ajudou a limpar os segmentos criados em excesso, como por exemplo, da classe Floresta, tornando-a um segmento maior e único. Observa-se na Tabela 3.3 os parâmetros considerados para a segmentação de cada cena. Esses parâmetros são determinados empiricamente para cada uma das cenas utilizadas, pois cada uma delas apresenta padrões espaciais e espectrais específicos.

Tabela 3.3: Valores dos parâmetros utilizados na segmentação multirresolução e diferença espectral da segmentação.

	Cenas	Bandas	Escala	Forma	Compacidade	Diferença Espectral
2000	22762	5,4,3, EVI	65	0.6	0.5	55
	22763	5,4,3, EVI	75	0.6	0.7	60
	22662	5,4,3, EVI	80	0.8	0.8	85
	22663	5,4,3, EVI	70	0.8	0.8	60
2010	22762	5,4,3, EVI	75	0.6	0.5	85
	22763	5,4,3, EVI	50	0.7	0.6	80
	22662	5,4,3, EVI	45	0.6	0.1	90
	22663	5,4,3, EVI	45	0.6	0.4	85

Fonte: Produção da autora.

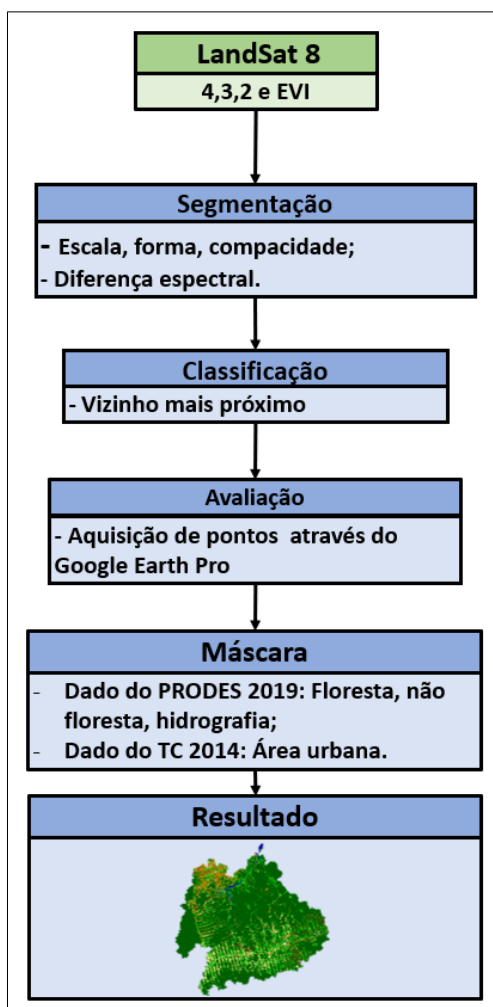
Após a seleção das amostras de treinamento (segmentos) de cada classe, foi possível aplicar o classificador K-Vizinho Mais Próximo (KNN). O algoritmo estabelece um espaço de atributos, incluindo todos os segmentos e as amostras de treinamento. Ao classificar cada segmento, o algoritmo atribui a mesma classe da amostra mais próxima, considerando os atributos indicados pelo analista. Neste trabalho, os atributos espectrais utilizados foram brilho e média de cada banda; os atributos espaciais foram área e índice de forma. Neste caso, o classificador não considera apenas as características espectrais, mas também outras feições do objeto (TRIMBLE, 2021).

Os mapas resultantes do refinamento do TerraClass para os dois anos, foram avaliados utilizando pontos amostrais adquiridos através de imagens Landsat/TM, com o auxílio da plataforma Google Earth Pro. Para o ano de 2000, foram coletados 150 pontos distribuídos na área das classes refinadas. Para o ano 2010, foram coletados 100 pontos, também, distribuídos na área da classe refinada. A diferença entre as quantidades totais de pontos obtidos em 2000 e 2010, se deve ao fato de que para o ano de 2010, foi mapeada menor área da classe de mosaico de ocupação.

3.3.1.3 Classificação do uso e cobertura da terra para 2019

Para realizar a classificação do uso e cobertura da terra do ano de 2019 foram utilizadas 4 cenas do satélite Landsat 8/OLI, que cobrem a área da bacia, e a Figura 3.6 apresenta, de forma esquemática, os procedimentos realizados nesta etapa.

Figura 3.6: Procedimentos adotados para a classificação das cenas que compõe a área de estudo em 2019.



Fonte: Produção da autora.

Na primeira etapa do processo de classificação foram realizadas segmentações multiresolução em cada uma das cenas, conforme abordagem detalhada na seção anterior. Os parâmetros utilizados foram especificados para cada uma das cenas utilizadas e são apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Parâmetros utilizados para segmentação multirresolução e diferença espectral da segmentação das cenas de 2019.

	Cenas	Bandas	Escala	Forma	Compacidade	Diferença Espectral
2019	22762/A	4,3,2 EVI	75	0.6	0.5	80
	22763/B	4,3,2 EVI	50	0.7	0.6	75
	22662/C	4,3,2 EVI	45	0.6	0.4	75
	22663/D	4,3,2 EVI	45	0.6	0.4	65

Fonte: Produção da autora.

Embora a área da bacia seja composta por 4 cenas, observou-se que, por exemplo, a cena 22762/A apresenta polígonos grandes que caracterizam áreas de AGLE e que foram mapeados através dos limiares estabelecidos com as características dessas áreas (Tabela 3.5). A cena 22662/C, no entanto, não apresenta o padrão espacial AGLE, por essa razão o limiar para segmentação adotado foi diferente, representando as características das classes apresentadas nesta cena. Para que não houvesse perda de detalhes na definição das classes, em cada cena que compõe a bacia, optou-se por realizar segmentações e classificações individuais. Assim, como descrito na seção anterior, as imagens foram classificadas utilizando o algoritmo K-Vizinho Mais Próximo (KNN). Após cada cena ser segmentada e classificada, foram unidas às outras, compondo a área total da bacia.

Após concluída a classificação, as classes Floresta, Não Floresta e Água, provenientes do PRODES 2019, e a classe de Área Urbana, denominadas “Máscara Prodes”, proveniente do TerraClass de 2014, foram agregadas ao resultado. Com isso, assegurou-se que não houvesse inconsistências do mapeamento em relação aos dados do TerraClass de 2000 e 2010.

Para realizar a avaliação da classificação do ano de 2019, foram utilizadas imagens do Google Earth Pro, do catálogo de imagens Planet (4.77m), e imagens das próprias cenas Landsat utilizadas para a classificação da bacia. Este processo consistiu na seleção de pontos, por toda extensão das cenas classificadas, que possibilitaram a geração de quatro matrizes de confusão,

para cada parte da bacia, de acordo com a Figura 3.2, obtendo-se índices de acerto das classes, em relação à referência, e índices de exatidão global.

A partir das matrizes de confusão foi possível obter a exatidão do produtor (referência ou verdade), que mostra o classificador na detecção de cada classe avaliada. Assim, o valor da exatidão do produtor indica a probabilidade de determinada classe ter sido corretamente classificada de acordo com as amostras de referência. Neste caso, é possível, também, avaliar o erro de omissão da classe ou exclusão. A omissão refere-se ao número de amostras de uma classe específica, por exemplo AGPE, classificadas como pertencente a outras classes.

Pode-se, também, avaliar a exatidão do consumidor, cujo valor representa o quanto do que foi classificado em uma determinada classe, realmente pertence àquela classe. O valor obtido indica, portanto, a probabilidade de um pixel classificado na imagem, realmente representar àquela classe, na referência. Avalia-se também o erro de inclusão ou omissão da classe avaliada, que se refere ao número de amostras que não se inclui em uma determinada classe.

3.3.2 Técnicas de mineração de dados para o mapeamento das PLU's

Esta etapa refere-se à identificação e mapeamento das PLU's, tendo como base a tipologia de padrões de uso e cobertura da terra, associadas às atividades econômicas agropecuárias e extrativistas. Para este mapeamento, o algoritmo de classificação por árvore de decisão C5.0, implementado no GeoDMA 2.0 foi utilizado (KÖRTING; FONSECA; CÂMARA, 2013; QUINLAN, 2021). Amostras de treinamento das classes estabelecidas na tipologia de PLU's e os mapas de uso e cobertura da terra dos anos 2000, 2010 e 2019, foram utilizados como entrada para o classificador, baseado no Boosting, que gera n árvores de decisão. Esta fase foi adaptada do trabalho de Souza (2016).

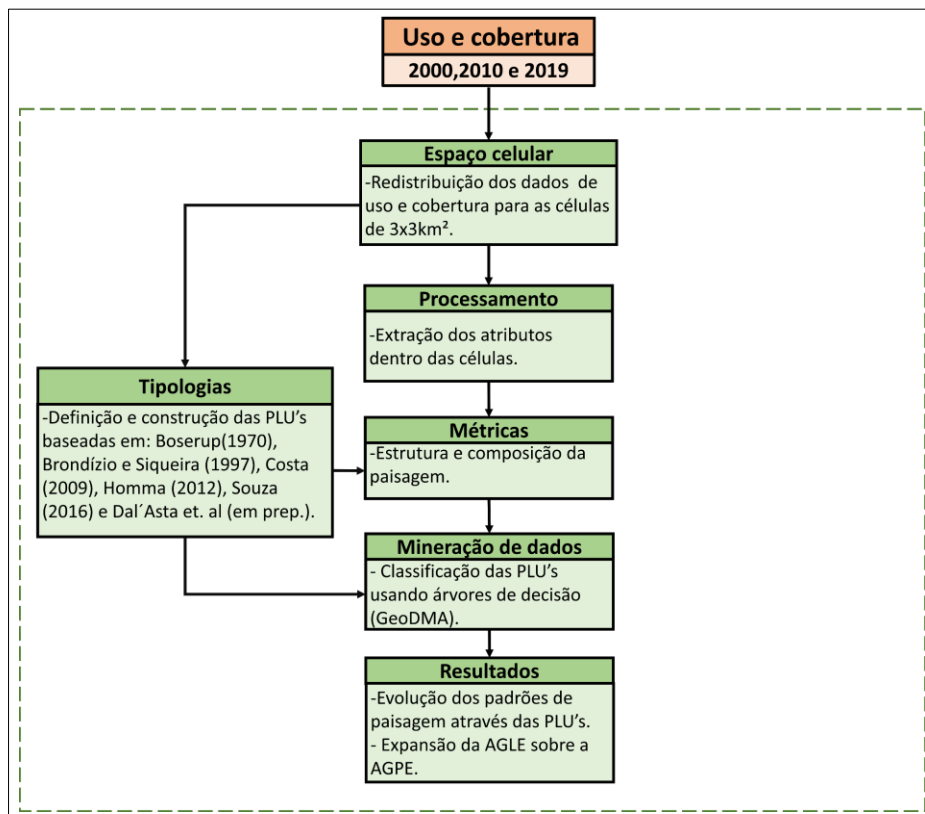
No procedimento de mineração de dados, foram extraídos atributos da paisagem, tais como forma, tamanho, área, borda e composição para células

de 3x3 km. Além das métricas de estrutura e composição da paisagem, apresentadas no Apêndice A.

A tipologia das PLU's é desenvolvida baseada na observação de padrões espaciais e de composição dos mapas de uso e cobertura da terra gerados, buscando-se fazer uma correspondência entre esses padrões e as categorias de trajetórias tecnológicas propostas por Costa (2009) e adaptada de Souza (2016), incluindo descrições contextuais. Dados de campo, bem como dados de uso e cobertura da terra e de produção agropecuária do IBGE (Produção Agrícola Municipal, Produção da Pecuária Municipal e dados do Censo) são utilizados para auxiliar nas definições e descrição das classes de PLU's. Na classificação, a tipologia é utilizada para orientar a coleta de amostras, selecionadas de acordo com as categorias/agentes, para treinamento do classificador.

Além das amostras de treinamento, foram separadas amostras de teste para a avaliação das classificações. Na sequência, as células foram classificadas de acordo com os padrões de cada categoria de PLU's. O presente trabalho empregou a mesma técnica utilizada por Souza (2016), para todos os anos analisados, porém, com uma versão mais recente do algoritmo de classificação (C5.0), que emprega técnica de boosting. O limiar das interações do boosting foi definido por meio de testes apresentados na Seção 4.4. A Figura 3.7 ilustra os procedimentos adotados sequencialmente.

Figura 3.7. Fluxograma metodológico da etapa 2.



Fonte: Produção da autora.

Para avaliar o quão confiáveis são as classificações das PLU's, foram geradas matrizes de confusão, para cada ano de estudo. As matrizes de confusão permitem gerar medidas estatísticas que são utilizadas para avaliação de mapeamentos temáticos, conforme Lillesand et al. (2004) e Congalton (1991).

As colunas da matriz exibem os pixels que foram amostrados como pertencentes à determinada PLU, e as linhas, os pixels que foram efetivamente atribuídos à PLU na classificação. Na matriz de confusão, o somatório da coluna representa, portanto, a verdade terrestre (referência) e, o total da linha representa o resultado da classificação da imagem.

3.3.3 Integração de dados e análise das transições de uso e cobertura da terra e das PLU's

Para direcionar a análise dos resultados consideramos conduzi-la a partir das questões estabelecidas nesse estudo:

- 1) Quais os principais modos de produção na Bacia Curuá-Una em 2000, 2010 e 2019?
- 2) Como a AGLÉ se expandiu sobre os modos de produção existentes em 2000?
- 3) Como se caracterizam ambientalmente as paisagens de produção da Bacia Curuá-Una?

Para responder às questões 1 e 2 apresentadas, foram gerados mapas resultantes das intersecções das classificações de uso e cobertura e das PLU's entre 2000 e 2010, 2010 e 2019 e 2000 e 2019. Além dos mapas gerados para cada ano, as transições dos usos e cobertura da terra e das PLU's são avaliadas por meio de matrizes de transição. Os elementos das matrizes de transição representam a probabilidade de mudança de uma classe para outra, ou seja, persistências, perdas e ganhos, entre períodos diferentes. A análise auxilia a interpretar a dinâmica das mudanças ocorridas no período de análise. A título de elucidação, a Figura 3.8 mostra uma matriz de transição, indicando que a diagonal representa a persistência da classe e como são obtidos os valores de perda e ganho nas transições.

Figura 3.8: Exemplo de matriz de transição.

		2019			TOTAL	PERDA
		PLU0	PLU1	PLU2		
2000	PLU0	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{1+}	$C_{1+} - C_{11}$
	PLU1	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{2+}	$C_{2+} - C_{22}$
	PLU2	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{3+}	$C_{3+} - C_{31}$
TOTAL		C_{+1}	C_{+2}	C_{+3}	1	
GANHO		$C_{+1} - C_{11}$	$C_{+2} - C_{22}$	$C_{+3} - C_{33}$		

Fonte: Produção da autora.

A partir da matriz de transição são gerados gráficos de ganho e perda de área entre as PLU's. Complementando a avaliação, diagramas de Sankey (SCHMIDT, 2008), também uma representação gráfica, permitem avaliar os fluxos de transição entre as PLU's, nestes diagramas, as linhas indicam a direção de transição de uma classe para outra e a espessura das linhas mostra a intensidade da transição. Assim, é possível quantificar e qualificar quais regiões sofreram modificações, quanto e se houve avanço predominante de uma determinada classe de uso e cobertura/PLU para outra, nos diferentes períodos. Essa análise tem como foco principal avaliar as mudanças das PLU's, associadas à AGLÉ, entretanto, a análise das demais PLU's é igualmente importante para que se possa avaliar em que contexto essas mudanças ocorrem.

Para avaliar os tipos de mudança as células são agrupadas e analisadas de acordo com os seguintes tipos de processos: a) Perda florestal; b) Intensificação do uso; c) Redução da intensificação e d) Estabilidade (Seção 4.3.4). Para responder à pergunta 3 e complementar essa análise, o índice de diversidade de paisagem foi estimado, bem como a proporção de floresta e vegetação secundária, caracterizando as PLU's, em cada ano. No que diz respeito e à diversidade de paisagem, foi utilizado o Índice de Diversidade de Shannon, cuja formulação baseia-se em Mcgarigal (1995).

$$SHDI = - \sum_{i=0}^m P_i \times \ln P_i \quad (3.2)$$

onde:

P_i = Proporção da paisagem ocupada pelo conjunto de manchas (classe) i

m = Número de tipos de manchas (classes) na paisagem

SHDI é uma medida composta de riqueza (m) e abundância (P). O valor do Índice de diversidade de Shannon (SHDI) varia de 0 a infinito. Quando o valor é 0, significa que a paisagem tem apenas uma classe, e apresenta uma baixa

diversidade, quando o valor é grande, significa que a paisagem tem uma alta diversidade de usos e coberturas da terra.

Para compreender a distribuição dos indicadores de proporção de vegetação secundária, floresta primária e do índice de diversidade de Shannon nas PLU's, e para avaliar a semelhança entre as PLU's em relação à esses indicadores, foi utilizado um teste de estatística não paramétrica, especificamente os testes estatísticos de Kruskal Wallis (KRUSKAL; WALLIS, 1952) e de Dunn (DUNN, 1961). O primeiro foi utilizado para testar se os valores obtidos com os indicadores ambientais têm a mesma distribuição nas diferentes PLU's. Ou seja, a finalidade do uso desse teste é verificar se as PLU's apresentam indicadores ambientais distintos, dado que as formas com a qual esses sistemas lidam com a natureza, de acordo com Costa (2009) são distintas. A hipótese nula é de que os grupos têm a mesma distribuição de valores. Quando a hipótese nula é rejeitada, utiliza-se o teste de comparações múltiplas de Dunn, para identificar quais PLU's diferem, duas a duas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este Capítulo está organizado em 3 seções, a primeira apresenta os resultados do refinamento dos dados de uso e cobertura da terra, bem como das classificações e análise das transições das classes de uso e cobertura da terra na bacia, no período de 2000 a 2019. Na segunda seção são apresentadas as tipologias de PLU's desenvolvidas para a bacia do Curuá-Una, os resultados da classificação das PLU's nos anos de análise e as análises das transições das PLU's no período de 2000 a 2019. A caracterização e análise das transições de uso e cobertura bem como das PLU's, tem como foco principal a discussão sobre a expansão da AGLE sobre outros usos e coberturas bem como a expansão das PLU's, associadas à AGLE sobre outras PLU's. Na terceira seção são apresentados os resultados da análise e caracterização das PLU's em relação à cobertura florestal, vegetação secundária e aos índices de diversidade da paisagem.

4.1 Classificação e avaliação dos dados de uso e cobertura da terra

Essa seção é composta de duas subseções que apresentam os resultados do refinamento e da classificação dos dados de uso e cobertura da terra. Na primeira delas (Subseção 4.1.1), são apresentados os resultados das classificações do uso e cobertura da terra e do refinamento dos dados do TerraClass, realizado para os anos de 2000 e 2010. O refinamento teve como objetivo extrair das classes de mosaico de ocupação e área não observada de 2000 e 2010, as classes de agricultura de pequena escala (AGPE), pasto, vegetação secundária, entre outras. Para avaliação desses mapeamentos são apresentadas as matrizes de confusão e os índices de acurácia de cada classe mapeadas. A Subseção 4.1.2 apresenta os resultados da classificação do uso e cobertura da terra de 2019, bem como as análises de exatidão a partir de amostras de referência obtidas com dados de alta resolução espacial. Esses resultados são detalhados a seguir.

4.1.1 Refinamento do mapa do TerraClass

O resultado da avaliação do refinamento dos mapas de 2000 e 2010 foi realizado com amostras de pontos coletados em imagens Landsat e do Google Earth Pro. Com isso foi possível gerar duas matrizes de confusão com seus respectivos valores de exatidão por classe, apresentados nas Tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4.

Tabela 4.1: Matriz de confusão do ano 2000.

		Refinamento 2000						
Referência		AGLE	AGPE	Veg. Sec.	Pasto sujo	Pasto limpo	Floresta	Nº de amostras
	AGLE	25	0	0	0	0	0	25
	AGPE	0	25	0	0	0	0	25
	Veg. Sec.	0	0	24	0	1	0	25
	Pasto sujo	0	0	1	24	0	0	25
	Pasto limpo	0	0	0	1	24	0	25
	Floresta	0	0	0	0	0	25	25
	TOTAL	25	25	25	25	25	25	150

Exatidão Global 98%

Fonte: Produção da autora.

Para melhor compreender esta análise de acurácia das classes mapeadas, foi feita uma avaliação da exatidão por classe, a partir da informação da matriz de confusão (Tabela 4.2). Nesta análise, as classes que representam água, floresta e área urbana foram desconsideradas, pois foram substituídas pelas classes correspondentes do PRODES 2019, aqui denominada de máscara PRODES, e do TerraClass do ano de 2014.

Tabela 4.2: Exatidão por classe do refinamento de 2000.

Classe	Exatidão do Produtor	Erro de omissão	Exatidão do Consumidor	Erro de comissão
AGLE	100%	0%	100%	0%
AGPE	100%	0%	100%	0%
Veg. Sec.	96%	4%	96%	4%
Pasto sujo	96%	4%	96%	4%
Pasto limpo	96%	4%	96%	4%
Floresta	100%	0%	100%	0%

Fonte: Produção da autora.

A partir da Tabela 4.1, que apresenta a matriz de confusão das classes refinadas em 2000, observa-se que as classes de pastagem e vegetação secundária apresentaram confusão entre si. Entretanto, todas as classes, apresentaram exatidão do consumidor acima de 96% (Tabela 4.2).

A matriz de confusão da Tabela 4.3 apresenta o resultado da avaliação das classes refinadas em 2010. Observa-se que as classes de AGPE e vegetação secundária apresentaram confusão entre si, no entanto, é importante lembrar que essas classes apresentam forte relação, uma vez que a vegetação secundária pode representar a AGPE no estágio de pousio. Essa confusão fica ainda mais evidente na Tabela 4.4, onde a AGPE apresenta 88% de exatidão do produtor e a vegetação secundária apresenta 92%. Apesar dessas confusões, as matrizes de 2000 e 2010 apresentam alto índice de exatidão global, de 98% e 95%, respectivamente.

Tabela 4.3: Matriz de confusão do ano 2010.

Refinamento 2010						
Referência		AGLE	AGPE	Veg. Sec.	Pasto limpo	Nº de amostras
	AGLE	25	0	0	0	25
	AGPE	0	22	3	0	25
	Veg. Sec.	0	0	23	2	25
	Pasto limpo	0	0	0	25	25
	TOTAL	25	22	26	27	100
<i>Exatidão Global</i>		95%				

Fonte: Produção da autora.

Tabela 4.4: Exatidão por classe do refinamento de 2010.

Classe	Exatidão do Produtor	Erro de omissão	Exatidão do Consumidor	Erro de comissão
AGLE	100%	0%	100%	0%
AGPE	88%	12%	100%	0%
Veg. Sec.	92%	8%	88%	11%
Pasto limpo	96%	4%	96%	4%

Fonte: Produção da autora.

4.1.2 Classificação de uso e cobertura da terra de 2019

Para avaliação do resultado do mapeamento foram geradas 4 matrizes de confusão, uma para cada cena que compõe a área da bacia do rio Curuá-Uma, classificada para o ano de 2019. As Tabelas 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 são referentes às classificações das cenas A, B, C e D respectivamente, como apresentada na Figura 3.2.

Tabela 4.5: Matriz de confusão da cena A.

		Classificação								Nº de amostras	
		Água	Floresta	AGPE	AGLE Solo	AGLE Plan.	Veg. Sec. In.	Veg. Sec. Av.	Pasto S.		Pasto L.
Referência	Água	50	0	0	0	0	0	0	0	0	50
	Floresta	0	50	0	0	0	0	0	0	0	50
	AGPE	0	3	28	0	0	9	5	2	3	50
	AGLE Solo	0	0	0	49	0	0	0	0	1	50
	AGLE Plan.	0	0	0	0	48	0	1	1	0	50
	Veg. Sec. In.	0	0	0	0	1	44	3	1	1	50
	Veg. Sec. Av.	0	3	1	0	0	7	38	1	0	50
	Pasto S.	0	0	0	0	0	2	0	43	5	50
	Pasto L.	0	0	0	0	1	0	0	1	48	50
	Exatidão Global		88%								

Fonte: Produção da autora.

É possível observar, a partir da Tabela 4.5, que o índice de exatidão global foi de 88%. Ou seja, se uma amostra, dentre as 450, fosse escolhida ao acaso, a probabilidade de estar corretamente classificada é de 88%.

As classes de AGPE, vegetação secundária e pastagem apresentaram confusão entre si. Essa confusão pode ser explicada pelo fato de que a classe de AGPE pode apresentar características semelhantes aos estágios da vegetação secundária e pastagem durante seu processo de cultivo.

Tabela 4.6: Avaliação da exatidão por classe da cena A.

Classe	Exatidão do Produtor	Erro de omissão	Exatidão do Consumidor	Erro de comissão
AGPE	56%	44%	96%	4%
AGLE Solo	98%	2%	100%	0%
AGLE Plan.	96%	4%	96%	4%
Veg. Sec. In.	88%	12%	70%	29%
Veg. Sec. Av.	76%	24%	80%	25%
Pasto Sujo	86%	14%	87%	12%
Pasto Limpo	96%	4%	96%	4%

Fonte: Produção da autora.

As classes de AGLE apresentaram índice de exatidão do produtor e consumidor acima de 96%, e erros de omissão e comissão abaixo de 4%,

enquanto as classes de vegetação secundária (inicial e avançada) obtiveram 88% e 76% de exatidão do produtor, 70% e 80% de exatidão do consumidor, respectivamente. Os erros de omissão de 12% e 24%, indicam que algumas áreas da classe de vegetação secundária foram incluídas em outras classes, enquanto os erros de comissão de 29% e 25% indicam a porcentagem de pixels de outras classes, incluídos nas classes de vegetação secundária.

A classe AGPE, apresentou uma menor exatidão do produtor, de 56%, e erro de omissão de 44%, indicando uma menor exatidão em relação às outras classes, apesar da exatidão do consumidor e o erro de comissão apresentarem exatidão de 96% e 4%, respectivamente. Ou seja, mesmo utilizando um classificador que opera com atributos que podem melhorar a separabilidade entre as classes com comportamento espectral parecidos, as classes de AGPE e vegetação secundária apresentaram um pouco de confusão entre si. Uma possível explicação é que a classe AGPE pode apresentar um comportamento espectral semelhante à vegetação secundária em seu estágio inicial. Muitas vezes, no ciclo de produção destes sistemas de pequena escala, ocorre a fase de pousio, que pode compreender períodos de variada duração, com a presença de vegetação secundária inicial, levando a esta confusão. A resolução espacial de 30 m do Landsat, torna mais difícil a identificação de pequenas áreas, como é o caso da AGPE, representada na imagem muitas vezes por pixels mistos.

O mesmo ocorre na classe de Pasto Sujo, que apresentou 14% e 12% de erro de omissão e comissão, respectivamente. A classe de Pasto Limpo, apresentou exatidão do produtor e consumidor de 96% e erro de omissão e comissão de 4%.

Tabela 4.7: Matriz de confusão da cena B.

		Classificação					Nº de amostras
		Floresta	Veg. Sec. In.	Veg. Sec. Av.	Pasto S.	Pasto L.	
Referência	Floresta	25	0	0	0	0	25
	Veg. Sec. In.	0	25	0	0	0	25
	Veg. Sec. Av.	0	2	23	0	0	25
	Pasto S.	0	0	0	25	0	25
	Pasto L.	0	0	0	0	25	25
	<i>Exatidão Global</i>	98%					

Fonte: Produção da autora.

Tabela 4.8: Avaliação da exatidão por classe da cena B.

Classe	Exatidão do Produtor	Erro de omissão	Exatidão do Consumidor	Erro de comissão
Veg. Sec. In.	100%	0%	92%	7%
Veg. Sec. Av.	92%	8%	100%	0%
Pasto Sujo	100%	0%	100%	0%
Pasto Limpo	100%	0%	100%	0%

Fonte: Produção da autora.

Tabela 4.9. Matriz de confusão da cena C.

		Classificação							Nº de amostras
		Água	Floresta	Veg. Sec. In.	Veg. Sec. Av.	Pasto S.	Pasto L.	Nuvem	
Referência	Água	15	0	0	0	0	0	0	15
	Floresta	0	15	0	0	0	0	0	15
	Veg. Sec. In.	0	0	15	0	0	0	0	15
	Veg. Sec. Av.	0	0	1	13	1	0	0	15
	Pasto S.	0	0	0	0	16	0	0	16
	Pasto L.	0	0	0	0	2	14	0	16
	Nuvem	0	0	0	0	0	0	15	15
	<i>Exatidão Global</i>	96%							

Fonte: Produção da autora.

Tabela 4.10. Avaliação da exatidão por classe da cena C.

Classe	Exatidão do Produtor	Erro de omissão	Exatidão do Consumidor	Erro de comissão
Veg. Sec. In.	100%	0%	93%	6%
Veg. Sec. Av.	86%	13%	100%	0%
Pasto Sujo	100%	0%	84%	15%
Pasto Limpo	87%	12%	100%	0%

Fonte: Produção da autora.

Tabela 4.11. Matriz de confusão da cena D.

		Classificação								Nº de amostras
		Água	Floresta	AGPE	Veg. Sec. In.	Veg. Sec. Av.	Pasto S.	Pasto L.	Nuvem	
Referência	Água	10	0	0	0	0	0	0	0	10
	Floresta	0	10	0	0	0	0	0	0	10
	AGPE	0	0	10	0	2	0	1	0	13
	Veg. Sec. In.	0	0	0	15	0	0	0	0	15
	Veg. Sec. Av.	0	0	0	0	15	0	0	0	15
	Pasto S.	0	0	0	0	0	15	0	0	15
	Pasto L.	0	0	0	0	0	1	14	0	15
	Nuvem	0	0	0	0	0	0	0	15	15
	Exatidão Global	96%								

Fonte: Produção da autora.

Tabela 4.12. Avaliação da exatidão por classe da cena D.

Classe	Exatidão do Produtor	Erro de omissão	Exatidão do Consumidor	Erro de comissão
AGPE	76%	23%	100%	0%
Veg. Sec. In.	100%	0%	100%	0%
Veg. Sec. Av.	100%	0%	88%	11%
Pasto Sujo	100%	0%	93%	6%
Pasto Limpo	93%	6%	93%	6%

Fonte: Produção da autora.

A partir das Tabelas 4.7, 4.9 e 4.11 fica evidente que, embora as classificações tenham sido realizadas utilizando parâmetros diferentes, dadas as condições particulares de cada cena, todas as avaliações demonstraram concordância

entre as classes e exatidão global entre 96% e 98%. O menor valor de exatidão global foi 88%, da cena A.

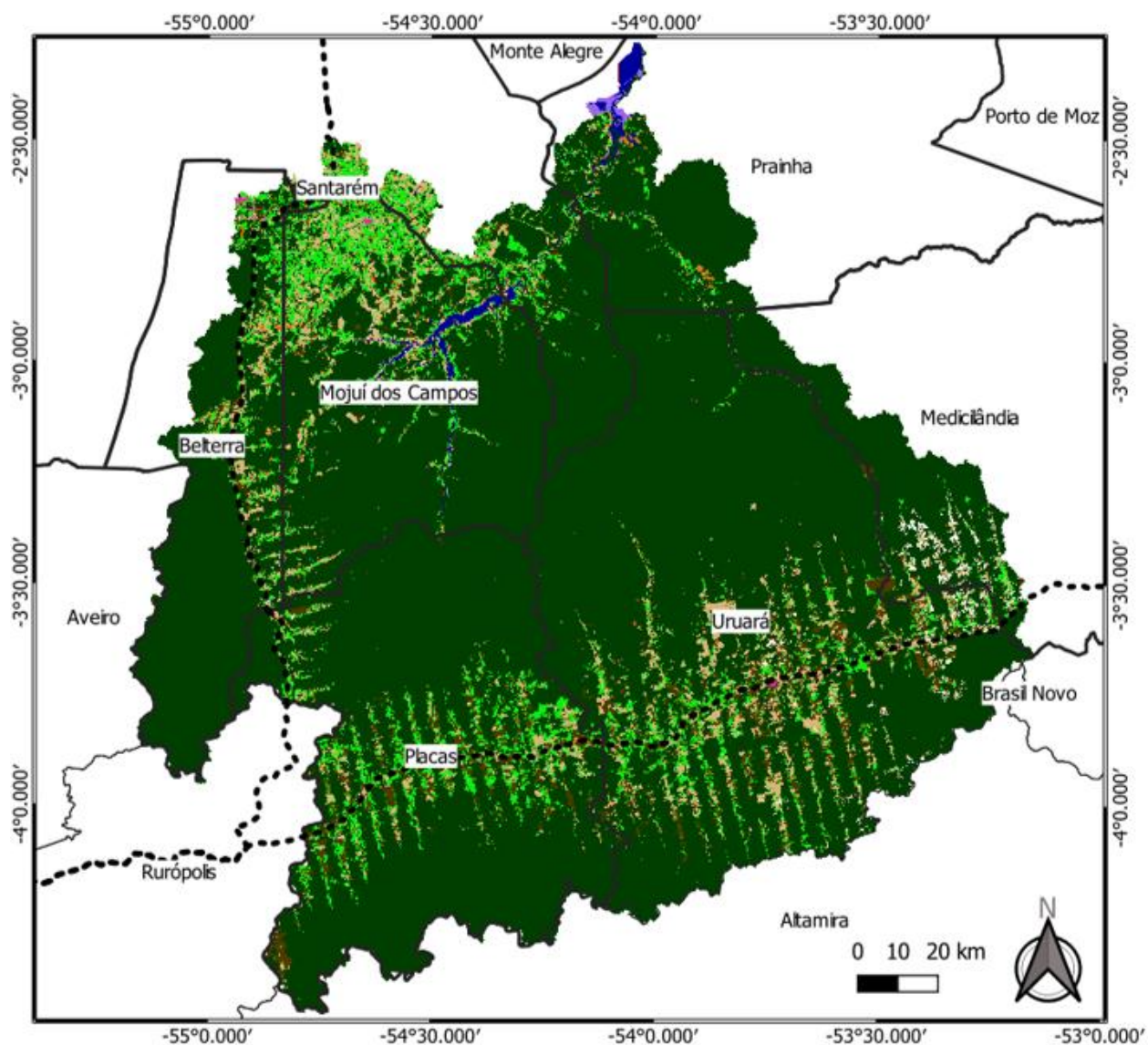
Os índices de exatidão do produtor e consumidor, por classe, apresentados nas Tabelas 4.8, 4.10 e 4.12, mostram que as classes apresentaram boa concordância, obtendo-se índices que variaram entre 76% e 100%, com erros de omissão e comissão que variaram de 23% a 0%.

4.1.3 Resultados da classificação e dos refinamentos do uso e cobertura da terra

Os resultados do refinamento e da classificação para os anos de 2000, 2010 e 2019, respectivamente, podem ser observados nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3). Observa-se, na porção norte da bacia, a ocorrência da classe de AGLE em 2010, que não estava presente em 2000. Os padrões de uso e cobertura da terra, encontrados na região próxima à Santarém, são caracterizados pela forte presença da classe AGLE, que se concentrou nessa área e intensificou no período de 2010 a 2019, enquanto na porção inferior da Bacia, nas proximidades da Rodovia Transamazônica, as classes encontradas são principalmente relacionadas à pastagem. Os mapas da Figura 4.1, 4.2 e 4.3 mostram também a expansão das classes de uso e cobertura da terra sobre as áreas florestais na porção central da bacia e nas estradas vicinais transversais à rodovia Transamazônica, onde observamos a presença das classes relacionadas à pastagem. Esse fenômeno inicia-se no período de 2000 a 2010 e se mantém no período seguinte.

A classe de AGPE é observada, principalmente, em pontos específicos, tais como: margens dos rios, proximidades aos fragmentos de vegetação secundária e estradas (Figura 4.3).

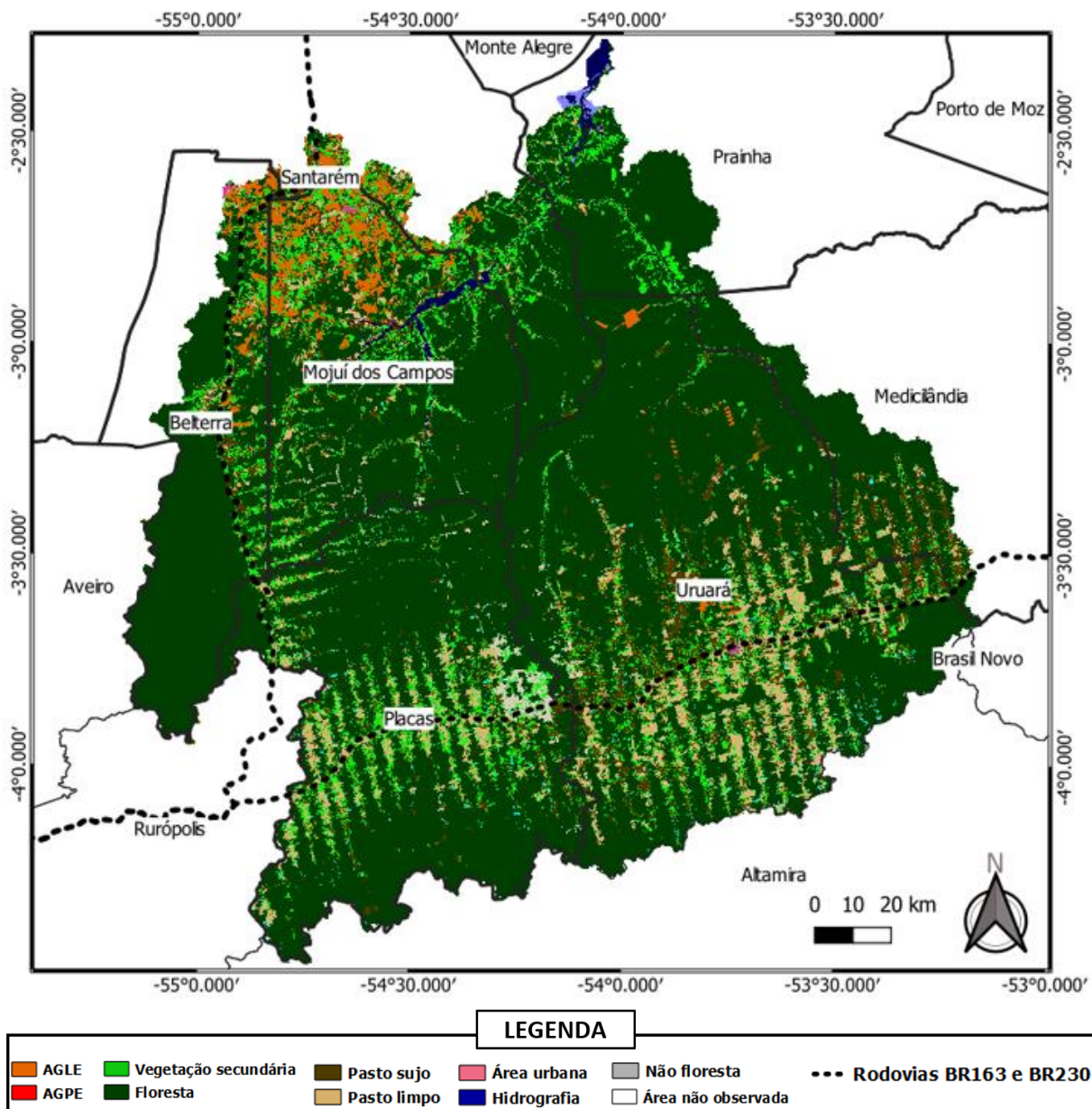
Figura 4.1: Mapa de uso e cobertura de 2000.



LEGENDA					
AGLE	Vegetação secundária	Pasto sujo	Área urbana	Não floresta	--- Rodovias BR163 e BR230
AGPE	Floresta	Pasto limpo	Hidrografia	Área não observada	

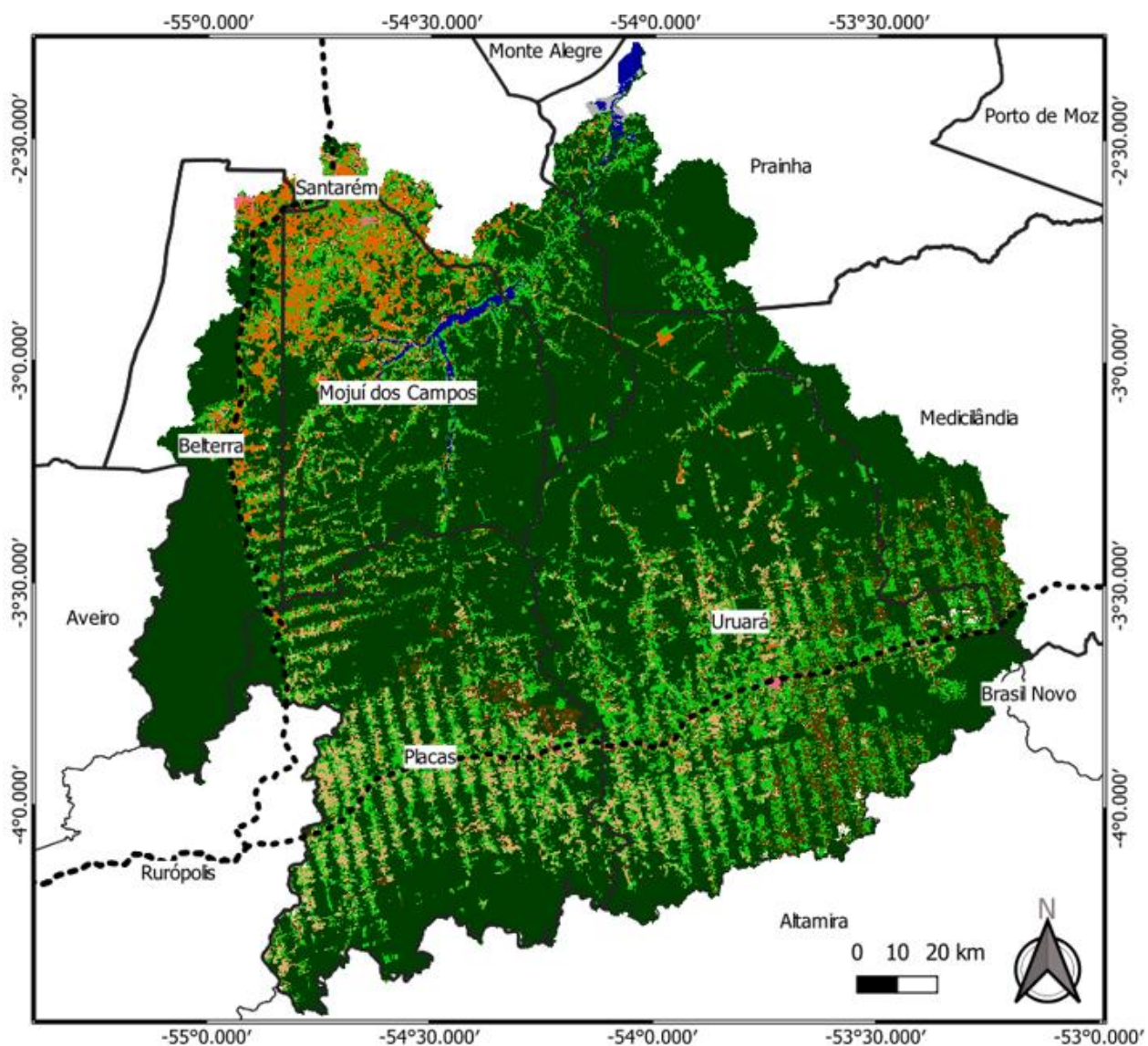
Fonte: Produção da autora.

Figura 4.2: Mapa de uso e cobertura de 2010.



Fonte: Produção da autora.

Figura 4.3: Mapa de uso e cobertura de 2019.



LEGENDA						
■ AGLE	■ Vegetação secundária	■ Pasto sujo	■ Área urbana	■ Não floresta	- - - Rodovias BR163 e BR230	
■ AGPE	■ Floresta	■ Pasto limpo	■ Hidrografia	■ Área não observada		

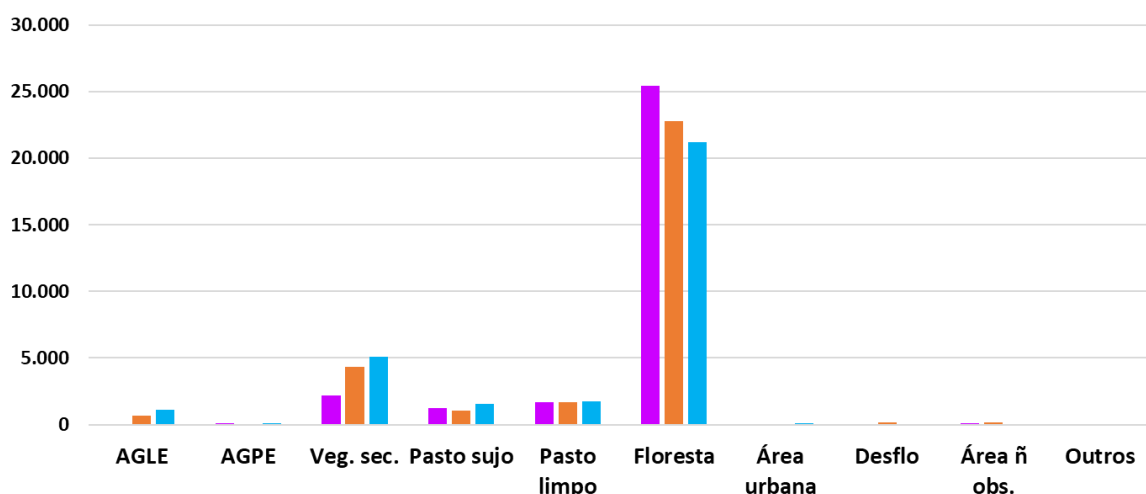
Fonte: Produção da autora.

4.2 Análise da transição do uso e cobertura da terra no período de 2000 a 2019

Com os mapas obtidos e apresentados nas Seções 4.1.1 e 4.1.2 foi possível analisar as áreas e transições ocorridas entre as classes de uso e cobertura da terra nos períodos de 2000 a 2010, 2010 a 2019 e 2000 a 2019.

Para a análise das dinâmicas de uso e cobertura da terra, é apresentada na Figura 4.4 a área das classes de uso e cobertura. Nas Tabelas 4.13, 4.14, 4.15 são apresentadas matrizes de transição e os diagramas de Sankey (Figuras 4.5, 4.6 e 4.7) para melhor visualização das principais transições observadas nos períodos de análise. Nos diagramas de Sankey, optou-se por remover a classe floresta, apesar de sua importância, pois essa classe apresentava uma área muito superior à das outras classes, impedindo a adequada visualização das transições. A partir dessas análises torna-se possível a compreensão das dinâmicas das classes de uso e cobertura que ocorreram desde a entrada da soja na bacia do Curuá-una no final dos anos 1990, permitindo responder às questões norteadoras desse trabalho. Por apresentarem áreas muito pequenas, as classes de mineração e de reflorestamento foram agregadas à classe “outros”.

Figura 4.4: Área das classes de uso e cobertura nos analisados.



	AGLE		AGPE		Veg. sec.		Pasto sujo		Pasto limpo		Floresta		Área urbana		Desflo		Área ã obs.		Outros	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%
2000	23	0.07	93	0.30	2.192	7	1.264	4	1.696	5	25.438	82	23	0.07	1	0	123	0.3	33	0.1
2010	642	2	20	0.06	4.329	14	1.047	3	1.693	5	22.781	73	23	0.07	176	0.5	177	0.5	0	0
2019	1.093	3	121	0.39	5.079	16	1.528	4	1.770	5	21.183	68	76	0.24	0	0	37	0.11	0	0

Fonte: Produção da autora.

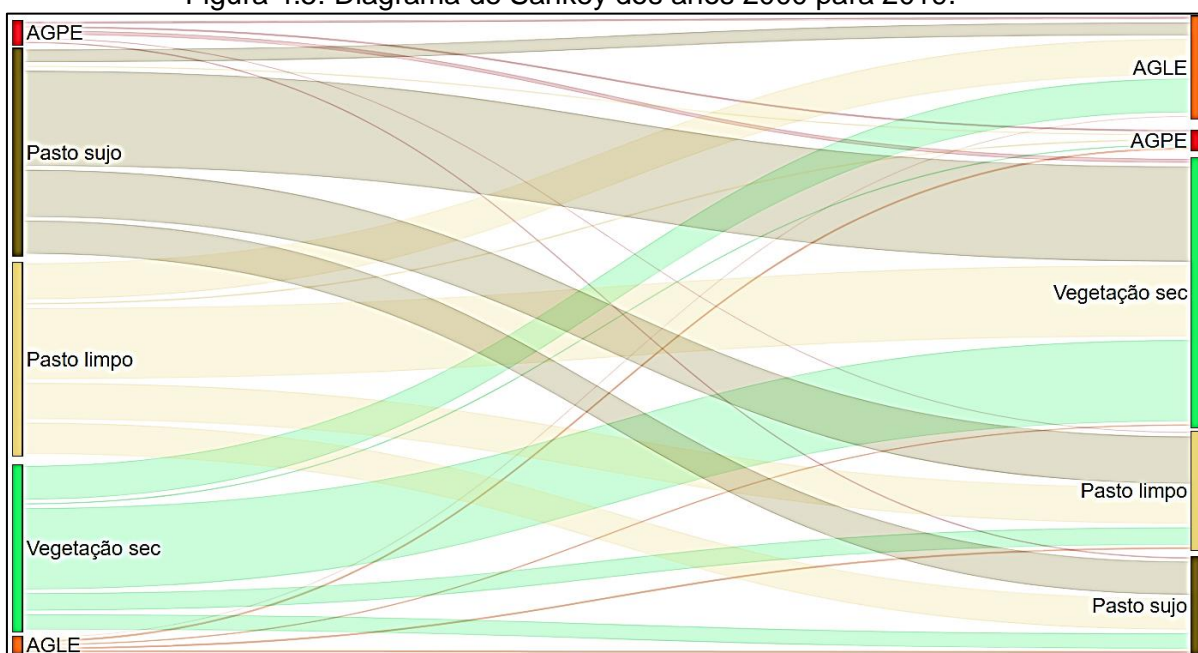
Tabela 4.13: Matriz de transição das classes de uso e cobertura de 2000 a 2019.

		2019																	
2000	TRANSIÇÃO	AGLE		AGPE		Veg. sec.		Pasto sujo		Pasto limpo		Floresta		Área urbana		Área ã obs.		Total	
		KM²	%	KM²	%	KM²	%	KM²	%	KM²	%	KM²	%	KM²	%	KM²	%	KM²	%
	AGLE	12	(49)	0	(2)	6	(27)	1	(5)	2	(8)	1	(6)	0	(2)	0	(0)	23	(100)
	AGPE	24	(25)	2	(2)	42	(45)	7	(7)	11	(12)	7	(7)	1	(1)	0	(0)	93	(100)
	Veg. sec.	336	(15)	22	(1)	1.026	(47)	215	(10)	287	(13)	282	(13)	18	(1)	4	(0)	2.191	(100)
	Pasto sujo	90	(7)	12	(1)	556	(44)	228	(18)	302	(24)	59	(5)	12	(1)	5	(0)	1.263	(100)
	Pasto limpo	326	(19)	19	(1)	637	(38)	284	(17)	329	(19)	69	(4)	23	(1)	7	(0)	1.695	(100)
	Floresta	298	(1)	65	(0)	2.737	(11)	752	(3)	826	(3)	20.735	(82)	7	(0)	19	(0)	25.439	(100)
	Área urbana	2	(10)	0	(1)	4	(20)	1	(4)	1	(4)	1	(4)	13	(57)	0	(0)	23	(100)
	Desflo	0	(0)	0	(17)	0	(57)	0	(3)	0	(6)	0	(16)		(0)		(0)	1	(100)
	Área ã obs.	2	(1)	0	(0)	50	(41)	39	(31)	10	(8)	20	(16)	1	(1)	2	(1)	124	(100)
	Outros	3	(8)	1	(1)	19	(55)	1	(4)	3	(7)	8	(23)	0	(1)	0	(0)	34	(100)
	Total km²	1.093		121		5.079		1.528		1.770		21.183		76		37		30.886	

*As % se referem aos valores de perda (linha)

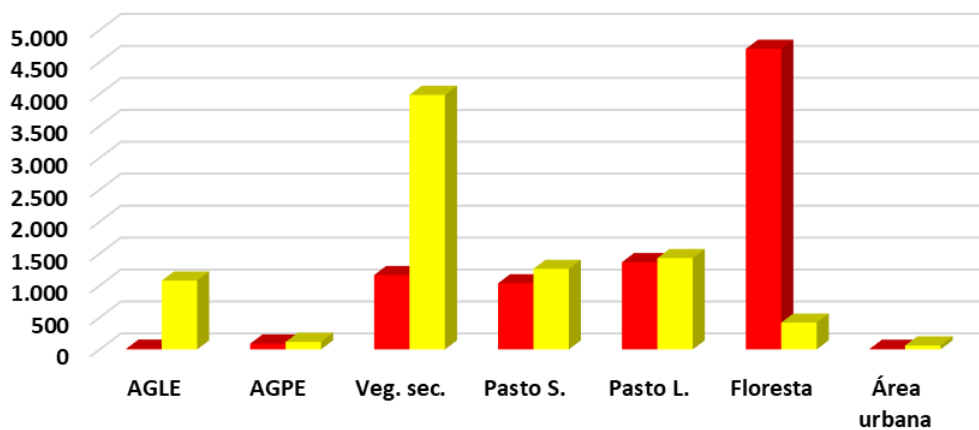
Fonte: Produção da autora.

Figura 4.5: Diagrama de Sankey dos anos 2000 para 2019.



Fonte: Produção da autora.

Figura 4.6: Histograma de Ganho e perda no período de 2000 até 2019.



Km ²	AGLE	AGPE	Veg. sec.	Pasto sujo	Pasto limpo	Floresta	Área urbana
PERDA	12	92	1.165	1.036	1.366	4.704	10
GANHO	1.077	118	3.983	1.260	1.429	420	62

Fonte: Produção da autora.

A partir da Tabela 4.13 e Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 podemos fazer algumas constatações sobre as transições do uso e cobertura da terra nos 19 anos de análise. A primeira delas é a de que a AGLE se manteve em 49% da área

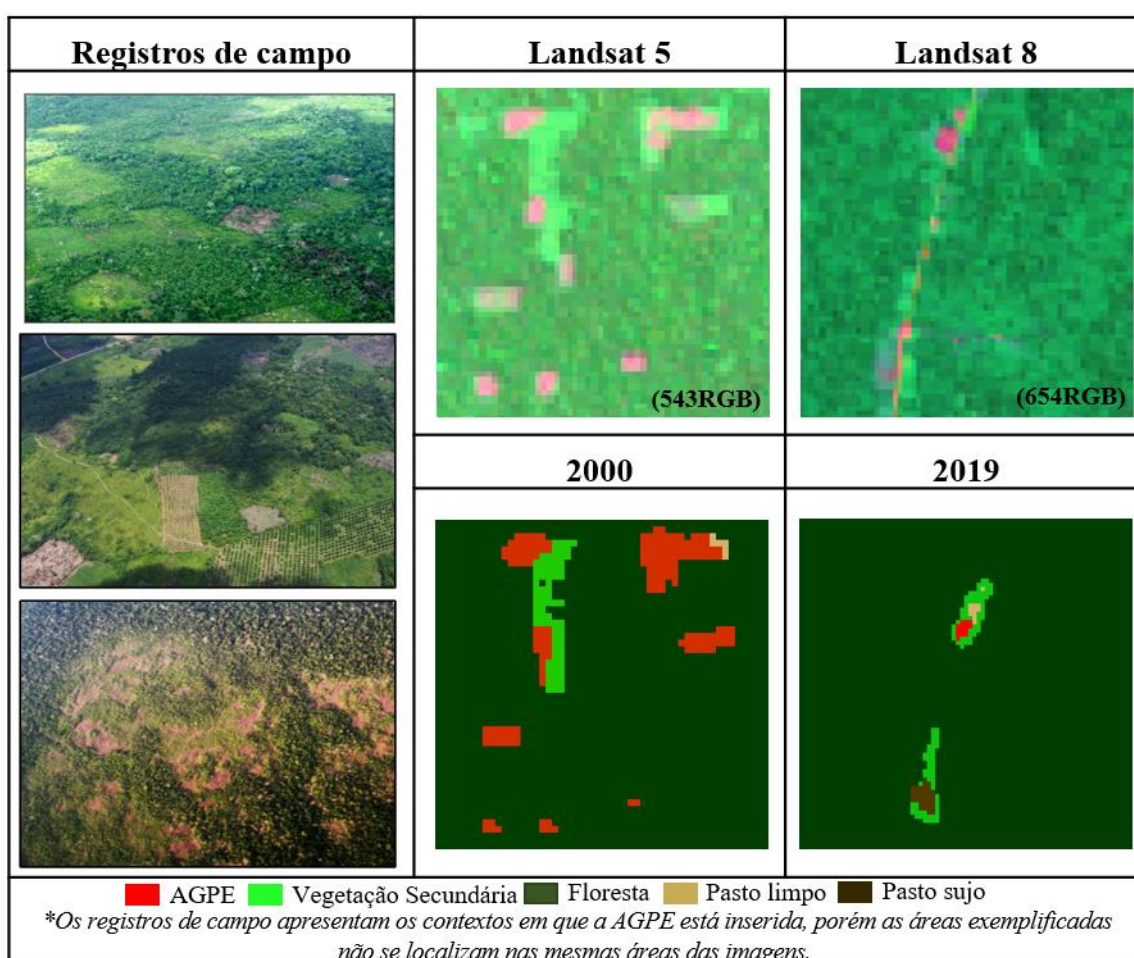
mapeada em 2010. Entretanto, como a área dessa classe era muito pequena em 2000 (23 km²), sua persistência deve ser avaliada com mais detalhe no período seguinte, de 2010 a 2019, quando a AGLE de fato se estabeleceu. Em relação à área de AGLE, observa-se que 27% da área desta classe em 2019, é proveniente da classe Floresta mapeada em 2000, enquanto 38% vêm de áreas de pastagem (Tabela 4.13). Para melhor compreensão dessa dinâmica, observando quando ela ocorreu, é necessário decompor essa análise nos períodos de 2000 a 2010 e 2010 a 2019. O produtor de soja, cuja lógica utilizada é expandir essa cultura para garantir os lucros da produção de, frequentemente substitui sua área de cultivo original ou de pastagem para o plantio de soja. Ao mesmo tempo, para manter área de pasto e o rebanho bovino, o pasto avança sobre áreas florestais (GOLLNOW et al., 2018). Esse processo de conversão da floresta em pasto, muitas vezes é observado em áreas distantes das áreas de cultivo de grãos.

Os resultados deste estudo mostram que 31% da área de AGLE em 2019 (Tabela 4.13), era proveniente da vegetação secundária em 2000, e somente 2% expandiu sobre áreas de AGPE. Entretanto, é possível que parte da AGPE seja representada pela classe vegetação secundária, que faz parte desses sistemas de cultivo, representando as áreas de pousio dos sistemas de roçado. Para uma melhor compreensão desse processo, faz-se necessário um olhar mais abrangente, que extrapole os limites das áreas de AGPE, pois esse sistema de cultivo é constituído por mosaicos de uso e cobertura da terra, em que as áreas de cultivo são entremeadas com manchas de vegetação secundária em vários estágios, como pode ser observado na Figura 4.7.

A classe que representa AGPE persistiu no período de 2000 a 2019 em apenas 2% de sua área, mostrando grande instabilidade (Tabela 4.13). Esse comportamento é explicado devido à forma em que esse tipo de agricultura é praticado na região, principalmente para o cultivo da mandioca. Esses sistemas são bastante dinâmicos, mudam de local a cada dois anos e podem ser caracterizados pela presença de pequenos polígonos de vegetação secundária em vários estágios, podendo conter também pequenas áreas de pastagens (DAL'ASTA et al., 2017) (Figura 4.7). Esse processo fica evidente quando

observamos que, cerca de 45% da área da AGPE de 2000 se transforma em vegetação secundária em 2019 (Tabela 4.13), uma vez que este tipo de agricultura está associado às práticas de pousio (FOURQUIN, 1972; BOSERUP, 2011; JAKOVAC et al., 2017). A Tabela 4.13 mostra, também que, de 65 km² (53%), da classe AGPE, de 2019 é proveniente da classe floresta de 2000.

Figura 4.7: Exemplo de mosaico de usos e cobertura da terra relacionado à AGPE com registros de campo e nas imagens Landsat.



Fonte: Produção da autora.

A classe Floresta é a que apresenta maior área em todos os anos, mas obteve uma perda de 18,5% no período analisado, o que representa uma perda de 4.704km² (Tabela 4.13 e Figura 4.5). A maior conversão da área de floresta de 2000 para 2019 ocorreu para vegetação secundária (11%), enquanto a conversão de floresta para pastagem aconteceu em 6% das áreas de 2019. É

importante ressaltar, que parte da vegetação secundária analisada corresponde à vegetação secundária em estágio inicial que, para fins de uniformização e para a análise da etapa 2 desse trabalho, optamos por uni-las. A classe de vegetação secundária permanece em 47% das áreas no período de 2000 a 2019, sendo que 23% de sua área é convertida em pastagem (Tabela 4.13). Nota-se que 13% (282 km²) da área de vegetação secundária mapeada em 2000 é convertida em floresta, o que não deveria ocorrer devido ao conjunto de dados utilizados que utiliza a máscara temporal de floresta do PRODES para todos os anos. Isso pode ter ocorrido por dois motivos. O primeiro é devido ao deslocamento, que ainda persiste em alguns locais, mesmo após realizado o processo de co-registro dos mapas do PRODES com os mapas produzidos na classificação. O segundo se deve ao mapeamento de floresta do PRODES 2019 no qual foram observadas inconsistências no mapeamento da classe floresta que só são evidenciadas quando os dados das diferentes bases de dados são cruzados.

Para melhor avaliar as transições das classes de uso e cobertura da terra, decompomos as análises de transição em dois períodos, 2000 a 2010 e 2010 a 2019.

Com a Tabela 4.14 as Figuras 4.8 e 4.9, podemos observar algumas transições importantes, sendo a primeira a transição da classe da AGLE. Do total de 23 km² de área apresentada em 2000, representando 0,4% das áreas desmatadas, essa classe apresentou 642 km² em 2010, representando 8% das áreas desmatadas em 2010. A moratória da soja começou a operar em 2008, portanto, grande parte dessa área desmatada ocupada pela AGLE pode ter ocorrido anteriormente a esse ano. Segundo dados do IBGE (2010), a relação da área e da produtividade para o aumento da produção de soja no Brasil, no período de 2000-2010 foi obtida predominantemente por meio do aumento das áreas plantadas. Ou seja, a partir de áreas desmatadas anteriormente para pastagens. Do total deste aumento no Brasil, 22,4% ocorreram na região Norte do país. Santos (2020) relata que na região de estudo grande parte da produção de soja se expandiu sobre áreas de pastagem e de AGPE, em parte,

devido à moratória da soja. Como a região ainda se tem grandes áreas de floresta, o autor menciona a possibilidade de ocorrência de processos migratórios que possibilitariam o avanço da atividade agropecuária.

Neste estudo, os resultados mostram que as classes que apresentaram área de conversão mais importante para AGLÉ em 2010, são as classes de vegetação secundária (33%) e pasto (37%), o que condiz com os levantamentos de campo de Santos (2020). As Figuras 4.8 e 4.9 mostram claramente essa transição.

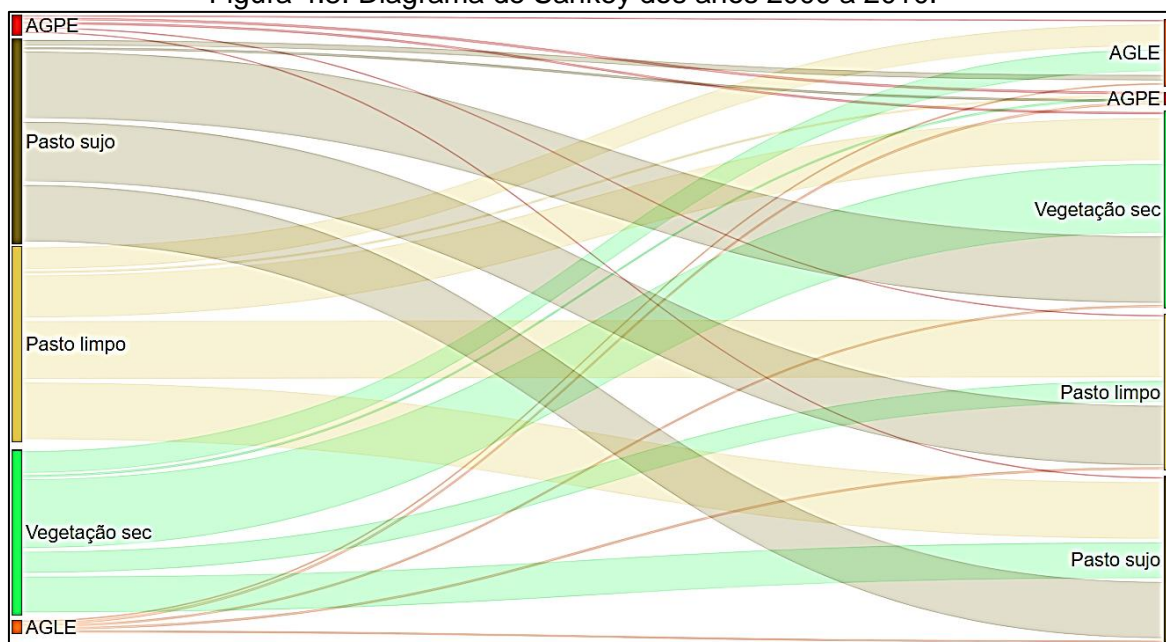
Tabela 4.14: Transição de 2000 para 2010.

TRANSIÇÃO		2010																			
		AGLE		AGPE		Veg. sec.		Pasto sujo		Pasto limpo		Floresta		Área urbana		Desflo		Área ã obs.		Total	
		KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%
2000	AGLE	9	(38)	0	(1)	7	(28)	4	(16)	2	(9)	2	(7)	0	(1)	0	(0)	0	(0)	23	(100)
	AGPE	13	(14)	1	(1)	49	(53)	8	(9)	12	(13)	9	(10)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	93	(100)
	Veg. sec.	209	(10)	4	(0)	1.107	(50)	178	(8)	293	(13)	342	(16)	4	(0)	12	(1)	43	(2)	2.192	(100)
	Pasto sujo	43	(3)	1	(0)	553	(44)	162	(13)	377	(30)	88	(7)	3	(0)	5	(0)	32	(3)	1.264	(100)
	Pasto limpo	192	(11)	5	(0)	652	(38)	229	(14)	473	(28)	97	(6)	5	(0)	4	(0)	39	(2)	1.696	(100)
	Floresta	171	(1)	9	(0)	1.883	(7)	446	(2)	507	(2)	22.208	(87)	1	(0)	151	(1)	61	(0)	25.438	(100)
	Área urbana	2	(9)	0	(1)	6	(25)	1	(4)	2	(8)	1	(5)	9	(40)	0	(0)	2	(8)	23	(100)
	Desflo	0	(0)	0	(0)	0	(68)	0	(6)	0	(7)	0	(19)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	1	(100)
	Área ã obs.	1	(1)	0	(0)	54	(44)	17	(14)	23	(19)	25	(20)	0	(0)	3	(2)	0	(0)	123	(100)
	Outros	1	(4)	1	(1)	18	(55)	2	(5)	3	(8)	9	(26)	0	(0)	0	(0)	0	(1)	33	(100)
Total km²	642		20		4.329		1.047		1.693		22.781		23		176		177		30.887		

*As % se referem aos valores de perda (linha)

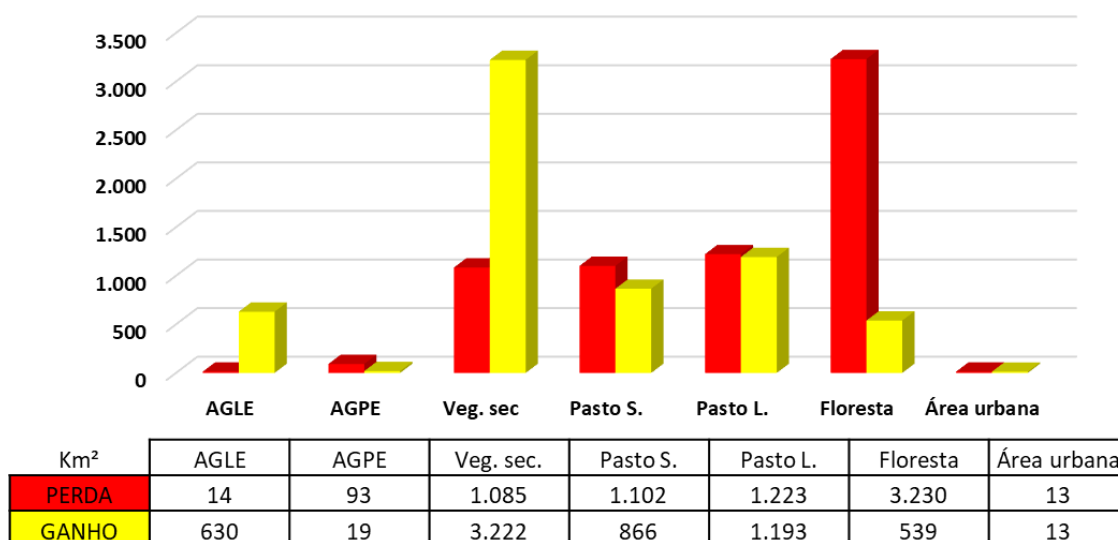
Fonte: Produção da autora.

Figura 4.8: Diagrama de Sankey dos anos 2000 a 2010.



Fonte: Produção da autora.

Figura 4.9: Gráfico de perda e ganho de 2000 para 2010.



Fonte: Produção da autora.

Cerca de 27% da classe de AGLE em 2010 é proveniente de áreas de floresta mapeadas em 2000 (Tabela 4.14), entretanto, como pode ser observado, essa área é pequena, cerca de 9 km². Somente 2% da área de AGLE é proveniente da AGPE, o que era esperado, já que, como mencionado anteriormente, essa classe possui áreas pequenas cuja localização varia ao longo do tempo, devido ao sistema de roçado ou "shifting cultivation" (JAKOVAC et al., 2017). No entanto, mesmo considerando o tamanho reduzido dessas áreas (13 km²), ela representou 14% da área de AGPE em 2000. É preciso considerar que o avanço da AGLE em áreas de vegetação secundária, pode estar relacionado com a AGPE no estágio de pousio. Como a análise dos mapas de uso e cobertura da terra não considera o contexto em que as manchas de vegetação secundária estão situadas, não é possível estimar o quanto de área de vegetação secundária convertida para a AGLE, está incluída nos modos de produção da agricultura de pequena escala. Essa análise é feita na próxima seção, em que as transições entre PLU's são analisadas.

Uma transição importante observada em relação a AGLE relaciona-se com a incorporação de 8,5 % da área das classes de pastagens de 2000, que constituem cerca de 37% da área total da AGLE em 2010. Parte disso pode ser

explicado pela moratória da soja, que entrou em vigor neste período, fazendo com que os agricultores incorporassem apenas as áreas desmatadas antes de 2008. Uma outra explicação é dada por Santos (2020), que menciona a disponibilidade de terras nessa região no final dos anos 90, muitas delas podendo conter áreas de pasto. Destaca-se, ainda, que a classe de AGPE, que apresentava 93 km² em 2000, teve sua área bastante reduzida em 2010 para 20 km².

A transição da classe de floresta demonstrou que houve uma perda considerável de área neste período, cerca de 2.657 km², 11% da área total em 2000. Essas áreas de floresta foram convertidas principalmente para vegetação secundária (7%) e pastagens (4%). Neste período, foi registrada a maior taxa de desmatamento na Amazônia desde 1988, de 27.772 km² em 2004 (PRODES, 2021). Na área de estudo, cerca de 5% da área de floresta convertida neste período, de um total de 3.230km², foi para a classe AGLE. Cerca de 50% da área da classe de vegetação secundária persistiu, enquanto 21% foi convertida para pastagem e 10% para AGLE. Da área total mapeada de vegetação secundária em 2010, 45% era floresta em 2000 (Tabela 4.14).

Para o período de 2010 e 2019, podemos observar na Tabela 4.15 e Figuras 4.10 e 4.11, que 70% da área da classe de AGLE persistiu no período, ocupando 11,5% das áreas desmatadas de 2019. Essa classe mostrou-se bastante estável, perdendo apenas para a classe urbana e florestal que apresentaram estabilidade em sua área de mais de 90%. Esta classe apresentou aumento em sua área total em 2019 de cerca de 71%, passando de 641 km² para 1.093 km². Em 2019, AGLE continha 27% de sua área proveniente da conversão da vegetação secundária, 22,6% da área de pastagem e 3% da AGPE (3 km²) do ano de 2010. As áreas de AGPE convertidas para AGLE representaram cerca de 15% da área total de AGPE em 2010, e 7% da vegetação secundária total mapeada em 2010, podendo a vegetação secundária representar áreas em pousio de AGPE.

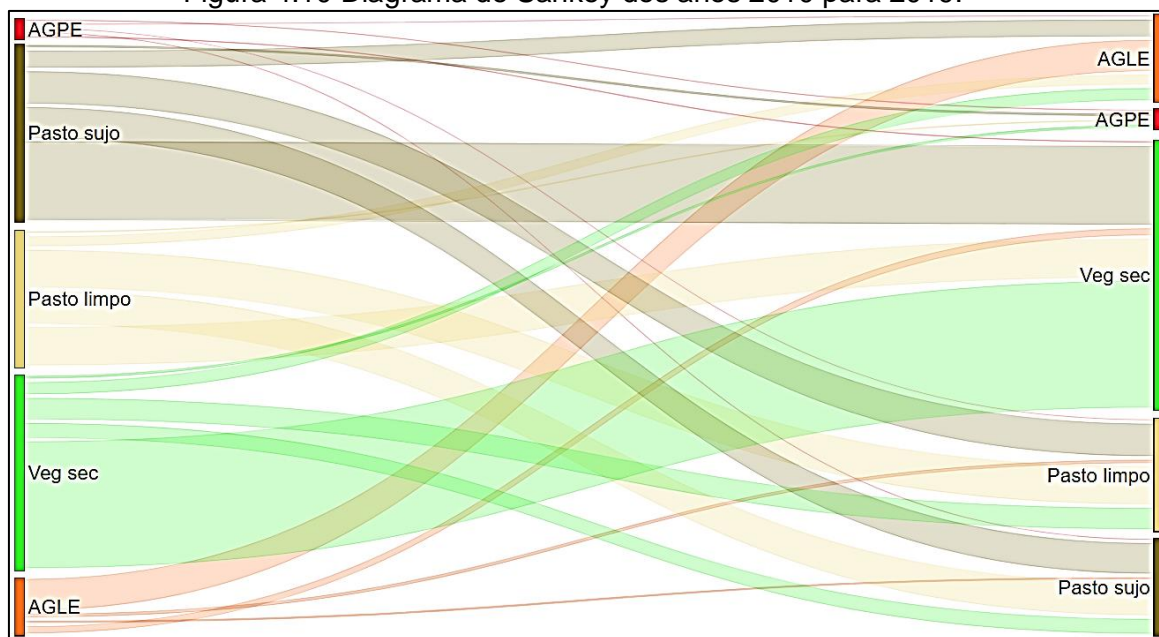
Tabela 4.15: Transição de 2010 para 2019.

		2019																	
2010	TRANSIÇÃO	AGLE		AGPE		Veg. sec.		Pasto sujo		Pasto limpo		Floresta		Área urbana		Área ñ obs.		Total	
		KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%	KM ²	%
	AGLE	448	(70)	4	(1)	95	(15)	23	(4)	44	(7)	18	(3)	8	(1)	1	(0)	641	(100)
	AGPE	3	(15)	1	(3)	10	(47)	2	(11)	4	(21)	1	(3)	0	(1)	0	(0)	20	(100)
	Veg. sec.	305	(7)	52	(1)	2.586	(60)	467	(11)	617	(14)	268	(6)	19	(0)	12	(0)	4.327	(100)
	Pasto sujo	114	(11)	10	(1)	437	(42)	214	(20)	188	(18)	72	(7)	6	(1)	4	(0)	1.044	(100)
	Pasto limpo	133	(8)	16	(1)	518	(31)	447	(26)	518	(31)	32	(2)	16	(1)	10	(1)	1.691	(100)
	Floresta	81	(0)	33	(0)	1.278	(6)	302	(1)	320	(1)	20.770	(91)	2	(0)	8	(0)	22.796	(100)
	Área urbana	0	(1)	0	(0)	1	(3)	0	(1)	0	(1)	0	(0)	21	(93)	0	(0)	23	(100)
	Desflo	6	(4)	2	(1)	88	(50)	28	(16)	30	(17)	20	(11)	0	(0)	1	(1)	176	(100)
	Área ñ obs.	3	(2)	2	(1)	64	(36)	45	(25)	49	(28)	11	(6)	4	(2)	0	(0)	177	(100)
	Total km ²	1.093		121		5.077		1.529		1.770		21.193		76		37		30.895	

*As % se referem aos valores de perda (linha)

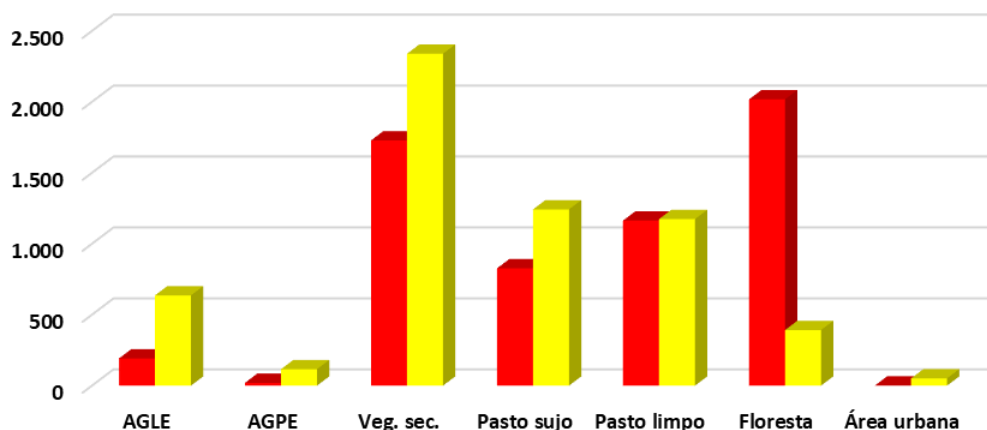
Fonte: Produção da autora.

Figura 4.10 Diagrama de Sankey dos anos 2010 para 2019.



Fonte: Produção da autora.

Figura 4.11: Gráfico de perda e ganho de 2010 para 2019.



Km ²	AGLE	AGPE	Veg. sec.	Pasto sujo	Pasto limpo	Floresta	Área urbana
PERDA	192	20	1.728	827	1.163	2.018	2
GANHO	636	116	2.339	1.242	1.174	392	51

Fonte: Produção da autora.

De acordo com a Figura 4.11, as classes de cobertura da terra que apresentaram maior perda no período foram a floresta e a vegetação secundária. Porém a perda de área da vegetação secundária foi compensada por um ganho ainda maior. Nota-se também na Figura 4.11 que a AGLE tem um alto ganho de área, juntamente com as áreas de pasto sujo, porém na AGLE as perdas são pequenas.

Cerca de 15% das áreas da classe de AGLE foram convertidas para vegetação secundária e 11% em pastagem. Isso pode ocorrer devido a três fatores: primeiro relaciona-se com a data do imageamento que pode ter ocorrido próximo ao período de colheita; segundo é a suposição de que o agricultor utiliza práticas de pousio; terceiro é de que algumas destas áreas de AGLE também são utilizadas para pastagem após algumas semanas da colheita (COSTA, 2018).

É importante destacar que 7,4% da AGLE expandiu sobre áreas de floresta nesse período, representando um aumento menor, se comparado à expansão entre 2000 e 2010 (Tabela 4.14), estimada em 26%. Este efeito pode ter relação com a moratória da soja, que levou a um desaceleramento do processo

de expansão desta cultura sobre áreas de floresta no período avaliado (2010-2019) (GOLLNOW et al., 2018).

A AGPE apresenta um aumento substancial em sua área (Tabela 4.15), passando de 20 km² para 121 km². Santos (2020) explica que, em parte, esse aumento ocorreu devido à prática de arrendamento de terras como uma estratégia adotada pelas famílias da região para manter a propriedade da terra, destinando uma pequena parcela das propriedades para a produção de mandioca, pimenta do reino, frutas ou criação de peixes. Com o processo de arrendamento, opta-se pela diversificação da produção garantindo uma renda extra.

Como mencionado anteriormente, a AGPE tem como característica a instabilidade, somente 0,6% da sua área persiste entre 2010 e 2019, sendo que 47% da área foi convertida para vegetação secundária, o que condiz com o esperado, com os períodos de pousio deste tipo de cultivo. Cerca de 15% da área da AGPE de 2010 é convertida para AGLE. Diferentemente do período anterior, a classe AGPE, como mencionado, teve um aumento substancial de área entre 2010 e 2019, Cerca de 43,5% de sua área vem da conversão da vegetação secundária, 27,5% de áreas de floresta e 21,8% de áreas de pastagem de 2010. A área da classe floresta apresentou 9% de conversão neste período, sendo que 6% foi convertida para vegetação secundária e 2% para pastagem. Outra observação importante, é que 7,4% de um total de 1.093km² de área de AGLE foi convertida de áreas de floresta.

A proporção de área da classe de vegetação secundária que persistiu nesse período foi de 60%. Cerca de 25% da vegetação secundária foi convertida em pastagem enquanto 7% foi convertida em AGLE. Cerca de 25% da área de vegetação secundária em 2019 era floresta em 2010. Essa grande proporção de vegetação secundária em 2019 proveniente das áreas de floresta de 2010 ocorre em parte porque nesta análise a vegetação secundária inicial e avançada forma unidas. Assim, a vegetação secundária inicial pode refletir áreas de pastos não manejados, abandono de áreas desmatadas em áreas remotas para especulação de terra (MACUL, 2019), terras agrícolas em pousio

ou áreas de cultura permanente ou sistemas agroflorestais como o cacau, bastante presente principalmente na região da transamazônica. Nas terras agrícolas, segundo Dal'Asta et. al. (2014), o tempo de pousio pode durar seis anos, até que novamente a terra é preparada e utilizada com o roçado.

4.2.1 Síntese das análises dos processos de mudança do uso e cobertura da terra

A partir das análises apresentadas nessa seção podemos discutir sobre a questão central levantada neste trabalho. Em relação às classes de uso e cobertura da terra sobre a qual a AGLE avança, no período de 2000 a 2019, os resultados obtidos nas análises apresentadas nessa seção, mostram que ela avança em grande parte sobre as áreas de pastagem (38%) e vegetação secundária (31%).

A interpretação sobre o significado das áreas de vegetação secundária varia de acordo com o contexto em que elas ocorrem. Parte da vegetação secundária, principalmente, quando ocorre próxima da AGPE, indica a presença de sistemas roçados ou itinerantes. Outra parte pode estar relacionada ao tipo de manejo empregado ou ao abandono de atividades agropecuárias. Outro significado que pode ser dado às áreas de vegetação secundária pode se relacionar ao fato de que as terras são vistas como produto comercializáveis e que para facilitar a venda, são desmatadas, ficam um tempo sem uso e em algum momento, entram no mercado para serem vendidas.

Com os mapas das Figuras 4.1, 4.2 e 4.3, apresentados nas Seções 4.1,1 e 4.1.2, observamos que no período de análise, a agricultura de grãos em larga escala se expande sobre a área do Planalto de Santarém de uma forma muito concentrada e intensa, principalmente no período de 2000 a 2010. Ao mesmo tempo, observamos que na porção central da bacia do Curuá-Una, em áreas mais afastadas das áreas urbanas e das principais rodovias, antes ocupadas por grandes manchas de floresta contínua, são desmatadas e ocupadas em grande proporção por vegetação secundária, provavelmente associadas à agropecuária de pequena escala. Esse mesmo processo pode ser visualizado

na área de influência da rodovia Transamazônica, nas áreas mais afastadas do eixo dessa rodovia. Porém, esse fenômeno não pode ser avaliado de forma isolada. No trabalho de Santos (2020) é mencionado o processo de valorização das terras da região em que predomina a produção de grãos, que exclui o acesso a pequenos e médios produtores.

Forçando os pequenos trabalhadores a migrarem para regiões cada vez mais distantes e encarar a força da natureza e domá-la, preparando o terreno para o avanço da fronteira agrícola a partir da lógica da frente de expansão e frente pioneira (SANTOS,2020).

Assim, uma possível relação desse processo de conversão do desmatamento para vegetação secundária, com os processos relacionados à expansão da AGLE, deve ser investigada.

A análise dos dados de cobertura da terra e das transições nos dá uma ideia geral das principais conversões ente classes de uso e cobertura nos possibilitando compreender as mudanças físicas que ocorrem na superfície da terra e inferir processos relacionados com mudanças observadas. Entretanto, para uma análise mais completa dessas mudanças de uso da terra e da expansão de sistemas técnicos produtivos, na área de estudo, como da agricultura de larga escala, outra abordagem é necessária.

Na abordagem que propomos, a área de estudo é classificada em Unidades de Paisagem de Produção (PLU's), uma aproximação das categorias de trajetórias tecnológicas estabelecidas por Costa (2009). Nessa abordagem as classes de cobertura da terra são analisadas no contexto dos sistemas técnicos produtivos, e não mais como objetos isolados ou agrupados por critérios de similaridade, associados às suas propriedades físicas. Com isso, torna-se possível ressignificar os usos e coberturas da terra, como a vegetação secundária, por exemplo, a partir dos diferentes contextos em que se encontram. Com a análise das PLU's e de suas transições ao longo tempo, torna-se possível compreender como os sistemas associados à produção de grãos avançam sobre os modos de produção da área de estudo e como

promovem mudanças ambientais sobre esses sistemas de produção presentes na bacia.

Sobre a evolução do uso e cobertura da terra ao longo do período analisado, podemos sintetizar alguns dos principais achados dessa seção, tendo como foco as dinâmicas da AGLE e os dois períodos avaliados: 1) 2000 a 2010; 2) 2010 a 2019.

- 1) 2000 a 2010. Neste período ocorreram grandes mudanças na região. A agricultura de larga escala que era incipiente em 2000, evidenciada no mapeamento com apenas 23km² (IBGE, 2000), em 2010 apresenta uma área considerável, concentrando-se nas áreas do Planalto santareno, chegando a ocupar uma área de 642 km², em 2010. Essas áreas avançam primordialmente sobre as áreas de pastagem e de vegetação secundária e sobre áreas de agricultura de pequena escala que são substituídas pela AGLE, sofrendo redução de sua área. Entretanto, a AGPE e a vegetação secundária persistem e coexistem no mesmo território em que AGLE se estabeleceu.
- 2) 2010 a 2019. Há uma grande expansão da AGLE, que em 2019 apresenta uma área de 1.093 km², incorporando áreas de vegetação secundária, pastagens, floresta e AGPE. Essas áreas continuam se concentrando na região do Planalto de Santarém, mas sua área é ampliada, se aproximando da área de influência da BR-163. Pouca área de floresta é convertida para AGLE, sendo ainda as principais classes de conversão, pastagem e vegetação secundária. A AGPE tem sua área aumentada e persiste nas proximidades da AGLE.

4.3 Unidades de Paisagem de Produção: dinâmicas espaciais e temporais

Nesta seção são apresentados os resultados do mapeamento e análises espaciais e temporais das Unidades de Paisagem de Produção – PLU's. As PLU's são unidades que possibilitam fazer a mediação entre os dados de uso e cobertura da terra, derivados de sensoriamento remoto, e os sistemas técnicos

produtivos existentes na região, nos anos analisados. Com essas análises buscamos responder às perguntas levantadas nesse trabalho sobre a expansão da agricultura de larga escala (grãos) sobre outros modos de produção existentes na bacia do Rio Curuá-Una.

Na Seção 4.3.1 as tipologias de PLU's desenvolvidas são apresentadas e as categorias são descritas a partir das classes de uso e cobertura da terra mapeadas, buscando-se fazer a correspondência de cada categoria com as Trajetórias Tecnológicas definidas por Costa (2009). A combinação de classes, bem como seus arranjos espaciais dentro de células de 9 km², juntamente com o arcabouço teórico utilizado, são os elementos básicos considerados na categorização das PLU's. Em seguida, na Seção 4.3.2, são apresentados os resultados da classificação das PLU's com técnicas de mineração de dados. Nessa seção fazemos uma avaliação do conjunto de árvores de decisão geradas, das métricas de paisagem mais frequentemente utilizadas nas árvores de decisão, bem como da exatidão dos mapas de PLU's obtidos para os anos de 2000, 2010 e 2019.

Na Seção 4.3.3 é realizada a análise dos padrões espaço temporais das PLU's, com análises de perdas e ganhos de área no período entre 2000 e 2019. Os principais modos de produção da bacia são apontados, bem como sua evolução no período de análise. Para as discussões sobre as dinâmicas e distribuição espacial das PLU's, em especial aquelas associadas à AGLE, trazemos algumas referências que dialogam com os resultados obtidos.

Na Seção 4.3.4 são apresentadas análises de perda e ganho das PLU's, matrizes e mapas de transição das PLU's, mostrando o avanço/retração das diferentes categorias de PLU's no período de estudo. Com essa análise apontamos sobre quais categorias, as PLU's ligadas à AGLE avançaram no período. Na Seção 4.3.4.1 uma análise mais específica das transições das PLU's relacionadas com a AGLE é realizada para o período de 2000 a 2019.

Por fim, na Seção 4.3.4.1 e 4.3.4.2 fazemos uma caracterização ambiental das unidades de paisagem de produção em relação às áreas de floresta, vegetação secundária e à diversidade de paisagem. Uma análise comparando a

proporção de floresta, vegetação secundária e diversidade de paisagem por categoria de PLU é realizada. Com essa análise, além da caracterização ambiental das PLU's, podemos avaliar e discutir a ocorrência de processos de homogeneização da paisagem decorrente da intensificação das atividades agropecuárias e da AGLE, como descreve Costa (2009).

4.3.1 Tipologia das Unidades de Paisagem de Produção- PLU's



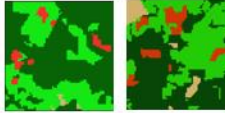
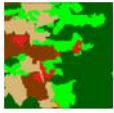
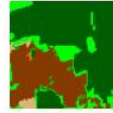


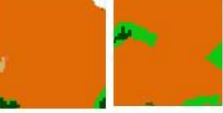
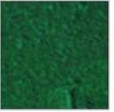
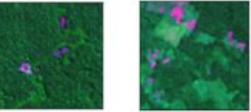
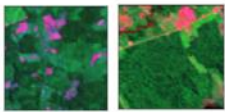


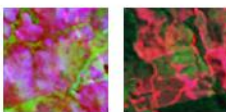

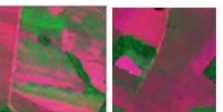
A definição das tipologias de PLU's foi realizada baseada nos padrões espaciais das classes de uso e cobertura da terra, observados nas células de 3x3 km, buscando-se uma aproximação com as categorias de Trajetórias Tecnológicas propostas por Costa (2009) e apresentadas na Seção 2.5.1. Essa definição é, também, uma adaptação das categorias obtidas por Souza (2016) na mesma região desse estudo, porém, com células de 8 X 8 Km, como apresentado na Tabela 2.3 da Seção 2.4.2. A Tabela 4.16 descreve a tipologia de PLU's desenvolvidas para este trabalho.

Diferentemente da tipologia desenvolvida por Souza (2016), optou-se por subdividir as classes correspondentes à pecuária camponesa (PLU3), denominada *transitória*, na tipologia da autora, em duas categorias, PLU3a e PLU3, embora a racionalidade camponesa e o modelo empregado sejam os mesmos. Essa subdivisão foi realizada porque foram observadas muitas áreas de AGPE, próximas às áreas de pastagens, indicando uma diversidade de usos que diferenciam as paisagens produzidas pela pecuária de pequena escala, sendo a paisagem da PLU3a mais semelhante à PLU2 e a paisagem relativa à PLU3 mais semelhante às paisagens e ao modelo de produção da PLU4.

A mesma divisão foi feita em relação à a PLU5, principal objeto de estudo desse trabalho, pois são encontradas muitas áreas de AGPE nos interstícios da AGLE, sendo essa uma característica peculiar da região do Planalto de Santarém. Santos (2020) em sua pesquisa nessa área, mostra que a AGLE tem um padrão disperso, não apresentando grandes áreas contínuas, devido à falta de terras disponíveis para a aquisição em áreas adjacentes e pela prática de arrendamento de terras. O autor relata, que no processo de aquisição de

grandes áreas de terras, muitos produtores, vindo de outras regiões para plantar grãos, acabaram se descapitalizando, o que os levou a arrendar suas terras, cuja área não excede 300 ha. Com este processo de arrendamento, a estratégia adotada foi a diversificação da produção, trazendo renda extra e novos recortes na paisagem. O mesmo padrão foi encontrado por Souza et al. (2017), no mapeamento realizado em 2012. De acordo com a autora, embora muitos lotes e fazendas tenham sido vendidos para o agronegócio, muitos agricultores ainda persistem na região com seus modos de produção, em pequenos lotes rurais, coexistindo com os grandes produtores. Esse padrão foi, também, observado por (CORTES; D'ANTONA, 2010); em expedições de campo (DAL'ASTA et al., 2014), e pelo trabalho realizado (DAL'ASTA et al., 2013) na região do entorno de Santarém, para os anos de 1990, 1999 e 2010. Embora, como na PLU3 e PLU3a a racionalidade seja a mesma, ou seja, nessas áreas predomina a lógica patronal e o paradigma mecânico-químico, a diferenciação entre PLU5a e PLU5 nos permite observar o contexto em que essas unidades estão inseridas, bem como sua evolução e tendências em relação à AGPE, levando a questionamentos sobre se essa forma de produção irá suprimir AGPE em sua vizinhança ou se ambas coexistirão.

Tabela 4.16: Definições das PLU's.

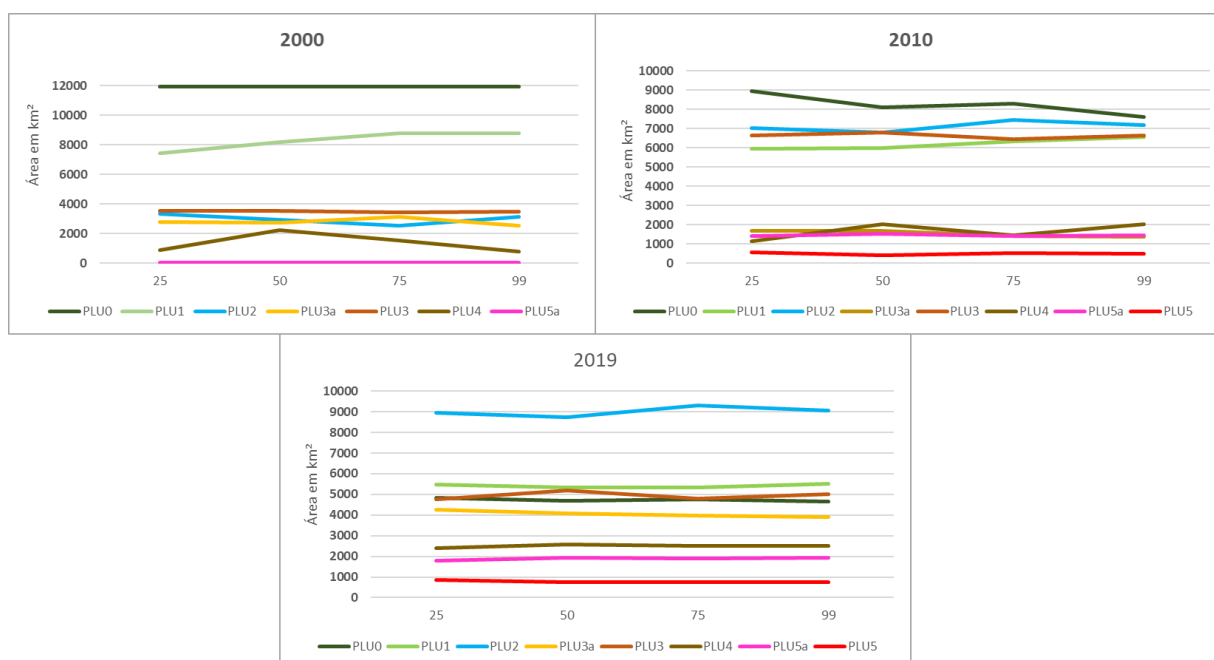
	PLU0	PLU1	PLU2	PLU3		PLU4	PLU5	PLU5
	-	-	-	A	-	-	A	-
	TT2	TT2	TT1-2	TT3		TT4	TT1-7	TT7
PADRÃO ESPACIAL								
DESCRIÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Célula com 100% de floresta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporção alta de cobertura florestal, podendo cobrir mais de 80% da célula. • Apresenta manchas de AGPE, combinadas com manchas de vegetação secundária e pequenas manchas de pastagem. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporção alta de manchas de vegetação secundária, com forma irregular e manchas de floresta. • Apresenta manchas de AGPE, combinadas com manchas de vegetação secundária e pequenas manchas de pastagem, além de corpos d'água. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pastagens com vegetação secundária e presença de manchas de floresta. • A- Pode apresentar AGPE. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pastagens com vegetação secundária e presença de manchas de floresta. • B- Pode apresentar AGLE. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presença principalmente de pastagem, com manchas de vegetação secundária ou não. Pode conter pequenas manchas de pequena escala. • Pastagem > 90%. 	<ul style="list-style-type: none"> • AGLE com manchas de vegetação secundária, pastagens, AGPE podendo ter pequenas manchas de floresta. • AGLE ~30-54%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presença principalmente de AGLE, com pouca ou nenhuma outra classe. • AGLE ~ 55-100%.
RGB 543 (2000-2010) RGB654 (2019)								

Fonte: Produção da autora.

4.3.2 Classificação das Unidades de Paisagem de Produção

Como mencionado na Seção 3.3.2, as classificações das PLU's foram realizadas utilizando o algoritmo de árvore de decisão, com a função boosting, implementada no classificador C5.0 (QUINLAN, 2021). Este procedimento possibilita gerar n árvores de decisão e, a partir de um sistema de votação, gera uma classificação com as classes mais frequentemente atribuídas pelas n árvores geradas. Para definir o valor n foram realizados experimentos considerando 25, 50, 75 e 99 iterações, pois diferentes valores geram diferentes classificações. A Figura 4.12, apresenta o resultado das classificações para cada ano, indicando que com 99 iterações a área de todas as classes se estabiliza, ou apresenta poucas variações, justificando sua escolha para classificação. A PLU4 é a classe que apresenta maior instabilidade em sua área nos anos de 2000 e 2010, provavelmente por ser uma das classes que tem menor representatividade em termos de área.

Figura 4.12: Área das classes X número de iterações do boosting.



Fonte: Produção da autora.

Com relação às árvores de decisão, do total das 99 árvores geradas para a classificação, 159 métricas foram utilizadas, entre elas, métricas de composição e de estrutura da paisagem, apresentadas no Apêndice A. Desse total, 27 métricas foram utilizadas em 80% das árvores e 6 métricas foram utilizadas em 100% delas. As árvores se mostraram bastante complexas, com várias ramificações e nós, e utilizaram entre 22 e 48 atributos (métricas). No Apêndice A, pode-se observar uma das árvores geradas, com 35 atributos, apresentando estrutura e métricas comumente utilizadas pelas demais árvores.

O índice de diversidade de Shannon (SHEI), as métricas de tamanho e forma das classes AGLE, floresta e vegetação secundária, foram utilizadas em diferentes níveis e ramificações das árvores de decisão em 100% das árvores. As métricas de área BIA_LE (área total do objeto de AGLE com maior intersecção com a célula), TABO_LE (área total do maior objeto de AGLE que intercepta uma célula) ou CA_LE (área total das manchas de AGLE na célula), foram utilizadas para separar a PLU5 e PLU5a das demais classes, sempre na primeira ramificação das árvores. Essas métricas de área possibilitaram discriminar as manchas grandes de AGPLE, bastante características dessa classe e que na maior parte das vezes, extrapola a área da célula, o que foi capturado pelas métricas BIA_LE, e TABO_LE (MCGARIGAL; MARKS, 1995).

4.3.2.1 Avaliação da exatidão dos mapas de PLU's

A avaliação da exatidão da classificação das PLU's foi obtida por meio de estatísticas derivadas da matriz de confusão, expressas como concordância total ou individual, como apresentadas a seguir, com foco nos valores individuais, quando se apresentam discrepantes dos demais, em cada período.

A Tabela 4.17 mostra a matriz de confusão gerada para a classificação da imagem de 2000, que apresentou 96% de exatidão global. A avaliação da exatidão das PLU's, do ponto de vista do produtor, ou da referência, pode ser entendida, observando, por exemplo, na coluna 1, que de um total de 30 amostras de PLU0, as 30 foram mapeadas como PLU0. O valor da diagonal, mostra a proporção de área classificada sem confusão com outras PLU's. Do

ponto de vista da exatidão do consumidor, estima-se uma probabilidade de 100% desta PLU representar a mesma classe na referência. Este percentual é esperado, pois, a PLU0 apresenta amostras bem homogêneas, de áreas florestais.

Tabela 4.17 Matriz de confusão da classificação das PLU's de 2000.

	PLU0	PLU1	PLU2	PLU3a	PLU3	PLU4	TOTAL	Exatidão Consumidor
PLU0	30	0	0	0	0	0	30	100%
PLU1	0	30	0	0	0	0	30	100%
PLU2	0	2	26	2	0	0	30	87%
PLU3	0	0	1	24	0	0	30	96%
PLU3a	0	0	0	0	25	0	25	96%
PLU4	0	0	0	0	1	19	20	100%
Total	30	32	27	26	26	19	160	95%
Exatidão Produtor	100%	94%	96%	92%	96%	100%		

Exatidão Global: 96%.

Fonte: Produção da autora.

Ainda na Tabela 4.17, observando a coluna 2, de um total de 32 amostras, que representam a referência de PLU1, 2 foram omitidas na classificação. Na diagonal principal, 30 amostras foram corretamente classificadas. O valor de exatidão do produtor para PLU1, de 94%, indica a probabilidade desta categoria na referência ter sido corretamente classificada. Observando a somatória da linha 3, constatamos que de um total de 30 amostras mapeadas como PLU2, somente 26 destas pertencem de fato à categoria PLU2. Com isso, observa-se que 4 amostras classificadas no mapa de PLU's foram inseridas equivocadamente nas categorias PLU1 e PLU3a. Deste modo, o valor de 87% de exatidão do consumidor para PLU2, indica a probabilidade da PLU2, classificada na imagem, representar a mesma classe de referência.

As mesmas avaliações foram feitas para as classificações dos mapas das PLU's dos anos de 2010 (Tabela 4.18) e 2019 (Tabela 4.19), conforme segue.

Tabela 4.18 - Matriz de confusão da classificação das PLU's de 2010.

	PLU0	PLU1	PLU2	PLU3a	PLU3	PLU4	PLU5a	PLU5	TOTAL	Exatidão Consumidor
PLU0	30	0	0	0	0	0	0	0	30	100%
PLU1	0	30	0	0	0	0	0	0	30	100%
PLU2	0	0	30	0	0	0	0	0	30	100%
PLU3a	0	0	0	25	0	0	0	0	25	100%
PLU3	0	0	0	1	24	0	0	0	25	96%
PLU4	0	0	0	0	1	14	0	0	15	93%
PLU5a	0	0	0	0	0	0	13	0	13	100%
PLU5	0	0	0	0	0	0	0	13	13	100%
TOTAL	30	30	30	26	25	14	13	13	181	
Exatidão Produtor	100%	100%	100%	96%	96%	100%	100%	100%		

Exatidão Global: 98%.

Fonte: Produção da autora.

A Tabela 4.18 mostra a matriz de confusão gerada para 2010, que apresentou 98% de exatidão global na classificação das PLU's. Como pode ser observado, a maioria das PLU's teve exatidão, tanto do consumidor, como do produtor com valores de 100%, ou bem próximos deste. O menor valor de exatidão, mesmo assim um valor elevado, 93%, refere-se à exatidão do consumidor para a PLU4, de modo que, do total de 15 amostras mapeadas como PLU4, 14 foram corretamente classificadas e uma foi incluída equivocadamente na categoria PLU3.

Tabela 4.19 - Matriz de confusão da classificação das PLU's de 2019.

	PLU0	PLU1	PLU2	PLU3a	PLU3	PLU4	PLU5a	PLU5	TOTAL	Exatidão Consumidor
PLU0	30	0	0	0	0	0	0	0	30	100%
PLU1	0	30	0	0	0	0	0	0	30	100%
PLU2	0	1	29	0	0	0	0	0	30	96%
PLU3a	0	0	3	22	0	0	0	0	25	88%
PLU3	0	0	0	0	25	0	0	0	25	100%
PLU4	0	0	0	1	1	13	0	0	15	86%
PLU5a	0	0	0	0	0	0	13	0	13	92%
PLU5	0	0	0	0	0	0	1	12	13	92%
TOTAL	30	31	32	23	26	13	14	12	181	
Exatidão Produtor	100%	96%	90%	96%	96%	100%	100%	100%		

Exatidão Global: 96%.

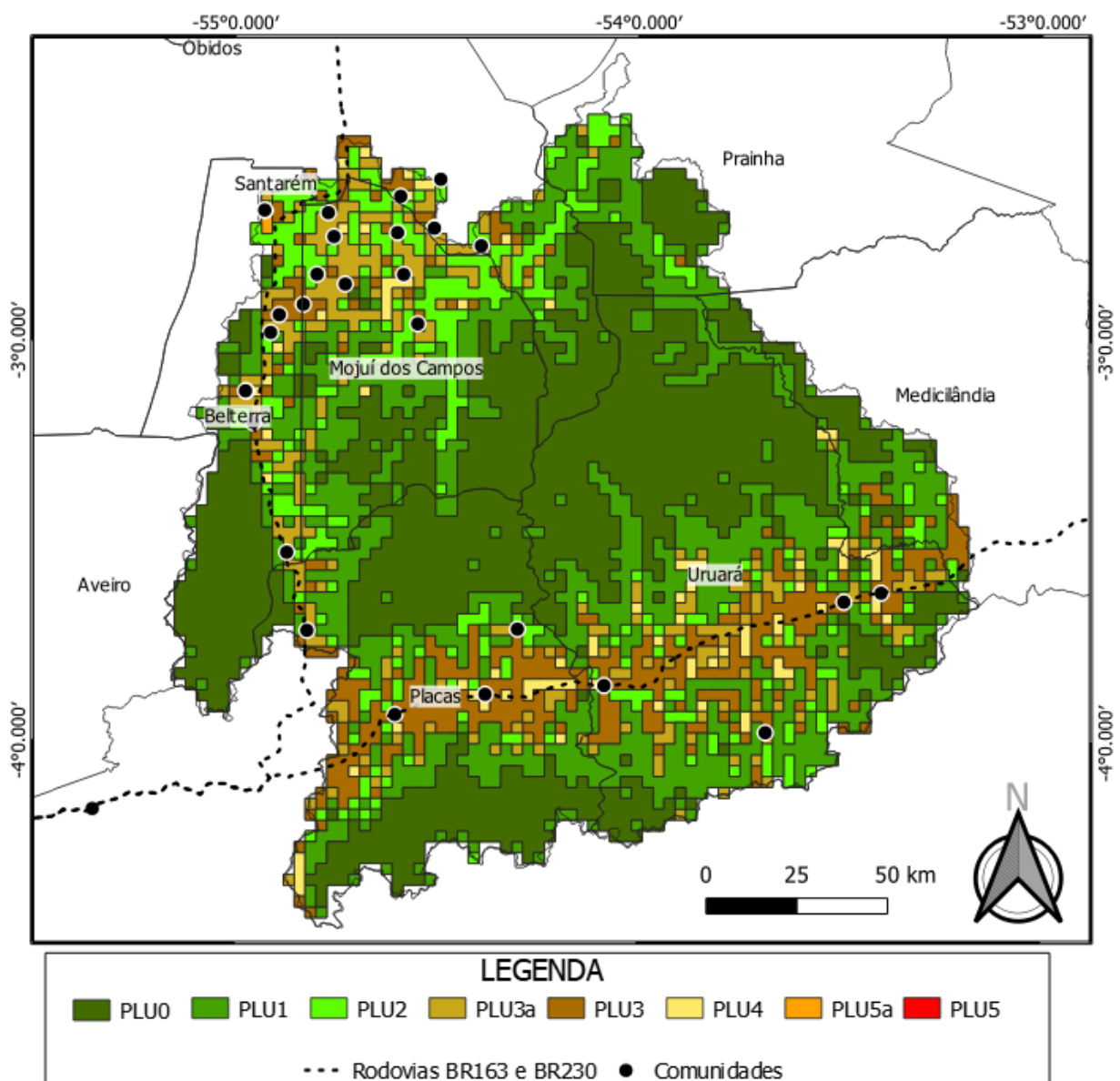
Fonte: Produção da autora.

O mapa das PLU's de 2019 apresentou exatidão global de 96%, mostrando uma proporção alta de acerto global do classificador. Quanto às avaliações individuais, as análises das PLU's apresentaram valores, em sua maioria, entre 96% e 100%. Apenas para a PLU2, em relação à exatidão do produtor, mostrou um valor menor, indicando que há 90% de probabilidade a probabilidade desta categoria ter sido corretamente classificada de acordo com as amostras de referência. Assim como ocorreu na classificação de 2010, a PLU4, em relação à exatidão do consumidor, mostrou um valor de 86%, mais baixo que as demais PLU's classificadas, em 2019. Esta categoria, embora tenha apresentado crescimento no período, ela é menos representativa, de modo que o pequeno conjunto amostral de referência pode ter influenciado neste valor. Do total de 15 amostras mapeadas como PLU4, 13 foram corretamente classificadas, e duas foram incluídas equivocadamente nas categorias PLU3 e PLU3a, que pode ser explicado devido à semelhanças entre as classes de uso e cobertura da terra que compõe essa classe.

4.3.3 Análise das dinâmicas espaço temporais das Unidades de Paisagem de Produção

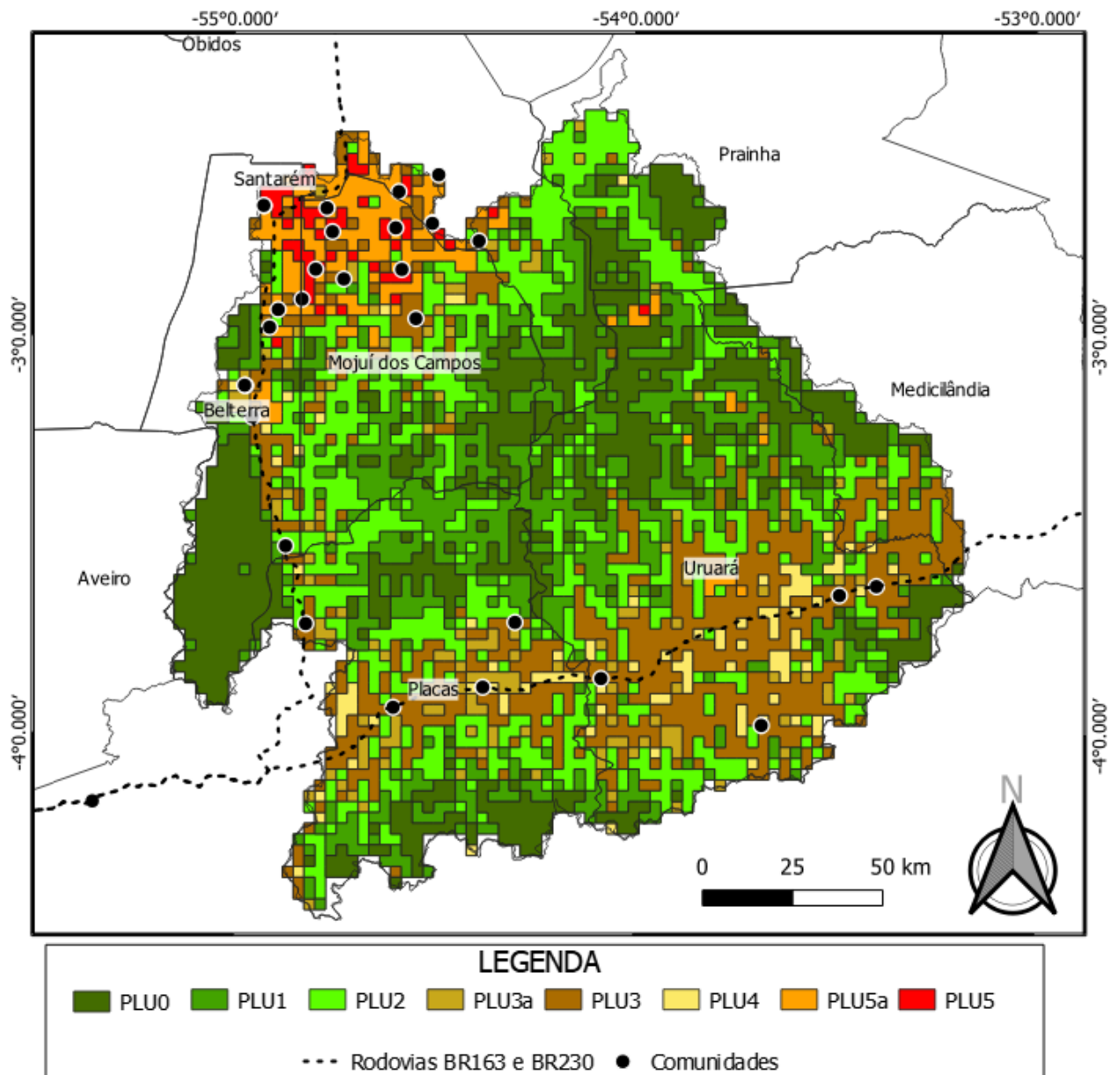
Os mapas resultantes da classificação das PLU's são apresentados nas Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 para os anos de 2000, 2010 e 2019, respectivamente. A Figura 4.16 apresenta a área das PLU's mapeadas, mostrando os modos de produção dominantes na Bacia do rio Curuá-Una, e sua evolução no período de 2000 a 2019.

Figura 4.13: Resultado da classificação das PLU's de 2000.



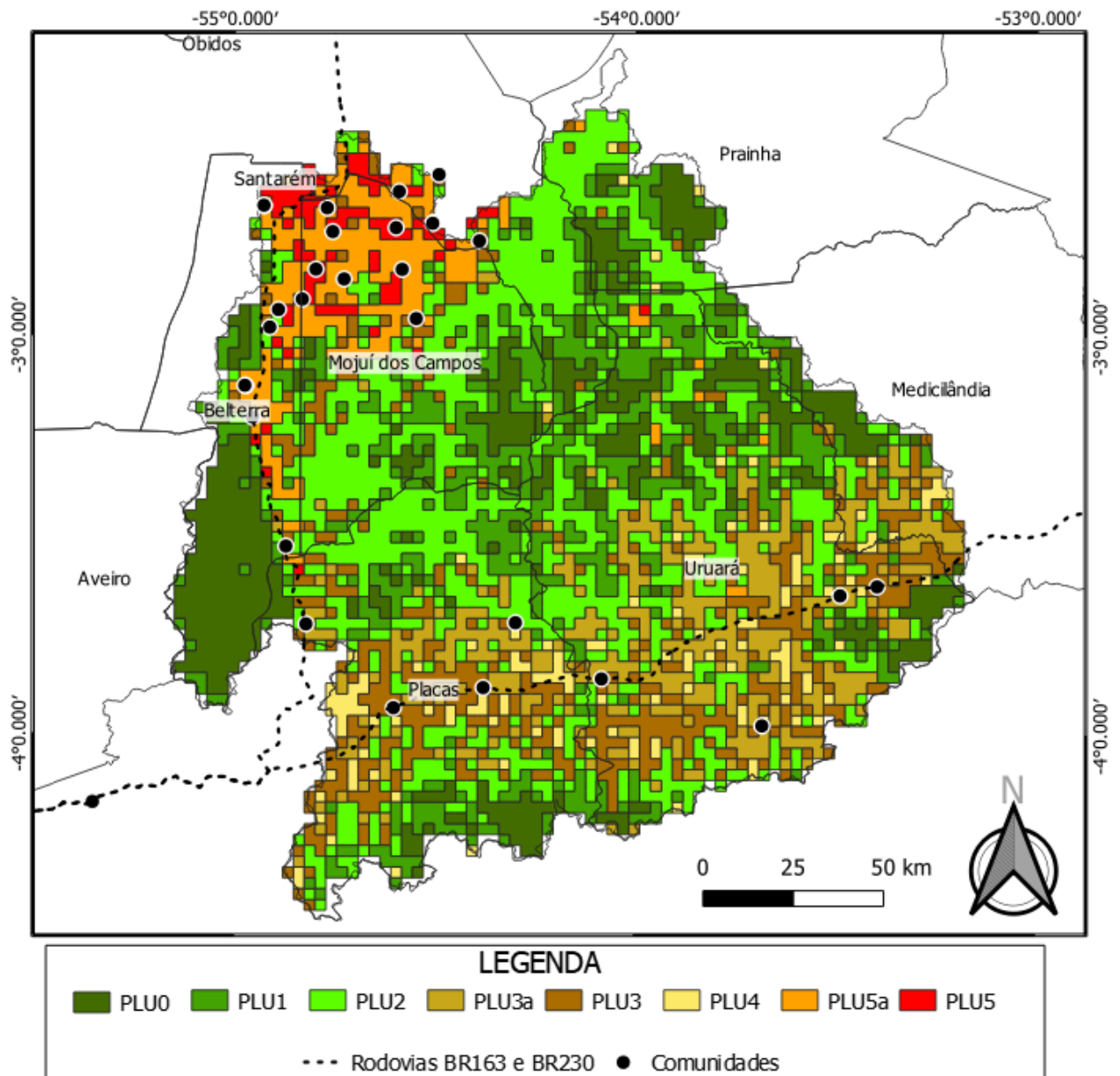
Fonte: Produção da autora.

Figura 4.14: Resultado da classificação das PLU's de 2010.



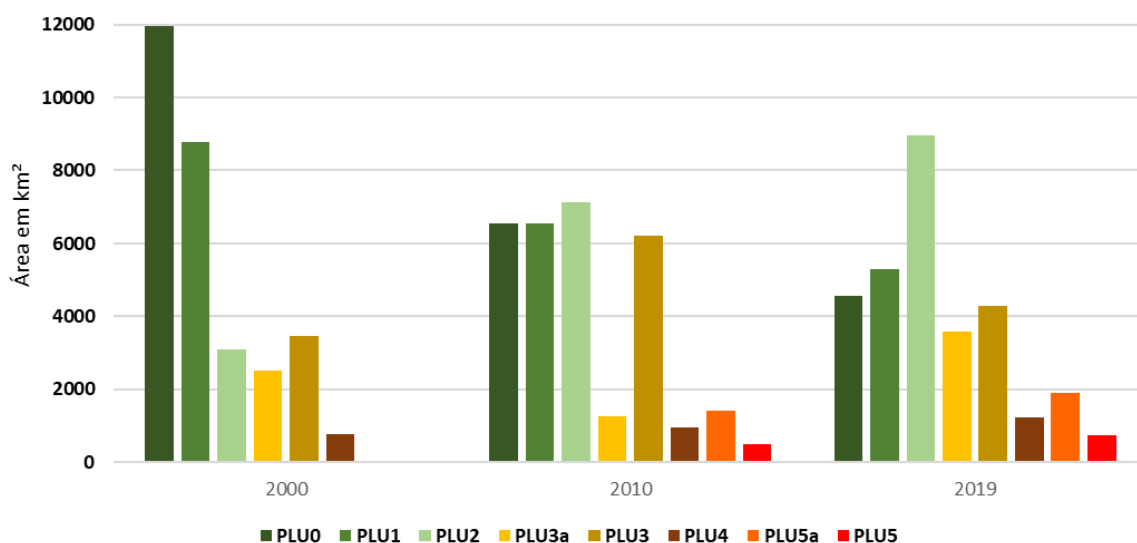
Fonte: Produção da autora.

Figura 4.15: Resultado da classificação das PLU's de 2019.



Fonte: Produção da autora.

Figura 4.16: Áreas ocupadas pelas PLU's para os anos de 2000, 2010 e 2019 na Bacia do Curuá-Una.



Km²	PLU0	%	PLU1	%	PLU2	%	PLU3a	%	PLU3	%	PLU4	%	PLU5a	%	PLU5	%	Total	%
2000	11948	39	8767	29	3108	10	2507	8	3457	11	781	3	18	0	0	0	30587	100
2010	6557	21	6539	21	7134	23	1276	4	6224	20	952	3	1420	5	486	2	30587	100
2019	4556	15	5301	17	8959	29	3583	12	4295	14	1231	4	1915	6	746	2	30586	100

Fonte: Produção da autora.

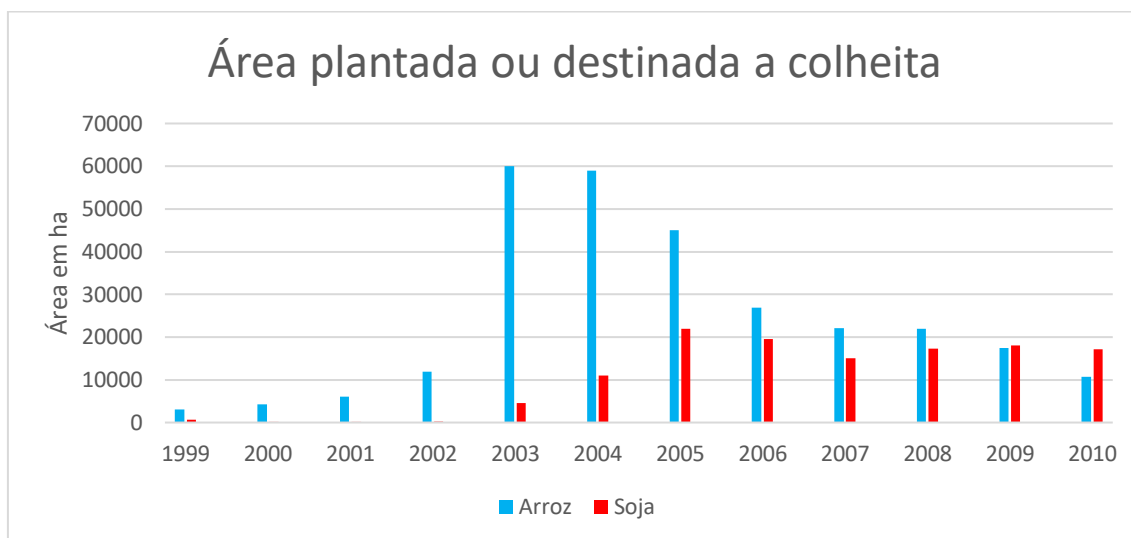
A partir dos mapas (Figuras 4.13, 4.14 e 4.15) e do histograma de áreas das PLU's (Figura 4.16) apresentados para os anos de 2000, 2010 e 2019, podemos avaliar e caracterizar a distribuição espacial e a evolução das PLU's ao longo do tempo.

A classificação das PLU's para o ano de 2000 (Figura 4.13) mostra o predomínio da PLU0 (39%), associada às áreas de floresta primária em que potenciais atividades extrativistas podem ocorrer. Neste mapa observa-se que a PLU1 e PLU2, que são aproximações da TT2 e TT1 (Tabela 2.2 e 2.3), respectivamente, ocupam 39% da área, sendo a PLU1 predominante (29%) em relação à PLU2 (10%). Nas PLU's 1 e 2 predominam o desenvolvimento da agricultura de pequena escala, em geral desenvolvida com mão de obra familiar em pequenos lotes, apresentando manchas de floresta, vegetação secundária e pequenas áreas de pastagens. Destaca-se, ainda, mas em menor

proporção, a presença da PLU3 (11%), PLU3a (8%) e PLU4 (3%), que correspondem às TT3 e TT4, associadas à pecuária camponesa e patronal, respectivamente. A concentração espacial das PLU's, 3 e 4 ao longo das rodovias BR-163 e BR-230 (Transamazônica), está ligada à presença de estradas e à criação de projetos de assentamentos em seu entorno, principalmente no eixo da Transamazônica cujos imóveis em sua grande maioria, são provenientes de Projeto de Assentamento do INCRA, criados na década de 1970 durante o processo de colonização.

Por fim, a PLU5a em 2000, está presente em uma pequena área no Planalto de Santarém. Essas áreas são associadas à AGLÉ, e estavam presentes antes da construção do terminal graneleiro da Cargill em 2003, sendo possível que uma parte delas corresponda às terras com cultivo de arroz, produto que até o início dos anos 2000 era cultivado em grandes quantidades na região e que, a partir de 2004, apresenta uma tendência de redução na sua produção (Figura 4.17). De acordo com Santos (2020), baseado em entrevistas com agricultores da comunidade Boa Esperança, nas proximidades do município de Santarém, devido à grande flutuação no preço da soja, com momentos de grande declínio, ocorreu uma diversificação na produção agrícola, em que algumas áreas de cultivo de arroz foram mantidas, juntamente com novas áreas de cultivo de mandioca, fruticultura, pimenta e horticultura.

Figura 4.17: Área cultivada de Arroz e Soja em Santarém.



Fonte: IBGE (2020b).

O mapa das PLU's de 2010 (Figura 4.14) mostra na área do Planalto de Santarém e Mojuí dos Campos, o início da expansão da PLU5a e, também, da PLU5, caracterizadas principalmente pela produção de grãos em larga escala. Estas PLU's estão relacionadas com a TT7 e apresentaram em 2010, somadas, uma área de 1.906 km², representando um grande aumento, quando comparada com 2000, que apresentava apenas 18 km². Nota-se que grande parte da área desta categoria está na PLU5a (75% - 1.420 km²) enquanto a PLU5 apresenta 25% (486 km²) da área desta categoria, confirmando o que (DAL'ASTA et al., 2013, 2014, 2017; SANTOS, 2020) relatam sobre o padrão espacial da AGLE nesta região, disperso e em coexistência com a AGPE. A proporção da área ocupada pela PLU5a diminuiu no período de 2000-2019 para 72%, aumentando a proporção de área da PLU5 para 28%, sendo que esta última não apresenta manchas de AGPE. Esse resultado indica uma tendência de homogeneização das paisagens relacionadas com esse tipo de agricultura na região do Planalto de Santarém nesse período e à incorporação de terras da AGPE pela PLU5.

Na região próxima à sede do município de Uruará, no eixo da Transamazônica, podemos observar, em relação à Figura 4.13, um aumento da PLU3a e PLU3

no período de 2000 a 2010, passando de 5.964km² para 7.500km² (de 19% para 24%), associado às trajetórias camponesas de pecuária leiteira e de corte. Estes resultados são coerentes com os resultados obtidos por Costa (2018), que indicam um aumento da área de pastagem na região, em especial do município de Uruará que teve um aumento expressivo da atividade da pecuária no período, aumentando de 232.91 para 290.513 cabeças de gado (IBGE, 2020c). Também nesta região, no eixo da Transamazônica, é possível observar um aumento das células de PLU4, em relação à área total mapeada, de 781 km² em 2000 para 952 km² em 2010. Essa PLU é caracterizada pela atividade pecuarista patronal, que apresenta grandes áreas de pastagem para pecuária extensiva.

A PLU2 se caracteriza por apresentar uma proporção grande de vegetação secundária, devido ao sistema de pousio utilizado no cultivo de produtos como a mandioca. Essa PLU teve sua área e distribuição espacial ampliada em 2010, em relação à 2000. Foi a PLU que mais aumentou de área, passando de 3.108 km² para 7.134 km², um aumento de 129% no período de 2000 a 2010, passando a ocupar 23% da área da bacia. Observa-se pela Figura 4.14 que a PLU2 é praticamente suprimida da área do Planalto e se expande sobre as áreas da PLU1 (agroflorestal) e PLU0 (floresta), no interior da área da bacia. A PLU1, que representa as paisagens produzidas pelos sistemas de produção associados ao agroextrativismo, tem sua área reduzida nesse período, passando de 8.767 km² (28%) para 6.539 km² (21%), sugerindo que essa redução de área se relaciona à expansão das PLU's 5 e PLU2 sobre elas, ou com processos de intensificação do uso da terra.

A classificação de 2019 (Figura 4.15) mostra na região do Planalto de Santarém, que as áreas de PLU5 e PLU5a, mapeadas em 2010, foram consolidadas durante o período seguinte (2010 a 2019) e apresentaram um aumento de 39% em relação à área ocupada em 2010, resultando em uma área de 2.661 km². Observa-se que no período de 2010 a 2019, a expansão da AGLE ocorre no entorno das áreas ocupadas pelas PLU5 e PLU5a em 2010, e da BR-163. Observa-se, também, que nessa região algumas das células que representavam a PLU3 e PLU3a e que restaram em 2010, foram incorporadas

em 2019 pela PLU5a. Santos (2020) mostra que muitos dos agricultores e pecuaristas que viviam nessa região, venderam suas terras e/ou converteram suas áreas de pecuária e/ou cultivo, para a agricultura mecanizada, em particular para cultivo de soja (com rotação de culturas – milho, sorgo, arroz),

Na região da Transamazônica observa-se que as células de PLU3a, PLU3 e PLU4, que foram observadas em 2010, ainda estão presentes em 2019. No entanto, observa-se uma grande redução da PLU0 nessa região e aumento da PLU1 e PLU2. A PLU0 passa a ficar restrita a algumas células na porção central da bacia e nas unidades de conservação, como a Floresta Nacional do Tapajós (FLONA), localizadas nas bordas da bacia à Oeste e Sudoeste.

Em síntese, se observarmos o período inteiro (2000-2019), na Figura 4.13 observamos que em 2000, a PLU0 (Floresta) e a PLU1 (Floresta, com pequenas áreas de AGPE) dominavam a paisagem, representando 39% e 29% da área da bacia, respectivamente. Em 2019 (Figura 4.15), ocorre uma diminuição significativa da PLU0 (15%), e da PLU1 (17%) de aproximadamente 62% e 39%, em relação à suas áreas em 2000. As PLU2, PLU3 e PLU3a, as duas últimas com suas áreas somadas, apresentaram um aumento expressivo nesse período, passando a representar 29% e 27% da área da bacia. A PLU5 e PLU5a também aumentaram de área em 2019, passando a ocupar 14% da área da bacia, se concentrando na região do Planalto Santareno e, posteriormente, expandindo-se para a área de entorno da BR-163. Essa PLU apresentava apenas 18 km² (0,05%) de área em 2000, no início da expansão da AGLÉ na região (PRINTES, 2017), apresentando um grande aumento no período analisado. A PLU4 também apresentou aumento, porém, menos expressivo que as demais PLU's, passando a ocupar 4% da área da bacia, quando em 2000 apresentavam 3%.

4.3.4 Análise de transição das Unidades de Paisagem de Produção

Nesta seção são apresentadas as matrizes de transição das PLU's e seus respectivos mapas. Também são apresentadas as análises de perda e ganho de área das PLU's, mostradas a partir de gráficos.

Para auxiliar na compreensão dos processos de transição das PLU's, a Tabela 4.20 apresenta uma legenda de cores utilizada nas matrizes de transição (Figura 4.19, 4.21 e 4.23), fazendo a correspondência com processos relacionados à intensificação do uso, perda florestal, estabilidade e redução da intensificação.

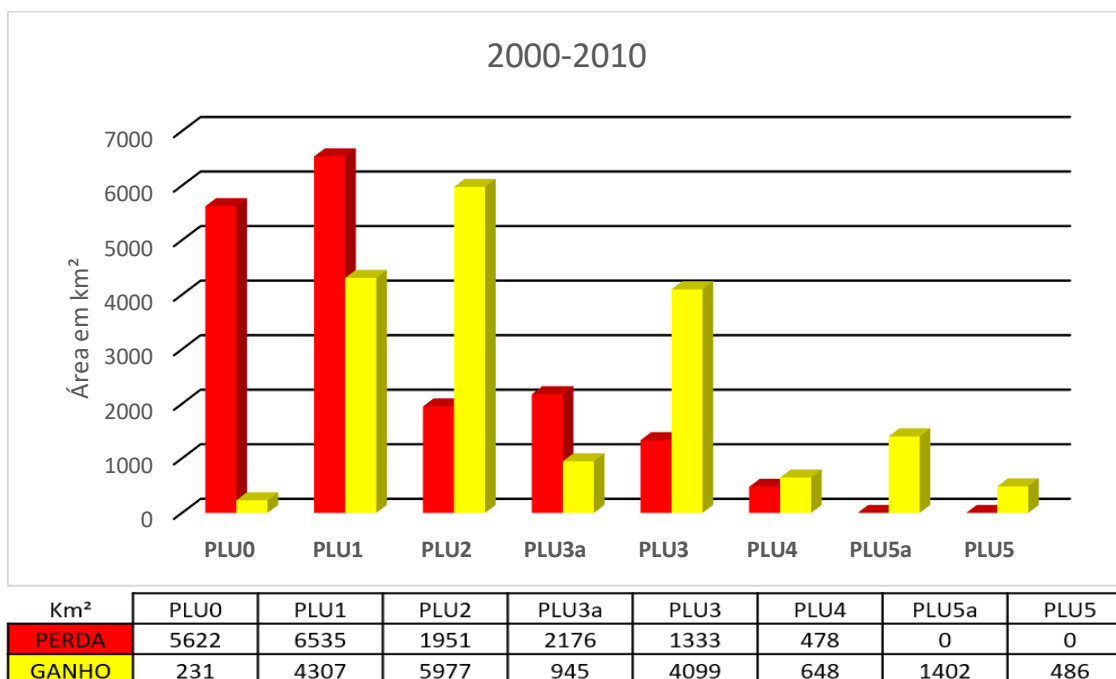
Tabela 4.20: Legenda das matrizes de transição.

	Legenda	Processo
	Conversão da PLU0 para PLU1 e PLU2	Perda florestal
	Conversão da PLU0 para PLU3	Perda florestal
	Conversão da PLU0 para PLU4	Perda florestal
	Conversão da PLU0 para PLU5	Perda florestal
	Conversão PLU1 e 2, para PLU3	Intensificação do uso
	Conversão PLU1, 2 e 3 para PLU4	Intensificação do uso
	Conversão PLU1, 2, 3 e 4 para PLU5	Intensificação do uso
	Conversão PLU4 e 3 para PLU 1 ou 2 ou 3	Redução da intensificação
	Conversão PLU5 para PLU5a ou PLU4	Redução da intensificação
	Sem mudança	Estabilidade
	Transição inconsistente	-

Fonte: Produção da autora.

Com o gráfico da Figura 4.18, observa-se que de 2000 a 2010, a PLU0 e a PLU1 foram as unidades que apresentaram maiores perdas em termos de área. No entanto, a PLU1, apesar de apresentar grandes perdas, também ganhou área neste mesmo período, porém, isso não ocorreu na mesma proporção da perda.

Figura 4.18: Gráfico de perda e ganho de área das PLU's para 2000 a 2010.



Fonte: Produção da autora.

Analisando a Figura 4.18 observa-se que os processos de ganho e perda da PLU1 ocorrem próximos das áreas do Planalto de Santarém, em seu entorno, e o ganho ocorre predominantemente nas áreas onde antes ocorria a PLU0, na porção central da bacia. De acordo com a matriz de transição, cerca de 65% da área das PLU1 em 2010 é proveniente da conversão da PLU0. Na Figura 4.20 observa-se claramente as tendências de perda florestal e intensificação do uso da terra. Nos processos de intensificação é possível observar que as principais conversões ocorrem da PLU1 para PLU2 e PLU3 e, da PLU2 para a PLU3. Esse processo pode ser observado no entorno das áreas previamente ocupadas nos eixos da BR-230 e da BR-163, bem como no entorno das áreas do Planalto de Santarém, próximo à sede do município de Mojuí dos Campos.

As áreas de PLU3a apresentam nesse período mais perda do que ganho (Figura 4.19). Esse resultado sugere uma tendência de homogeneização do uso da terra com a predominância de pastagem e redução da área AGPE nesse período. Com relação a PLU4, ela se manteve quase estável, mostrando um pequeno aumento, um pouco maior do que a área perdida (Figura 4.19).

Um fenômeno bastante claro neste período é a expansão da área das PLU5a e PLU5, ambas tiveram um grande crescimento, predominando na região do Planalto de Santarém e praticamente dominando quase todas as células dessa região. Cerca de 47% das conversões para PLU5 e PLU5a desse período, vem da PLU3 e PLU3a, que representam a pecuária camponesa, enquanto, 32% vêm da PLU2, que representa os sistemas agroextrativistas. A conversão das áreas de pastagem para agricultura de larga escala é um processo bastante relatado na literatura (GOLLNOW et al., 2018), principalmente após a moratória da soja que procurou assegurar que a soja comercializada não seja proveniente de áreas desmatadas após 2008, o que pode ter causado a redução do desmatamento direto para o estabelecimento dessa atividade.

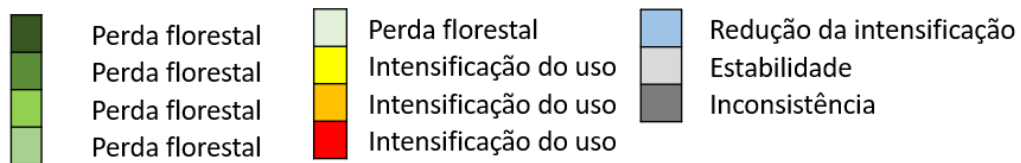
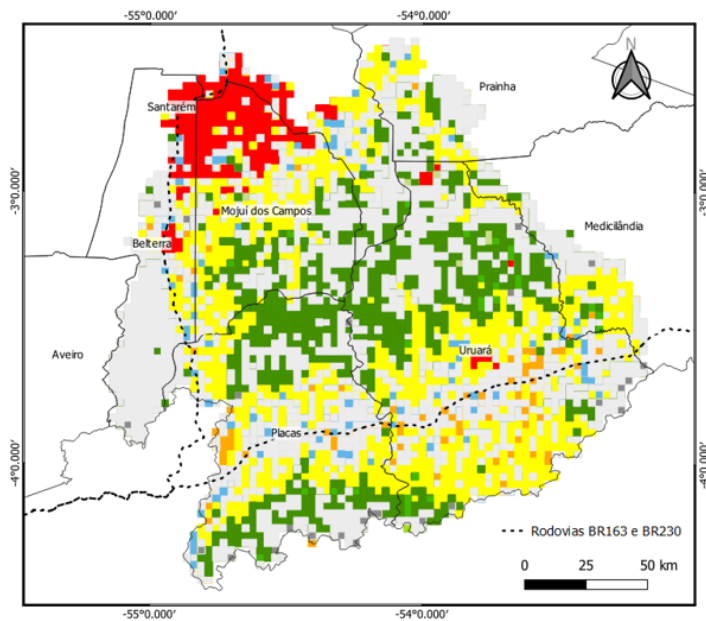
Embora poucas células de PLU0, que apresentam 100% de cobertura florestal, tenham sido convertidas para PLU5a ou PLU5 (menos de 3%), o avanço desses sistemas de produção sobre as áreas de PLU2 preocupam, pois são áreas de produção de pequena escala, camponesa, que mantêm uma grande proporção de cobertura florestal e vegetação secundária.

No caso das PLU3a e PLU3, podemos observar alguma redução da intensificação, nas conversões para a PLU2, ocorrendo em 6% de sua área.

Nas Figuras 4.20, 4.22 e 4.24, podemos observar a presença de algumas transições inconsistentes, em pequena proporção, como a conversão da PL1 para PL0, que pode ser explicada devido ao possível deslocamento da máscara de floresta do PRODES, utilizada na etapa de classificação, e/ou devido aos erros que podem ter ocorrido na classificação do uso e cobertura da terra e das PLU's.

Figura 4.19: Transição das áreas das PLU's entre 2000 e 2010.

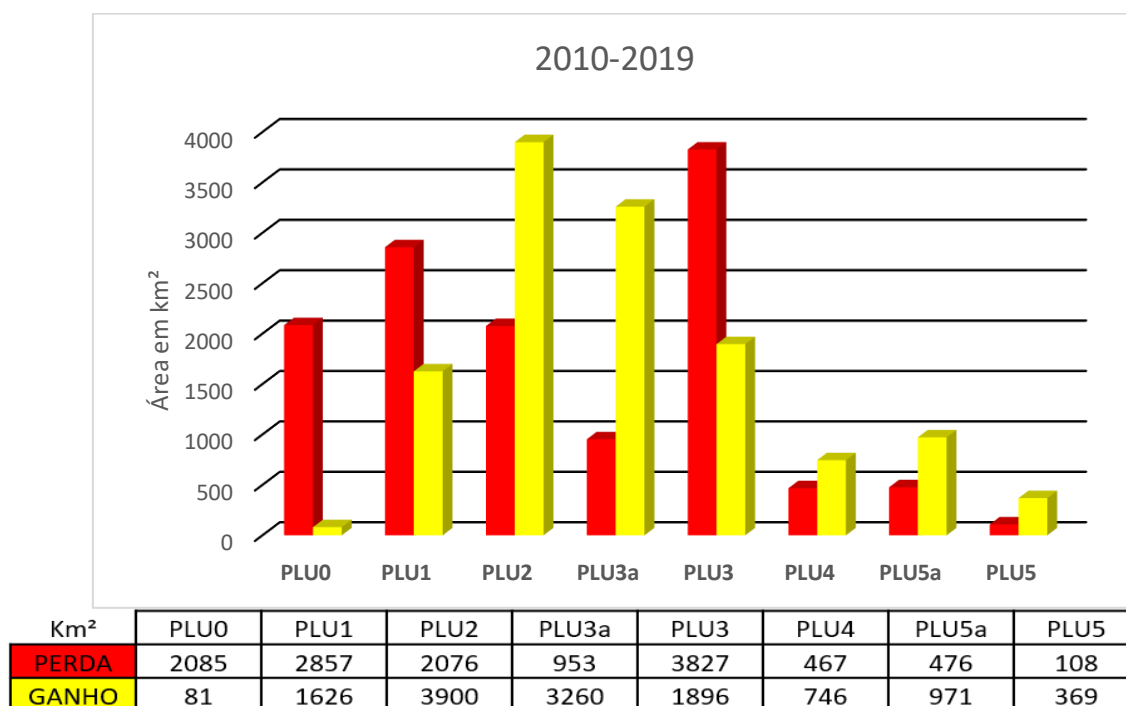
Km ²		2010								
		PLU0	PLU1	PLU2	PLU3a	PLU3	PLU4	PLU5a	PLU5	
2000	PLU0	6326	4276	1039	54	190	9	54	0	11948
	PLU1	230	2232	4517	271	1308	46	153	9	8767
	PLU2	0	2	1157	252	1059	37	405	198	3108
	PLU3a	0	1	192	331	1228	135	477	144	2507
	PLU3	0	10	228	332	2125	422	269	72	3457
	PLU4	0	18	1	36	315	304	45	63	781
	PLU5a	0	0	0	0	0	0	18	0	18
		6557	6539	7134	1276	6224	952	1420	486	30587



Fonte: Produção da autora.

No período de 2010 a 2019 as PLU's que apresentaram maior perda de área foram as PLU0, PLU1 e PLU3 (Figura 4.22). Ao observarmos apenas as PLU's 3, podemos constatar que parte da perda de área da PLU3 foi compensada pelo ganho de área da PLU3a. Essas unidades de paisagem de produção representam a trajetórias tecnológicas camponesas associadas à atividade de pecuária, com a única diferença de que a PLU3a apresenta também agricultura de pequena escala realizada em conjunto com as atividades de pecuária. O aumento da área da PLU3a nesse período indica uma diversificação da produção, que pode persistir ou não ao longo do tempo. Com relação a perda acentuada de área das PLU0 e PLU1 (Figura 4.19) observamos que esse processo vem ocorrendo continuamente, desde 2000 até 2019 (Figura 4.20). Essa dinâmica indica intensificação do uso e expansão das áreas de produção agropecuária para regiões em que antes predominava a cobertura florestal representadas pela PLU0. As PLU5a e PLU5 também mantiveram tendência de crescimento, com ganho superior a perda, desde 2000, sendo a PLU5a, a de maior representatividade em termos de área (72%).

Figura 4.20: Gráfico de perda e ganho de área das PLU para o período de 2010 a 2019.



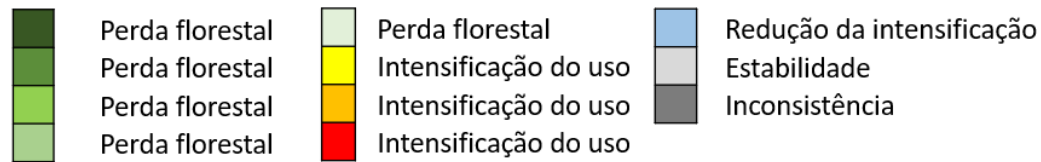
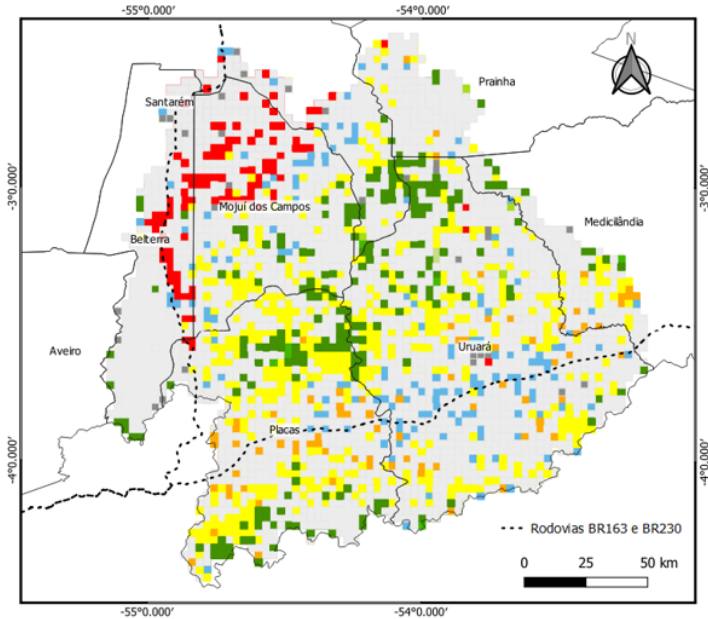
Fonte: Produção da autora.

A matriz de transição apresentada na Figura 4.21 evidencia as mudanças ocorridas no período de 2010 a 2019. Dentre estas mudanças, podemos observar a drástica redução de área da PLU0, que passa a ocupar uma área equivalente a 15% da área de estudo, em 2019. Observa-se que essa conversão ocorre em maior proporção para as PLU's que representam os sistemas camponeses (PLU1, PLU2, PLU3, PLU3a), sendo que 23% de sua área é convertida para PLU1. Essa conversão ocorre principalmente na porção central da bacia. A PLU1, foi convertida principalmente para PLU2, com cerca de 2.507km² representando 38% de sua área em 2010. Na Figura 4.21 observa-se processos de intensificação relacionados com as PLU1 e PLU2, ocorrendo nas porções central e sul da bacia do Curuá-Una.

A conversão da PLU2 se deu em grande parte para a PLU3a e PLU3, contabilizando um total de 1.689km², representando cerca de 24% da área da PLU2 em 2010. No entanto, é interessante observar que no período de 2010 a 2019, a PLU3 teve 8% de sua área convertida para PLU4, e 8,5% para PLU5a e PLU5, caracterizando os processos de intensificação do uso da terra.

Figura 4.21: Transição entre 2010 e 2019.

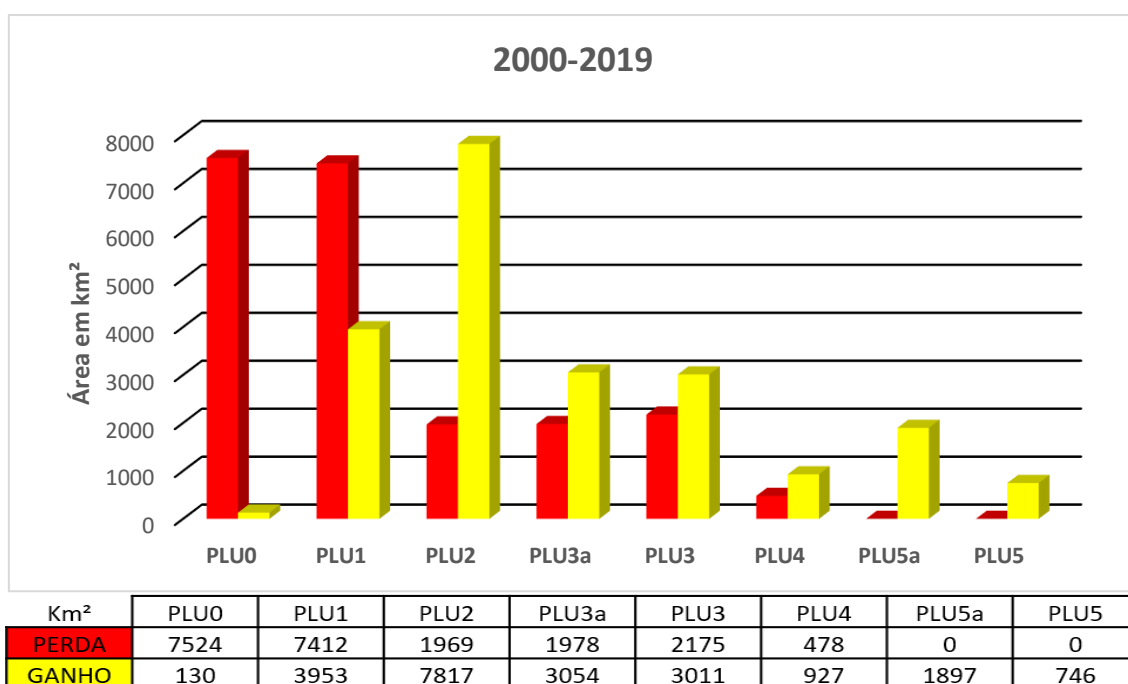
Km ²		2019								
		PLU0	PLU1	PLU2	PLU3a	PLU3	PLU4	PLU5a		PLU5
2010	PLU0	4475	1519	458	36	27	36	9	0	6560
	PLU1	81	3675	2507	90	162	9	9	0	6532
	PLU2	0	108	5059	817	872	54	225	0	7135
	PLU3a	0	0	162	323	512	153	117	9	1276
	PLU3	0	0	656	2146	2398	494	477	54	6225
	PLU4	0	0	9	162	252	485	27	18	952
	PLU5a	0	0	108	9	72	0	944	288	1421
PLU5	0	0	0	0	0	0	108	378	486	
		4556	5301	8959	3583	4295	1231	1915	746	30586



Fonte: Produção da autora.

Fazendo a síntese dos processos de perda e ganho das PLU's, para o período de 2000 a 2019, conseguimos compreender as mudanças que ocorreram em quase 20 anos na área da bacia. Como mencionado anteriormente e explicitado na Figura 4.21, a PLU0 e PLU1 foram as que mais perderam área, enquanto as PLU2, PLU3, PLU3a e PLU5a foram as que mais ganharam área. A PLU1 também ganhou área, mas no balanço geral, perdeu mais do que ganhou.

Figura 4.22 Gráfico de perda e ganho de 2000 para 2019.

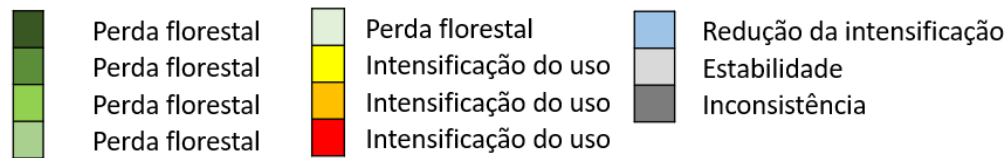
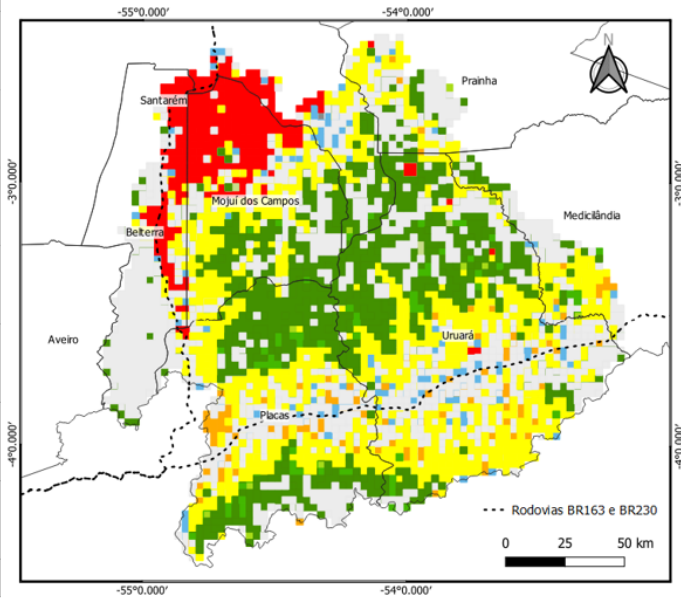


Fonte: Produção da autora.

Com relação à PLU1, grande parte da perda de área pode estar relacionada com a intensificação do uso, devido à expansão da agricultura de pequena escala, representada pela PLU2, conforme observado na Figuras 4.21.

Figura 4.23: Transição entre 2000 e 2019.

		2019								
Km ²		PLU0	PLU1	PLU2	PLU3a	PLU3	PLU4	PLU5a	PLU5	
2000	PLU0	4424	3941	2871	225	352	99	36	0	11948
	PLU1	130	1346	4385	1214	1295	155	216	18	8758
	PLU2	0	1	1140	510	628	37	504	288	3108
	PLU3a	0	1	218	529	583	161	754	261	2507
	PLU3	0	1	317	978	1282	475	305	99	3457
	PLU4	0	9	28	126	153	303	81	80	781
	PLU5a	0	0	0	0	0	0	18	0	18
		4554	5299	8957	3583	4293	1230	1915	746	30578



Fonte: Produção da autora.

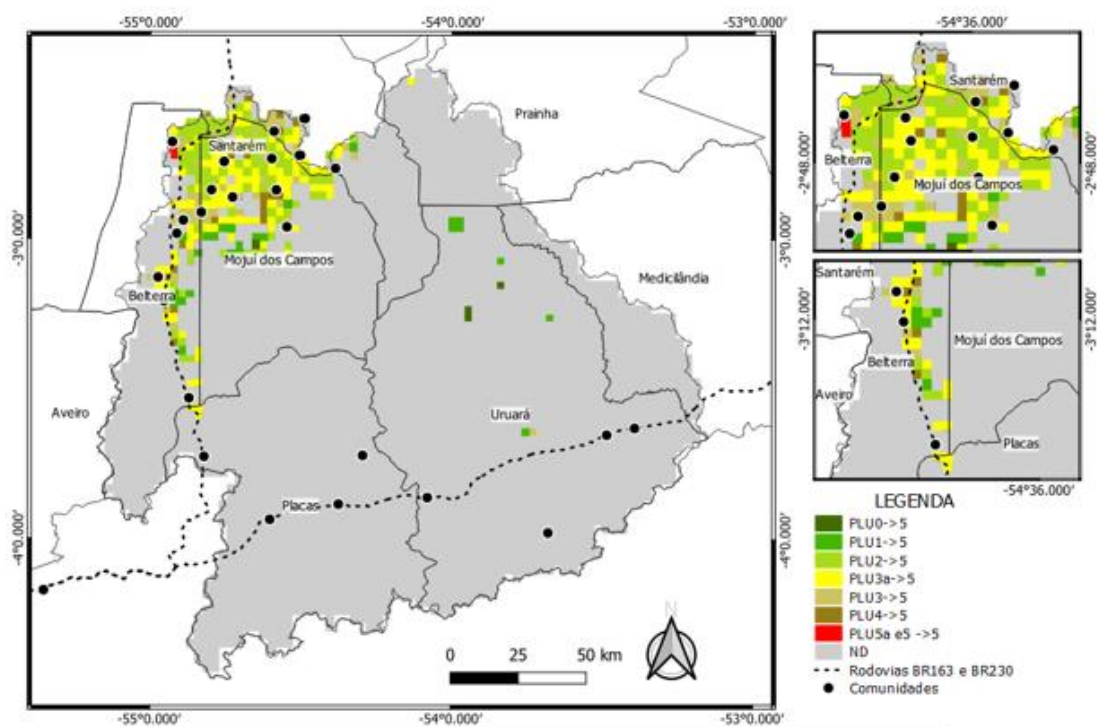
Em relação às áreas de PLU2 localizadas no Planalto de Santarém, grande parte delas foi substituída pela PLU5 e PLU5a. Essa substituição pode ter provocado mudanças em regiões mais distantes, ou seja, pode ter levado à expansão do sistema de produção associado à PLU2 para áreas da região central da bacia, onde há terras mais baratas, com menor infraestrutura e próximas das áreas florestais. Esse fenômeno tem sido relatado como *Mudança Indireta do Uso da Terra* (ILUC) que pode ser definido como o efeito da substituição de um tipo de uso da terra por outro, desencadeando a expansão do uso que foi substituído, para outro local (BERTZKY et al., 2011). Esse fenômeno tem sido investigado em estudos que analisam o efeito da conversão de áreas agrícolas de produção de alimentos para produção de biocombustível (LAPOLA et al., 2010). Porém, é um fenômeno de difícil comprovação, devido à concomitante ocorrência de múltiplos processos de mudanças diretas e indiretas em um mesmo local e às grandes distâncias em que os processos de substituição de uso ocorrem. Indícios desse processo foi capturado por Santos (2020), em entrevistas com agricultores na região de Santarém. Segundo o autor, a evolução do preço do hectare de terra aumentou significativamente devido à entrada da soja e à mecanização das terras agrícolas, excluindo o acesso à terra pelos pequenos e médios produtores. Com isso, iniciou-se o processo de concentração de terras, que levou à migração de médios e pequenos produtores para regiões distantes, com pouca infraestrutura, e com terras baratas e floresta, possibilitando o acesso à terra e o avanço de suas atividades agropecuárias sobre áreas de floresta.

Na porção central da bacia do rio Curuá-Una as análises das matrizes de transição, em que se observa perda florestal (PLU0), bem como a conversão de grandes áreas de PLU1 para PLU2, concomitantemente com a perda das classes de PLU1 e PLU2 na região do Planalto de Santarém para a expansão das PLU5 e PLU5a, são indícios importantes de que as mudanças provocadas pela expansão da AGLE na região do Planalto de Santarém, pode ter levado à conversão de áreas de floresta para a agricultura de pequena escala ou agroflorestal.

4.3.4.1 Análise de transição das Unidades de Produção da Paisagem associada à agricultura de larga escala

Para avaliar as transições das PLU's, mais especificamente as associadas à agricultura de larga escala, foram gerados uma matriz e um mapa de transição, específicos para representar as principais conversões das unidades de produção da paisagem que envolvem as PLU5a e PLU5 (Figura 4.24 e Tabela 4.21).

Figura 4.24: Mapa das transições para PLU5a e PLU5 entre 2000 e 2019.



		2019								
Km ²		PLU0	PLU1	PLU2	PLU3a	PLU3	PLU4	PLU5a	PLU5	
2000	PLU0	4424	3941	2871	225	352	99	36	0	11948
	PLU1	130	1346	4385	1214	1295	155	216	18	8758
	PLU2	0	1	1140	510	628	37	504	288	3108
	PLU3a	0	1	218	529	583	161	754	261	2507
	PLU3	0	1	317	978	1282	475	305	99	3457
	PLU4	0	9	28	126	153	303	81	80	781
	PLU5a	0	0	0	0	0	0	18	0	18
		4554	5299	8957	3583	4293	1230	1915	746	30578

Fonte: Produção da autora.

Tabela 4.21. Avanço da AGLE sobre os sistemas de produção de 2000 para 2019.

	PLU5a	PLU5	PLU5 Total	Total
PLU0	0,02	0	0,01	1%
PLU1	0,11	0,02	0,09	9%
PLU2	0,26	0,39	0,30	30%
PLU3a	0,39	0,35	0,38	38%
PLU3	0,16	0,13	0,15	15%
PLU4	0,04	0,11	0,06	6%
PLU5a	0,01	0,00	0,01	1%
PLU5	0,00	0,00	0,00	0%
Total	100	100	1,00	1,00

Fonte: Produção da autora.

Observa-se a partir da Figura 4.24 e Tabela 4.21 que 83% das áreas de PLU5a e PLU5 são provenientes das PLU2, PLU3a e PLU3, sendo possível observar também algum avanço dessas áreas sobre a PLU1 (9%) e PLU4 (6%). Esse processo de intensificação do uso da terra ocorreu em áreas em que estão presentes várias comunidades e usos da terra associados a AGPE. A partir dos dados da Figura 4.24 observamos que a PLU5a que apresenta AGPE, representou 72% da área das PLU's associadas à AGLE. No trabalho de Santos (2020), entrevistas com produtores rurais mostraram que devido à flutuação do preço da soja, muitos deles optaram por diversificar a produção com a farinha de mandioca, fruticultura, pimenta etc. Outro fator que contribuiu para a permanência da AGPE nessa região é que quando a agricultura mecanizada teve início em 2000, muitos lotes e fazendas já estavam estabelecidos e não foram incorporados a esse sistema, enquanto outros, foram arrendados, mantendo pequenas áreas de AGPE.

As PLU5 e PLU5a ocorrem de forma concentrada na região do Planalto de Santarém e próximas à BR-163, devido às condições ambientais (relevo, solo) apresentadas por essa área, que permitem a mecanização. Essas PLU's se expandiram majoritariamente sobre as PLU's que representam a pecuária

(53%) (PLU3 e PLU3a) e a agricultura de pequena escala (30%) (PLU2) e, também, sobre os sistemas agroflorestais (9%) (PLU1). Poucas áreas de pecuária patronal (PLU4) foram convertidas para PLU5 e PLU5a (6%). Observou-se, também, a conversão de poucas células de PLU0 para PLU5 e PLU5a, o que pode sugerir um efeito de iniciativas como a moratória da soja. Entretanto, as análises de transição envolvendo todas as PLU's, realizadas nas seções anteriores, indicam que a expansão desse tipo de agricultura pode provocar mudanças na cobertura da terra em locais mais afastados, de forma indireta. Nessas análises, mostramos que as PLU1 e PLU2 acabam expandindo suas áreas sobre a PL0, que corresponde à 100% de cobertura florestal.

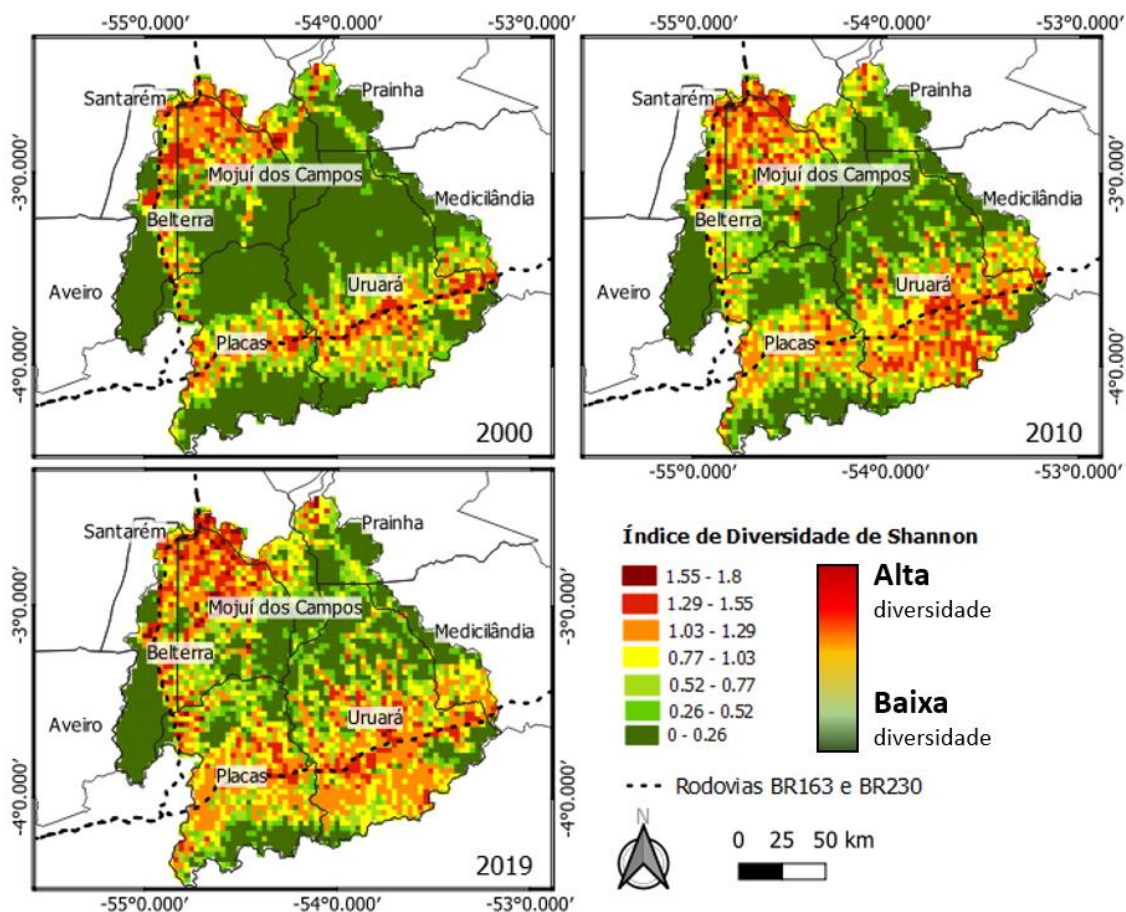
4.3.4.1 Caracterização ambiental das unidades de paisagem de produção

Nessa seção é apresentada uma análise de indicadores ambientais para a caracterização das PLU's no que diz respeito à proporção de floresta, vegetação secundária e à diversidade de paisagem. Com essa análise deseja-se detectar possíveis efeitos dos modos de produção nas paisagens representadas pelas PLU's, considerando a perda florestal, processos de regeneração e a diversidade de paisagem, supondo que sistemas que se utilizam do paradigma mecânico-químico, como é o caso da AGLÉ, produzem paisagens homogêneas, com pouca floresta e vegetação secundária, sendo a terra o elemento de maior valor.

4.3.4.2 Índice de Diversidade de Shannon

Nesta seção, é apresentado o resultado obtido com o Índice de Diversidade de Shannon (SHDI), calculado para cada categoria de PLU, a partir das classes de uso e cobertura da terra mapeadas e apresentadas na Seção 4.3.3. Os valores mínimos e máximos estimados para cada PLU com o SHDI variaram de 0 a 1,8. A Figura 4.25 apresenta os mapas obtidos pelo SHDI.

Figura 4.25: Mapa do Índice de Diversidade de Shannon estimados para 2000, 2010 e 2019.



Produção da autora.

A partir do SHDI observou-se que algumas regiões apresentaram uma diversidade alta, entre 1,55 e 1,8, destacando-se entre elas, a região noroeste da bacia, próxima à Santarém e Belterra, principalmente nas proximidades da BR-163 e áreas próximas da BR-230, na porção sudeste da bacia. Estas regiões correspondiam à PLU3/3a e PLU4 em 2000, PLU5a e PLU5 em 2010 e 2019. As áreas que apresentam baixa diversidade, entre 0 e 26, representam áreas com difícil acesso, com dominância da floresta primária, ou seja, regiões mapeadas com a PLU0 e PLU1. Embora essas áreas apresentem um maior índice de diversidade de paisagem, estes foram baixos, devido à dominância das áreas florestais. É provável que esse índice tenha sido afetado, gerando baixos valores de diversidade, devido ao agrupamento de algumas classes de

uso e cobertura da terra, como a vegetação secundária avançada e inicial e, também, as classes mineração, área urbana e reflorestamento. Essas últimas, devido à sua baixa representatividade, podem ter afetado esse índice em alguns locais específicos.

A partir de 2000, com a implantação dos sistemas de produção patronais ligados à produção de grãos que levam à concentração de terras e à produção de paisagens homogêneas (COSTA, 2009), a tendência esperada era a diminuição dos índices de diversidade de paisagem. No entanto, em expedições de campo (DAL'ASTA et al., 2014), realizadas próximas à Santarém, foi observado que alguns pequenos produtores rurais ainda persistem e resistem na região. Souza (2016) e Souza et al. (2017) encontraram resultados similares a este para região, em 2012. A autora destaca, que embora a entrada do agronegócio tenha transformado a paisagem, existem remanescentes florestais e de vegetação secundária, bem como áreas de AGPE utilizadas pelos pequenos agricultores que permaneceram na região, e que praticam a agricultura e extrativismo. Ou seja, mesmo que algumas áreas de pequenos produtores sejam incorporadas pelos sistemas patronais, caracterizados pela PLU4, PLU5a e PLU5 na região noroeste da bacia, algumas delas persistem e outras têm diversificado sua produção para obtenção de uma renda mínima quando o preço da soja está baixo (SANTOS, 2020).

Para caracterizar e avaliar as unidades de paisagem de produção em relação à distribuição dos índices de diversidade de paisagem, proporção de floresta e de vegetação secundária, observando as diferenças significativas entre elas, foram gerados *boxplots* para cada ano, com a porcentagem de área de floresta e vegetação secundária nas células e com índice de diversidade de Shannon (Figura 4.26, 4.27 e 4.28) para cada caracterizar cada categoria de PLU. Para avaliar as diferenças entre as PLU's o teste de Kruskal-Wallis e de Dunn⁶ foram adotados, para indicar diferenças e semelhanças das PLU's,

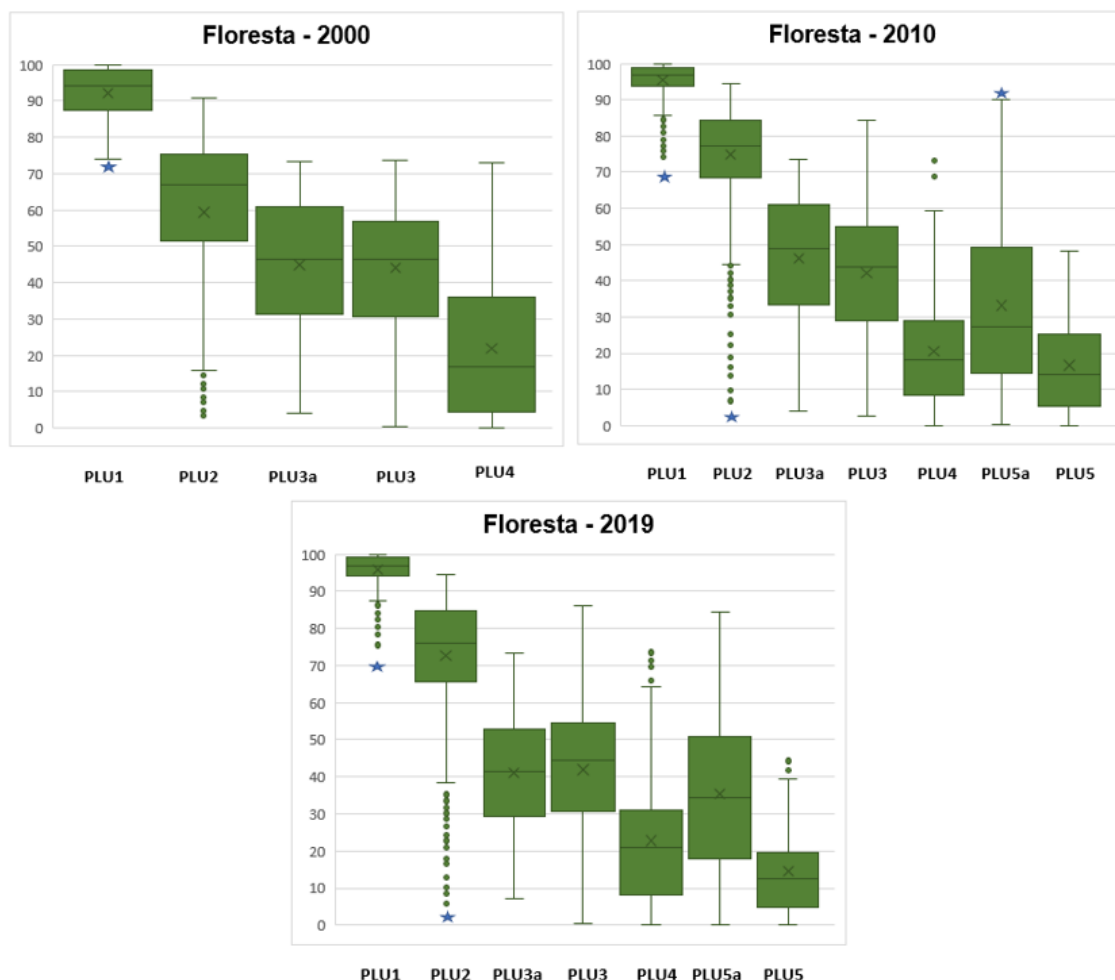
⁶

Neste caso, o teste de comparações múltiplas de Dunn foi utilizado após o teste de Kruskal-Wallis, pois H₀ foi rejeitado.

considerando o nível de significância $\alpha=0,01$, em relação aos indicadores selecionados. Neste caso, a hipótese nula (H_0) testada foi de que a mediana dos grupos é igual e a hipótese alternativa (H_1) é de que ao menos uma mediana é diferente. As Figuras B.1, B.2 e B.3 apresentam as Tabelas obtidas nos testes e são apresentadas no apêndice B. Na Figura 4.26 observamos a distribuição da classe floresta para cada PLU, em cada ano estudado.

A partir dos gráficos apresentados podemos avaliar as PLU's em relação à proporção que contêm de floresta. Observa-se para todos os anos que há uma tendência de redução da proporção de floresta da PLU0 para a PLU5, embora grande parte das PLU's não apresentem diferenças estatisticamente significativas. A proporção de floresta na PLU1 difere estatisticamente de todas as outras PLU's, em todos os anos, e a PLU2 apresenta diferenças significativas em 2010 e 2019. As PLU1 e PLU2 apresentam grande proporção de área de floresta e pouca vegetação secundária. As PLU3a e PLU3 apresentaram proporção de floresta parecidas, enquanto a PLU4 e a PLU5 são as que menos apresentam floresta. Além disso, observa-se que a PLU5a diferiu das demais PLU em 2010 apresentando maior variabilidade na proporção de floresta do que todas as outras PLU's não florestais. Essa PLU, além de apresentar AGLE, pode apresentar pequenas manchas de AGPE, vegetação secundária e resquícios de floresta. Ressalta-se que a PLU5a não foi considerada na análise de 2000, devido à sua baixa representatividade.

Figura 4.26: Boxplots da classe de floresta em cada PLU.



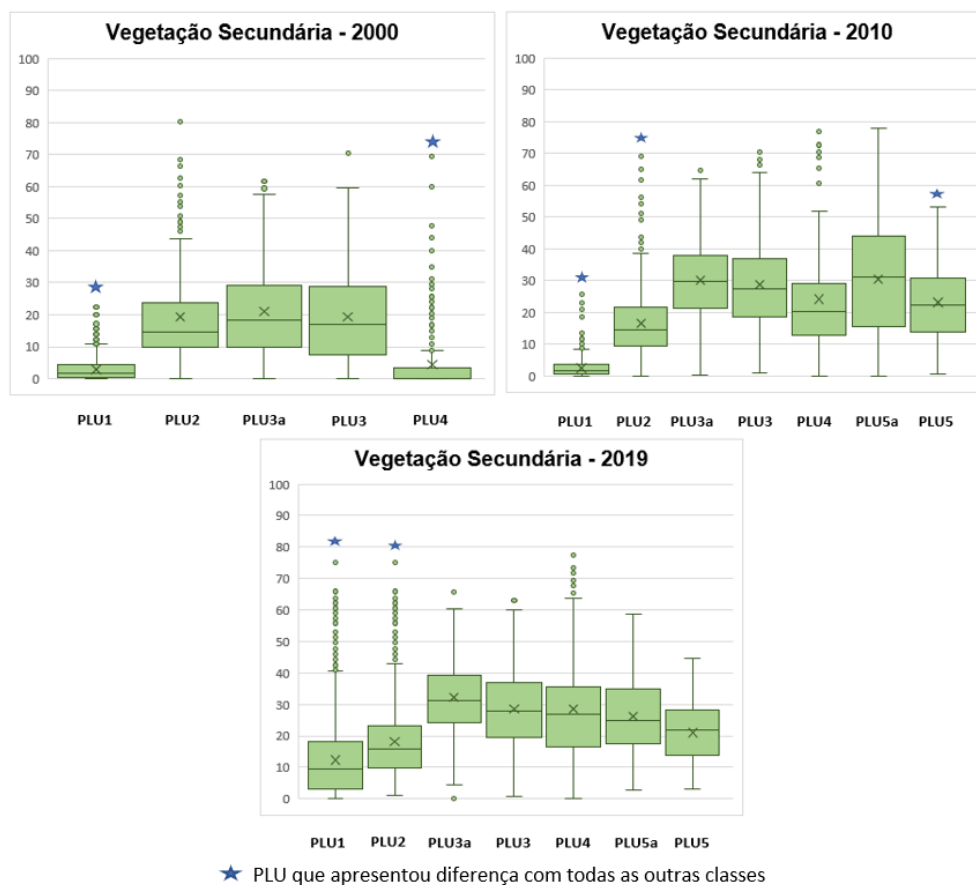
★ PLU que apresentou diferença com todas as outras classes

Fonte: Produção da autora.

A classe vegetação secundária na PLU1 em 2000, 2010 e 2019 é a que mais difere das outras PLU's, já que ela é a que apresenta menor área dessa classe em sua composição, sendo floresta a classe dominante. A PLU2 em 2010 e 2019, também difere das demais, o que pode ser explicado pelo fato de que, assim como a PLU1, apresenta maior proporção de floresta e pequenas manchas de áreas com outros tipos de uso e cobertura da terra. A PLU4 apresenta diferença em relação às demais classes, em 2000 e 2010. Em 2000 apresentou uma proporção de área similar à da PLU1, aumentando sua proporção nos anos seguintes, mas se mantendo abaixo das demais, acima

apenas da PLU1 e PLU2 (2000-2010) e da PLU5 (2019). A PLU3a e PLU3 apresentam proporções de vegetação secundária similares entre si em todos os anos. É interessante observar que a PLU5a apresenta uma variabilidade alta em 2010, que diminuiu em 2019, o que pode indicar que esta classe tende a se intensificar, incorporando áreas de vegetação secundária e de AGPE.

Figura 4.27: Boxplots da classe de vegetação secundária em cada PLU.

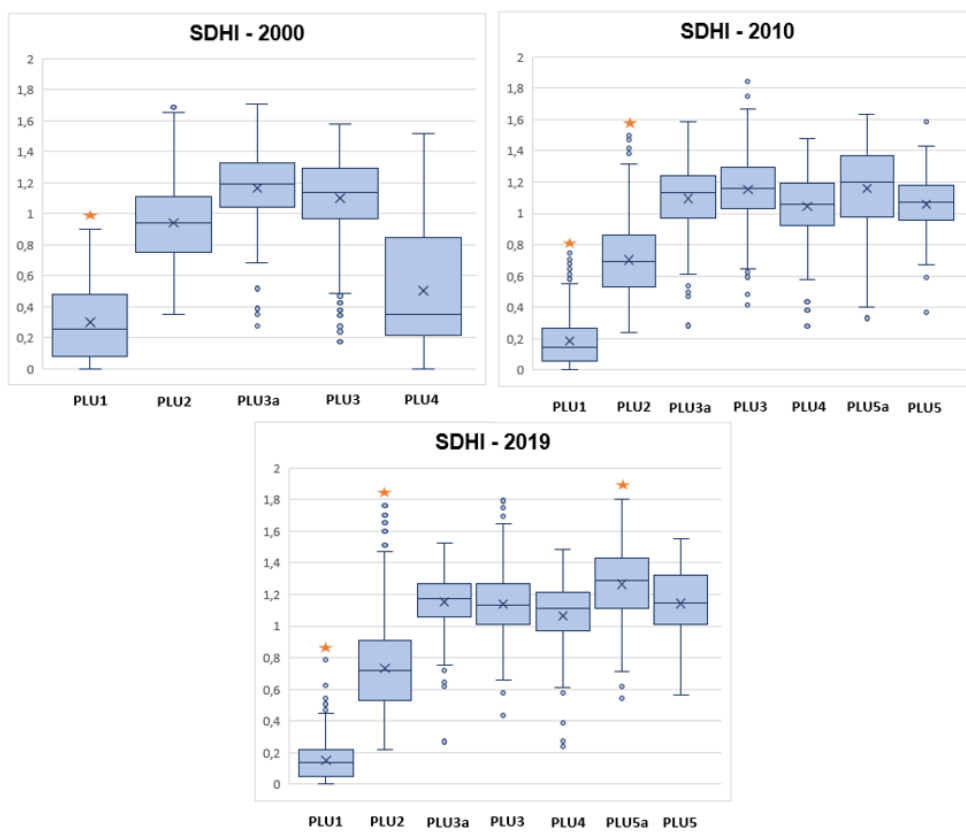


Fonte: Produção da autora.

Em relação ao índice de diversidade, o SHDI da PLU1 foi o que apresentou diferença no índice de diversidade da paisagem em relação à todas as outras PLU's nos anos analisados, o que era esperado, uma vez que ela é caracterizada por apresentar quase 100% de floresta, podendo apresentar apenas algumas pequenas manchas de vegetação secundária ou AGPE. A PLU2 difere das outras classes em 2010 e 2019, apresentando menor índice

de diversidade, devido à dominância da área florestal. As PLU's que apresentam índices de diversidade similares são as PLU3a, PLU3 e PLU5a. Entretanto, embora não significativa, a PLU5a apresenta, nos três anos de análise, índices maiores dos que os da PLU5. Isso pode ser explicado pelo fato da PLU5a possuir em suas composições diversas classes de uso e cobertura, entre elas, a AGPE.

Figura 4.28: Boxplots da classe do Índice de Shannon para cada PLU.



★ PLU que apresentou diferença com todas as outras classes

Fonte: Produção da autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da metodologia proposta nesta dissertação, foram realizados desenvolvimentos metodológicos que nos possibilitaram avançar na análise da dinâmica agrária da AGLE e nas implicações ambientais relacionadas com a expansão das PLU's associadas à essa categoria, na região sudoeste do Pará. Com isso buscamos também compreender como os modos de produção de pequena escala e extrativistas, além daqueles associados à pecuária extensiva, estão sendo substituídos por esse modo de produção desde 2000, na bacia do Curuá-Una.

A análise foi realizada sob duas perspectivas, uma a partir da observação direta das mudanças das áreas das classes de uso e cobertura da terra, no período de 2000 a 2019, e outra que considerou o contexto e o tipo de produção em que as mudanças ocorreram nas Unidades de Paisagem de Produção (PLU's).

Na primeira abordagem, a análise do uso e cobertura da terra e de suas principais transições apontaram para a redução da cobertura florestal na porção central da bacia do rio Curuá-Una e nas áreas próximas aos ramais da Transamazônica. Concomitantemente, observa-se a ocupação do Planalto de Santarém pela cultura de grãos em larga escala, principalmente sobre áreas de pastagem e vegetação secundária, no período de 2000 à 2019. Poucas mudanças e conversões foram observadas diretamente da cobertura florestal para as áreas de AGLE no período, o que indica a preferência por terras já desmatadas, provavelmente devido à influência da moratória da soja e do embargo econômico aos produtos plantados em áreas desmatadas após 2008.

Com relação à conversão das áreas de vegetação secundária para AGLE é preciso entender em que contexto elas ocorrem. A vegetação secundária, principalmente quando ocorre próxima da AGPE, indica a presença de sistemas roçados ou itinerantes dos quais elas fazem parte, representando os períodos de pousio que visam a recuperação da fertilidade do solo. A análise somente das classes de cobertura não possibilita inferir sobre o contexto produtivo no qual as manchas de vegetação secundária ocorrem, limitando a

análise às áreas das manchas dessa classe. O mesmo pode-se dizer sobre as áreas de pastagem. Não se pode dizer se estão em um modo de produção patronal ou camponês, se apresentam um sistema diversificado com agricultura, ou se são especializados na pecuária.

A análise de mudanças de uso e cobertura da terra mostrou a persistência da agricultura de pequena escala nos interstícios das grandes manchas de agricultura de larga escala que se espalharam sobre essa região. O estudo mostra sua instabilidade ao longo do tempo, com áreas que variam de tamanho e localização durante o período de análise. Esse comportamento se deve ao tipo de produção que utiliza períodos de pousio e mudança da área de cultivo a cada dois ou três anos.

Para uma análise mais completa das mudanças associadas à AGLE, inserindo os contextos em que ocorrem e os sistemas de produção, optou-se por utilizar como mediação, entre Trajetórias Tecnológicas e usos e cobertura da terra, as Unidades de Paisagem de Produção – PLU's. Com essas unidades de análise, torna-se possível avaliar os contextos e os modos de produção que são substituídos pela AGLE e sua potencial influência sobre outros modos de produção.

Essa forma de análise da cobertura da terra traz alguns avanços sobre a análise da expansão dos sistemas associados à AGLE. De cunho metodológico, alguns avanços também foram obtidos melhorando essas análises. Dentre eles, o mapeamento de padrões espaciais relacionados aos sistemas de produção dessa região, em uma escala de maior detalhe (9 km²) do que o realizado por Souza (2016) (64 km²), nos possibilitou refinar o mapeamento das Unidades de Paisagem de Produção para melhor representar, simultaneamente, o comportamento das áreas agrícolas de larga e de pequena escala dessa região. A escolha do referencial teórico baseado em Costa (2009; 2018), (DAL'ASTA, em preparação) possibilitou a criação de uma tipologia de PLU's representada por células de 9 km², para classificar a área da Bacia Curuá-Una, quanto aos seus sistemas de produção, possibilitando fazer a correspondência com as Trajetórias Tecnológicas, em especial a TT7, que

faz correspondência com as PLU5 e PLU5a. No desenvolvimento da tipologia, a separação da PLU5 em dois tipos nos ajuda a observar aspectos peculiares da área de estudo, principalmente no que diz respeito à PLU5a, que apresenta manchas de AGPE nas adjacências das manchas de AGLE.

Um outro avanço importante foi o uso da técnica Boosting que possibilitou a geração de 99 árvores de decisão e a obtenção da classificação das PLU's a partir das classes com maior frequência, dando maior robustez ao resultado da classificação.

Sobre as principais questões levantadas nesse estudo, primeiramente sobre os principais modos de produção que predominavam na Bacia Curuá-Una em 2000, 2010 e 2019, o estudo demonstrou que em 2000, as formas de produção predominantes eram associadas às PLU0 e PLU1, representando 39% e 29% da área da bacia, respectivamente. Essas PLU's representam as formas de produção de base florestal, agroflorestais, sendo a PLU0 áreas potenciais extrativistas. Em 2010 observamos uma redução da área dessas PLU's e a predominância da PLU2, baseada na agricultura de pequena escala com modos diversificados de produção. As PLU's5/5a, passam a representar 7% da área enquanto as PLU's3/3a, que em 2000 representavam 19% da área da bacia, passam a representar 24%. As PLU0 e PLU1 apresentaram um declínio significativo em 2010, passando a representar, ambas, 21% da área da bacia. Em 2019 essa redução é ainda maior, chegando a 15% (PLU0) e 17% (PLU1). Neste ano, a área PLU2 passa a predominar representando 29% da área e a PLU5/5a passa a representar 8% da área da bacia, sendo a PLU5a a de maior ocorrência, evidenciando a presença da AGPE em suas adjacências. As PLU's3/3a apresentam pequeno aumento no período de 2010 2019, representando 26% da área da bacia. A PLU4, que representa a pecuária patronal, apresenta um aumento pequeno, porém consistente, entre 2000 e 2019, de 3% para 4%. Essas análises mostram a predominância de processos de intensificação do uso da terra e perda florestal no período de análise.

Respondendo sobre como a AGLE avançou sobre as áreas florestais e como expandiu sobre os modos de produção existentes em 2000, observamos que a

área de conversão direta para floresta foi pequena, representando 1% da área das PLU's5/5a em 2019. As PLU's5/5a expandiram-se primordialmente sobre as áreas de PLU2 (30%) e PLU's3/3a (53%).

Importante realçar que, em relação às áreas de PLU2 localizadas no Planalto de Santarém e convertidas para PLU5 e PLU5a, no período de 2000 a 2010, essa substituição pode ter levado à expansão da PLU2 para áreas mais distantes, próximas das áreas florestais, na porção central da bacia, em que o acesso às rodovias e infraestrutura para escoamento da produção é dificultado, sugerindo um processo de Mudança Indireta do Uso da Terra (ILUC). Índícios desse processo foi capturado por Santos (2020), na região de Santarém, que relata a partir de entrevistas com produtores rurais, que o processo de concentração de terras para a produção de grãos levou à migração de médios e pequenos produtores para regiões distantes, com pouca infraestrutura, e com terras baratas e floresta. Essas áreas futuramente podem representar as áreas de expansão da produção de grãos da região, quando a instalação de infraestrutura ocorrer.

Com relação aos efeitos ambientais investigados devido ao avanço da AGLE na bacia do Curuá-Una, medidas de proporção de floresta, mostraram que as PLU1 e PLU2 foram as que apresentaram maior proporção florestal. As demais PLU's com atividades agropecuárias não se diferenciaram em relação à proporção de vegetação secundária e em relação ao índice de diversidade de paisagem. Esperava-se que ao menos nas áreas das PLU's5/5a, os índices de diversidade de paisagem fossem baixos, caracterizados pela homogeneização da paisagem, entretanto, a presença de AGPE e vegetação secundária nessas áreas provocaram um efeito contrário. É importante realçar que expansão da AGLE se deu sobre as áreas camponesas de AGPE e de pecuária, representadas pelas PLU's2, 3a e 3 e que, quando se avalia a PLU5 separadamente da PLU5a, observa-se uma tendência de homogeneização (menor índice de diversidade) da paisagem como descrita por Costa (2009) para a TT7, com redução da proporção de vegetação secundária e de remanescentes florestais.

Por último, uma questão importante, relaciona-se com a presença e persistência das áreas de AGPE na região do Planalto de Santarém coexistindo com a AGLE, porém com modos de produção e demandas, muitas vezes conflitantes com os da AGLE. Santos (2020) descreve as relações entre esses sistemas nessa região, que em determinados momentos cooperam entre si, como por exemplo, a partir do arrendamento de terras para a produção de grãos e, em outros momentos, tem sua produção de alimentos e sua própria moradia e saúde ameaçadas, sob o risco de contaminação pelo uso de agrotóxicos, oriundos da lógica de produção de larga escala. O equilíbrio dessas relações, devido à assimetria de forças entre esses dois sistemas, deve ser garantido por políticas públicas, que possibilitem fortalecer e valorizar os modos de produção camponesa agrícola e/ou de base florestal, que em geral são ambientalmente mais sustentáveis. esses sistemas além de garantirem a produção de alimentos, são mais inclusivos, além de representarem um potencial econômico diferenciado, em especial os de base florestal, considerando a grande riqueza e diversidade de produtos que podem ser desenvolvidos e a partir dos recursos do bioma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. Zoneamento ecológico e econômico da Amazônia: questões de escala e método. **Estudos Avançados**, v. 3, n. 5, p. 4–20, 1989.
- AB'SABER, A. N. **Domínios morfoclimáticos na América do Sul**: primeira aproximação. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1977.
- ALBERTI, M. A. **The urban ecosystem**. New York: Springer, 2009. 366 p.
- ALMEIDA, C. A.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. DALLA M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291–302, 2016.
- AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; ANDRADE, P. R.; ALVES, P. A.; PINHEIRO, T. F.; PINHO, C. M. D.; MEDEIROS, L. C. D. C.; SAITO, É. A.; RABELO, T. N. **Da canoa à rabeta**: estrutura e conexão das comunidades ribeirinhas no Tapajós (PA). São José dos Campos: INPE, 2009. 30 p. IBI: <8JMKD3MGP8W/3637K42>.
- ASSIS, T. O.; ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S. Effects of deforestation over the cerrado landscape: a study in the bahia frontier. **Land**, v. 10, n. 4, p. 1–15, 2021.
- BECKER, B. K. Amazônia: geopolítica na virada do III milênio. **Garamond**, v. 1, p. 172, 2004.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia: conferência do mês do Instituto de Estudos Avançados da USP proferida pela autora em 27 de abril. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71–86, 2005.
- BERTZKY, M. et al. Indirect land use change from biofuel production: implications for biodiversity. **Joint Nature Conservation Committee**, v. 456, n. 456, p. 1–27, 2011.
- BOSERUP, E. **The conditions of agricultural growth**: the economics of agrarian change under population pressure. [S.l.]: Taylor & Francis, 2011. 124p.
- BRAGION, G. R. **Relações entre luzes noturnas do sensor visible infrared imaging radiometer suite day/night band (VIIRS/DNB) e uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira**. 2020. 130 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34R/425F72H>. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2020. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/425F72H>. Acesso em: 27 maio 2021.

BRANCO, T. L. et al. **Análise orientada a objetos para a classificação do uso e cobertura da terra do assentamento São José da Boa Morte, RJ.** [S.l.]: Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. **Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA).** Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/integracao-regional/691-organizacao-do-tratado-de-cooperacao-amazonica-otca>>.

BRONDÍZIO, E. S. Agriculture Intensification, economic Identity and Shared Invisibility in amazonian peasantry: Cabolos and colonists in comparative perspective. **Culture & Agriculture**, v. 26, n. 1-2, p. 1-24, 2004.

BRONDÍZIO, E. S.; SIQUEIRA, A. D. From extractivists to farmers: changing concepts of caboclo agroforestry in the Amazon estuary. **Research in Economic Anthropology**, v. 18, p. 233-279, 1997.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. Spring: integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. **Computers and Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CARDOSO, F. H.; MÜLLER, G. **Amazônia: expansão do capitalismo.** São Paulo: Brasiliense, 1977.

CARDOSO, F. H. **Avança, Brasil: proposta de governo.** [S.l.]: Centro Edelstein, 2008.

CARVALHO, W. D.; MUSTIN, K.; HILÁRIO, R. R.; VASCONCELOS, I. M.; EILERS, V.; FEARNSIDE, P. M. Deforestation control in the Brazilian Amazon: a conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 3, p. 122–130, 2019.

CODEÇO, C. T.; ASTA, A. P. D.; RORATO, A. C.; LANA, R. M.; NEVES, T. C.; ANDREAZZI, C. S.; BARBOSA, M.; ESCADA, M. I. S.; FERNANDES, D. A.; RODRIGUES, D. L.; REIS, I. C.; SILVA-NUNES, M. Epidemiology, biodiversity, and technological trajectories in the Brazilian Amazon: from Malaria to COVID-19. **Frontiers in Public Health**, p. 945, 2021.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environmental**, v. 49, n. 1, 1991.

CORREIA, F. W. S.; MANZI, A. O.; CANDIDO, L. A.; DOS SANTOS, R. M. N.; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 39–43, 2007.

CORTES, J. C.; D'ANTONA, Á. O. Reconfiguração do meio rural no oeste do Pará: uma abordagem multiescalar da mobilidade e distribuição da população, e da mudança no uso-cobertura da terra. In: ENCONTRO NACIONAL DO ANPPAS, 5., 2010. **Anais...** 2010.

COSTA, F. D. A. **A agropecuária na economia de várzea da Amazônia: os desafios do desenvolvimento sustentável**. 2.ed. Belém, PA: NAEA, 2012. 289 p. ISBN 9788571430983.

COSTA, F. A. Trajetórias tecnológicas como objeto de política de conhecimento para a Amazônia: uma metodologia de delineamento. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 8, n. 1, p. 35, 2009.

COSTA, L. C. O. **Trajetória das mudanças de uso e cobertura da terra em estimativas de perda de solo em uma região de expansão agrícola na Amazônia**: a bacia do rio Curuá-Una, PA. 2018. 100 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34R/3RFKPAP>. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2018. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/3RFKPAP>>.

DAL'ASTA, A. P.; SOUZA, A. R.; PINHO, C. M. D.; SOARES, F. R.; REGO, G. F. J.; SIQUEIRA, J. M.; ESCADA, M. I. S.; BRIGATTI, N.; AMARAL, S.; CAMILOTTI, V. L.; DÓRIA, V. E. M.; COSTA, L. C. **As comunidades de terra firme do sudoeste do Pará**: população, infraestrutura, serviços, uso da terra e conectividades. expedição de campo 2013 versão atualizada. São José dos Campos: INPE, 2017. 209 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34P/3PAAHQ5>.

DAL'ASTA, A. P.; ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V. Evolução do arranjo espacial urbano e das terras agrícolas no entorno de Santarém (Pará) no período de 1990 a 2010: uma análise integrada baseada em sensoriamento remoto e espaços celulares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 7040-7047. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/3ERPFQRTRW34M/3E7GD97>>.

DE AREA LEÃO PEREIRA, E. J.; SILVEIRA FERREIRA, P. J.; DE SANTANA RIBEIRO, L. C.; SABADINI CARVALHO, T.; DE BARROS PEREIRA, H. B. Policy in Brazil (2016–2019) threaten conservation of the Amazon rainforest. **Environmental Science and Policy**, v. 100, p. 8–12, 2019.

DE OLIVEIRA, R. R.; VENTURIERI, A. Mapeamento automatizado de tipologias de paisagem: mineração de dados utilizando o plugin GeoDMA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 258–289, 2018.

DIAS-FILHO, M. B. Uso de pastagens para a produção de bovinos de corte no Brasil: Passado, presente e futuro. **Embrapa Amazônia Oriental**, p. 42, 2016.

DIGITAL GLOBE. The benefits of the 8 spectral bands of WorldView-2. Singapore: DG, 2009.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente e Sociedade**, v. 15, n. 2, p. 1–22, 2012.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, v. 11, n. 3, p. 147–162, 1982.

DUNN, O. J. Multiple comparisons among means. **Journal of the American Statistical Association**, v. 98, n. 463, p. 52–64, 1961.

ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M.; AGUIAR, A. P.; CARNEIRO, T. E.; CAMARA, G. Análise de padrões e processos de ocupação para a construção de modelos na Amazônia: experimentos em Rondônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2005. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2973–2983.

FEARNSIDE, P. M. Avança Brasil: conseqüências ambientais e sociais na Amazônia. **Cardernos Adenauer**, v. 2, n. 4, p. 101–124, 2001.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: Wiley, 1986.

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. New York: Cambridge University Press, 1995. 632 p.

FOURQUIN, G. Ester Boserup, évolution agraire et pression démographique. **Études Rurales**, p. 174–175, 1972.

FRIEDRICH, B.; RUDORFF, T.; MARIA, L.; FONSECA, G. Classificação orientada a objeto na identificação de áreas de reforma de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 199–206.

GAVLAK, A. A. **Padrões de mudança de cobertura da terra e dinâmica populacional no Distrito Florestal Sustentável da BR-163**: população, espaço e ambiente. 2011. 177 p. IBI: <8JMKD3MGP7W/3A7C3ML>. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

GOLLNOW, F.; HISSA, L. B. V.; RUFIN, P.; LAKES, T. Property-level direct and indirect deforestation for soybean production in the Amazon region of Mato Grosso, Brazil. **Land Use Policy**, v. 78, p. 377–385, 2018.

HOMMA, A. K. O. Extrativismo vegetal ou plantio: qual a opção para a Amazônia? **Estudos Avancados**, v. 26, n. 74, p. 167–186, 2012.

HUETE, A. R. et al. A comparison of vegetation indices over a global set of TM Images for EOS-MODIS. **Inorganica Chimica Acta**, v. 95, n. 1, p. 1–3, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/sobre-censo-agro-2017.html>. Acesso em: 26 jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Fronteira agrícola**: Amazônia Legal. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15976-fronteira-agricola-amazonia-legal.html>>. Acesso em 10 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/PA/A/25/T/5457>>. Acesso em: 30 jul. 2021b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**: Uraura. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/uruara/pesquisa/18/16459?ano=2019>>. Acesso em: 25 maio 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TerraView 5.3.3**. São José dos Campos: INPE, 2018. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terralib5/wiki/doku.php?id=wiki:downloads:previous_releases>.

_____. Projeto PRODES - Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites. 2008. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf . Acesso em: 10 jan.2021

JAKOVAC, C. C.; DUTRIEUX, L. P.; SITI, L.; PEÑA-CLAROS, M.; BONGERS, F. Spatial and temporal dynamics of shifting cultivation in the middle-Amazonas river: Expansion and intensification. **PLoS ONE**, v. 12, n. 7, 2017.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D. P.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V. V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; VAN LEEUWEN, W.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P.; LEWIS, P.; BARNSLEY, M. J. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228–1249, 1998.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1936.

KORTING, T. S. **GEODMA**: a toolbox integrating data mining with object-based and multi-temporal analysis of satellite remotely sensed imagery. São José dos Campos: INPE, 2012.

KÖRTING, T. S.; FONSECA, L. M.; CÂMARA, G. GeoDMA-Geographic Data Mining Analyst. **Computers and Geosciences**, v. 57, p. 133–145, 2013.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance

analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583–621, 1952.

LAPOLA, D. M.; SCHALDACH, R.; ALCAMO, J.; BONDEAU, A.; KOCH, J.; KOELKING, C.; PRIESS, J. A. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 8, p. 3388–3393, 2010.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image Interpretation**. New York: John Wiley and Sons, 1994. 750 p.

MACUL, M. S. **Índice de valorização da terra e desmatamento em uma região de fronteira agropecuária na Amazônia**: região de Novo Progresso, Pará. 2019. 117 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34R/3TRMBNH>. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2019. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/3TRMBNH>>.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia Brasileira**. [S.l.: s.n.], 2003. ISBN 8588192101.

MARTIN, A.; COOLSAET, B.; CORBERA, E.; DAWSON, N.; FISHER, J.; FRANKS, P.; MERTZ, O.; PASCUAL, U.; RASMUSSEN, L. V.; RYAN, C. Land use intensification: the promise of sustainability and the reality of trade-offs. **Ecosystem Services and Poverty Alleviation: Trade-Offs and Governance**, p. 94–110, 2018.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. [S.l.]: Forest Service, 1995.

MEYER, W. B.; TURNER, B. L. Human population growth and global land-use/cover change. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 23, n. 1, p. 39–61, 1992.

MONTE-MÓR, R. L. **Urbanização extensiva e economia dos setores populares**. Rio de Janeiro: FEPEJ, 2008.

NEVES, A. K.; KORTING, T. S.; GIROLAMO NETO, C. D.; FONSECA, L. M. G. Mineração de dados de sensoriamento remoto para detecção e classificação de áreas de pastagem na Amazônia Legal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18. (SBSR), 2017, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017. p. 2508-2515. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP6W34M/3PSLQN4>>.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, p. 81-90, 2002..

NOVO, E. M. L. M.; FERREIRA, L. G.; BARBOSA, C.; CARVALHO, C.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO, Y.; HUETE, A.; POTTER, C.; ROBERTS, D. A.; HESS, L. L.; MELACK, J. J.; YOSHIOKA, H.; KLOOSTER, S.; KUMAR, V.; MYNENI,

R.; RATANA, P.; DIDAN, K.; MIURA, T. Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 259–272, 2005.

OLIVEIRA, R., AL, 2MEIDA, R.H.C., REBELO, G.H. RODRIGUES, M.; BARROS, B.; MAGALHÃES, J.; GAVINA, J.L.; FORLINE, L. Avaliação sócioambiental da população humana do entorno da UHE Curuá-Una-Santarém/PA. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA. 2, 2003. **Anais...** 2003.

PACHECO, F. D.; MATIAS, M. R.; MÁXIMO, G.; SOUZA, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; ISABEL, M.; ESCADA, S. Image classification methods assessment for identification of small-scale agriculture in Brazilian Amazon. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, APPLICATIONS, AND SERVICES, 13., 2021. **Proceedings...** 2021. p.12–19.

PINHEIRO, T. F.; ESCADA, M. I. S.; VALERIANO, D. M.; HOSTERT, P.; GOLLNOW, F.; MÜLLER, H. Forest degradation associated with logging frontier expansion in the Amazon: The BR-163 region in southwestern Pará, Brazil. **Earth Interactions**, v. 20, n. 17, 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176 p. ISBN 9788579750533.

PRINTES, R. C. **Adeus Amazônia: conflitos agrários e socioambientais por trás do desmatamento no sudoeste do Pará**. Curitiba: Prisma, 2017. 173 p. ISBN 9788555077647.

PRODES. **Mapeamento do desmatamento da Amazônia com Imagens de Satélite**. São José dos Campos: INPE, 2021.

QUINLAN, J. R. **C4. 5: programs for machine learning**. [S.l.]: Elsevier, 2014.

QUINLAN, J. R. **C5.0: an informal tutorial**. Disponível em: <<https://www.rulequest.com/see5-unix.html>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

REYDON, B. P.; FERNANDES, V. B.; TELLES, T. S. Land governance as a precondition for decreasing deforestation in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 94, e104313, 2020.

RIEBSAME, W. E.; MEYER, W. B.; TURNER, B. L. Modeling land use and cover as part of global environmental change. **Climatic Change**, v. 28, n. 1/2, p. 45–64, 1994.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 41–66, 2009.

RUSHING, J.; RAMACHANDRAN, R.; NAIR, U.; GRAVES, S.; WELCH, R.; LIN, H. ADaM: a data mining toolkit for scientists and engineers. **Computers and Geosciences**, v. 31, n. 5, p. 607–618, 2005.

SANTOS, A. D. C. **Uso do território e dinâmicas territoriais na região da rodovia Santarém-Curuá-Una (PA 370): o exemplo da realidade da Comunidade Boa Esperança**. Santarém: Univerisdade Federal do Oeste do Pará, 2020.

SANTOS, G. V. S. **Análise do uso e cobertura da terra associados à atividades extrativistas e à agricultura de pequena escala: a região do baixo Tocantins, PA**. 2018. 72p. Monografia (Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2018.

SANTOS JUNIOR, R. A. O.; COSTA, F. A.; AGUIAR, A. P. D.; TOLEDO, P. M.; VIEIRA, I. C. G.; CÂMARA, G. Desmatamento, trajetórias tecnológicas rurais e metas de contensão de emissões na Amazônia. **Ciência e Cultura**, p. 71–78, 2010.

SCHMIDT, M. The Sankey diagram in energy and material flow management - Part II: Methodology and current applications. **Journal of Industrial Ecology**, v. 12, n. 2, p. 173–185, 2008.

SONTER, L. J.; HERRERA, D.; BARRETT, D. J.; GALFORD, G. L.; MORAN, C. J.; SOARES-FILHO, B. S. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1–7, 2017.

SOUZA, G.M.G.; ESCADA, M.I.S.; CAPANEMA, V. P. Cicatrizes de queimadas e padrões de mudanças de uso e cobertura da terra no sudoeste do estado do Pará, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017. p. 5760–5767.

SOUZA, A. R. **Economia e natureza: padrões de uso e cobertura da terra associados a atividades agropecuárias e extrativistas de comunidades do sudoeste do Pará**. 2017. 224 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34P/3M8SD78>. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <ibi/8JMKD3MGP3W34P/3M8SD78>..

SOUZA, U. D. V.; KUX, H. J. H. Geobia e mineração de dados na classificação da cobertura do solo urbano em São Luís (MA) com imagens Worldview-2 e o sistema InterIMAGE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 3, 2014.

TAUBENBÖCK, H.; ESCH, T.; WURM, M.; ROTH, A.; DECH, S. Object-based feature extraction using high spatial resolution satellite data of urban areas. **Journal of Spatial Science**, v. 55, n. 1, p. 117–132, 1 jun. 2010.

TRIMBLE. **eCognition @ Developer**. 2021. Disponível em: <[https://docs.ecognition.com/v9.5.0/eCognition_documentation/User Guide](https://docs.ecognition.com/v9.5.0/eCognition_documentation/User%20Guide)>

Developer/6 About Classification.htm>

VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S; CÂMARA, G.; AMARAL, S.; MAURANO, L.; RENNÂ, C. D.; ALMEIDA, C. A; MONTEIRO, A. M. V. Monitoramento do desmatamento. In: MARTINE, G. (Ed.). **População e sustentabilidade na era das mudanças ambientais globais**: contribuição para uma agenda brasileira. Belo Horizonte: ABEP, 2012. p. 223-238.

WALKER, R.; MORAN, E.; ANSELIN, L. Deforestation and cattle ranching in the Brazilian Amazon: external capital and household processes. **World Development**, v. 28, n. 4, p. 683-699, 2000.

APÊNDICE A - MÉTRICAS DE ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DA PAISAGEM

Na Tabela A.1 são apresentadas as métricas utilizadas na mineração de dados em ordem crescente, por classe. Abaixo da Tabela é apresentada uma das árvores de decisão obtida para a classificação das PLU's.

Tabela A.1: Métricas utilizadas na mineração de dados.

Frequência	Métricas por classe	Frequência	Métricas por classe
100.00%	CA_LE	67.06%	MPFD_AU
100.00%	PSSD_LE	64.87%	PD_LE
100.00%	AWMPFD_VS	64.71%	MPS_LE
100.00%	TABO_LE	63.19%	LSI_F
100.00%	BIA_LE	62.52%	PSCOV_PL
100.00%	SHDI	62.35%	ED_F
99.66%	SIEI	61.01%	MPS_PS
99.50%	CA_F	60.84%	PD_F
99.50%	MSI_F	60.50%	AWMPFD_PL
99.16%	BIA_F	59.83%	BIA_PS
97.14%	LSI_VS	59.33%	BIA_PE
96.64%	TABO_F	58.99%	LSI_LE
96.47%	AWMPFD_F	58.99%	PSCOV_PE
96.47%	PR	57.82%	PSCOV_F
95.46%	SHEI	57.82%	TAOBIA_LE
95.29%	MPS_VS	57.65%	MPS_PE
92.77%	IJI_VS	56.97%	MPFD_F
92.44%	MPS_F	56.64%	MSI_PE
91.76%	PSCOV_LE	56.47%	MPAR_PE
90.59%	MPAR_F	56.13%	PSSD_PL
89.58%	PSSD_VS	56.13%	AWMPFD_PS
87.06%	SIDI	55.63%	CA_H
86.39%	MPFD_VS	55.63%	TABO_H
85.04%	CA_VS	54.96%	MSI_H
85.04%	PD_VS	54.12%	PSSD_F
84.20%	PSCOV_PS	53.95%	IJI_LE
84.03%	TABO_VS	53.28%	MPFD_PS
81.85%	BIA_PL	53.28%	IJI_H
78.49%	PSSD_PS	52.77%	MPS_PL
76.47%	MPAR_VS	52.61%	CA_PL
76.47%	IJI_F	52.61%	PD_PS
76.47%	TAOBIA_VS	52.44%	AWMPFD_PE
74.79%	PD_PE	51.93%	MSI_PS
73.45%	CA_PS	51.76%	MPAR_H
73.11%	PSCOV_VS	51.60%	BIA_VS
73.11%	TABO_PE	50.92%	LSI_PE
70.76%	IJI_PS	50.92%	TABO_PL
69.75%	TAOBIA_PL	50.92%	TAOBIA_PS
68.57%	IJI_PE	50.76%	AWMSI_PS
68.40%	MPFD_PE	50.76%	IJI_PL
67.56%	AWMSI_PE	50.42%	TAOBIA_PE

LE-Agricultura de larga escala | VS- Vegetação secundária | F- Floresta | PL- Pasto limpo | PS- Pasto sujo | PE-Agricultura de pequena escala | AU- Área urbana |H- Hidrografia

Fonte: Produção da autora.

A Figura A.1 apresenta uma das árvores de decisão geradas a partir das 99 interações.

Figura A.1: Uma das árvores de decisão obtida a partir de 99 interações.

```

CA_LE > 143.9249:
: ...CA_LE <= 314.4755:
: : ...SIEI <= 0.9567603: PLU5a (29.9)
: : : SIEI > 0.9567603: PLU5b (3.2)
: : CA_LE > 314.4755:
: : ...AWMSI_VS > 4.449809: PLU5a (6.2)
: : : AWMSI_VS <= 4.449809:
: : : : ...ED_F > 36.1636: PLU5a (3.8)
: : : : ED_F <= 36.1636:
: : : : : ...TABO_LE <= 1939.013: PLU5b (44.2)
: : : : : TABO_LE > 1939.013:
: : : : : : ...CA_PE <= 3.086411: PLU5b (23.4/1.7)
: : : : : : CA_PE > 3.086411: PLU5a (11.4/1.1)
CA_LE <= 143.9249:
: ...CA_F > 664.0815:
: : ...SHEI <= 0.002234945: PLU0 (11.2)
: : : SHEI > 0.002234945:
: : : : ...MPAR_VS <= 0.05137371: PLU1 (31.4/2.5)
: : : : MPAR_VS > 0.05137371:
: : : : : ...IJI_PE <= 12.65875: PLU2 (17.5/0.8)
: : : : : IJI_PE > 12.65875: PLU1 (10.4/1.4)
CA_F <= 664.0815:
: ...BIA_PL > 314.2705: PLU4 (24.9/1.1)
: : BIA_PL <= 314.2705:
: : : ...IJI_F <= 20.82516:
: : : : ...LSI_LE > 0.09617985: PLU3b (8.7/3.2)
: : : : : LSI_LE <= 0.09617985:
: : : : : : ...PSSD_AU <= 1.77502: PLU4 (21.4)
: : : : : : PSSD_AU > 1.77502: PLU3a (2.1)
: : : : : IJI_F > 20.82516:
: : : : : : ...AWMPFD_PE <= 0:
: : : : : : : ...CA_PS > 388.3654: PLU4 (9.9)
: : : : : : : CA_PS <= 388.3654:
: : : : : : : : ...SIEI > 0.7184842:
: : : : : : : : : ...PSSD_PL <= 81.65914: PLU3b (83.8/3.9)
: : : : : : : : : PSSD_PL > 81.65914: PLU4 (3.6)
: : : : : : : : : SIEI <= 0.7184842:
: : : : : : : : : : ...IJI_PS > 56.46053: PLU3b (5.2)
: : : : : : : : : : IJI_PS <= 56.46053:
: : : : : : : : : : : ...TABO_F <= 372097.8: PLU3a (3.4)
: : : : : : : : : : : TABO_F > 372097.8: PLU2 (16.5/1.1)
AWMPFD_PE > 0:
: ...MPS_LE > 6.034648:
: : ...LSI_PS <= 0.8477137: PLU2 (13.9/1.1)
: : : LSI_PS > 0.8477137: PLU3b (19.3/1.3)
MPS_LE <= 6.034648:
: ...BIA_VS > 607.6265: PLU4 (2.4)
: : BIA_VS <= 607.6265:
: : : ...TABO_PE <= 0.8071153:
: : : : ...TABO_PE <= 0.5418257: PLU3a (9/0.2)
: : : : : TABO_PE > 0.5418257: PLU3b (11.7)
: : : : : TABO_PE > 0.8071153:
: : : : : : ...AWMSI_PS > 3.866696: PLU3b (8.1/2.5)
: : : : : : : AWMSI_PS <= 3.866696:
: : : : : : : : ...PD_LE > 4.444445: PLU2 (11.2)
: : : : : : : : PD_LE <= 4.444445:
: : : : : : : : : ...IJI_PL > 74.48241: PLU3b (2.6/0.7)
: : : : : : : : : IJI_PL <= 74.48241:
: : : : : : : : : : ...MPAR_LE > 0.3792377: PLU2 (3.1)
: : : : : : : : : : MPAR_LE <= 0.3792377:
: : : : : : : : : : : ...PSSD_VS > 127.4591: PLU2 (18.9/4.6)
: : : : : : : : : : : PSSD_VS <= 127.4591:
: : : : : : : : : : : : ...MSI_F <= 1.298799: PLU2 (3.6)
: : : : : : : : : : : : : MSI_F > 1.298799:
: : : : : : : : : : : : : : ...BIA_F <= 490.5034: [S1]
: : : : : : : : : : : : : : BIA_F > 490.5034: [S2]

```

Fonte: Produção da autora.

APÊNDICE B – TABELAS DOS TESTES ESTATÍSTICOS

As Figuras B.1, B.2 e B.3 apresenta os testes Dunn para as classes analisadas na Seção 4.3.4.2.

Figura B.1: Teste Dunn para as classes analisadas em 2000.

D TEST SHDI 2000						
group 1	group 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value
PLU1	PLU2	919,7585	41,65328	22,0813	107,2917	0
PLU1	PLU3a	1242,355	45,33919	27,40135	116,786	0
PLU1	PLU3	1153,073	39,64909	29,08196	102,1293	0
PLU1	PLU4	304,1906	43,70168	6,960617	112,5681	3,39E-12
PLU1	PLU5a	1229,981	472,7248	2,601895	1217,658	0,009271
PLU2	PLU3a	322,5966	53,63446	6,014727	138,1532	1,8E-09
PLU2	PLU3	233,3146	48,91894	4,769411	126,0068	1,85E-06
PLU2	PLU4	615,5678	52,25753	11,7795	134,6065	0
PLU2	PLU5a	310,2221	473,5924	0,65504	1219,893	0,512442
PLU3a	PLU3	89,28205	52,09327	1,713888	134,1834	0,086549
PLU3a	PLU4	938,1645	55,24035	16,98332	142,2897	0
PLU3a	PLU5a	12,37455	473,9308	0,02611	1220,765	0,979169
PLU3	PLU4	848,8824	50,67449	16,75167	130,5288	0
PLU3	PLU5a	76,9075	473,4203	0,162451	1219,45	0,870951
PLU4	PLU5a	925,7899	473,7769	1,954063	1220,369	0,050694

D TEST Vegetação Sec. 2000						
group 1	group 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value
PLU1	PLU2	898,0493	41,56585	21,60546	107,0665	0
PLU1	PLU3a	955,933	45,24402	21,12839	116,5409	0
PLU1	PLU3	865,2991	39,56586	21,86984	101,9149	0
PLU1	PLU4	182,5704	43,60994	4,186441	112,3318	2,83E-05
PLU1	PLU5a	1173,734	471,7325	2,488135	1215,102	0,012842
PLU2	PLU3a	57,88374	53,52187	1,081497	137,8632	0,279476
PLU2	PLU3	32,75019	48,81626	0,670887	125,7424	0,502293
PLU2	PLU4	1080,62	52,14784	20,72223	134,3239	0
PLU2	PLU5a	275,6848	472,5983	0,583339	1217,333	0,559665
PLU3a	PLU3	90,63392	51,98393	1,743499	133,9017	0,081246
PLU3a	PLU4	1138,503	55,12439	20,65335	141,991	0
PLU3a	PLU5a	217,8011	472,936	0,46053	1218,202	0,645136
PLU3	PLU4	1047,87	50,56812	20,72194	130,2548	0
PLU3	PLU5a	308,435	472,4266	0,652874	1216,89	0,513838
PLU4	PLU5a	1356,305	472,7825	2,868771	1217,807	0,004121

D TEST Floresta 2000						
group 1	group 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value
PLU1	PLU2	839,4804	41,65328	20,15401	107,2917	0
PLU1	PLU3a	1127,439	45,33918	24,86676	116,786	0
PLU1	PLU3	1146,899	39,64908	28,92624	102,1293	0
PLU1	PLU4	1483,43	43,70168	33,94447	112,5681	0
PLU1	PLU5a	937,7039	472,7248	1,983615	1217,658	0,047299
PLU2	PLU3a	287,9583	53,63445	5,368905	138,1532	7,92E-08
PLU2	PLU3	307,4185	48,91894	6,284243	126,0068	3,29E-10
PLU2	PLU4	643,9499	52,25753	12,32262	134,6065	0
PLU2	PLU5a	98,2235	473,5924	0,207401	1219,893	0,835697
PLU3a	PLU3	19,46023	52,09327	0,373565	134,1834	0,708728
PLU3a	PLU4	355,9916	55,24034	6,444413	142,2897	1,16E-10
PLU3a	PLU5a	189,7348	473,9308	0,400343	1220,765	0,688904
PLU3	PLU4	336,5314	50,67449	6,641041	130,5288	3,11E-11
PLU3	PLU5a	209,195	473,4203	0,44188	1219,45	0,658576
PLU4	PLU5a	545,7264	473,7769	1,151864	1220,369	0,249377

Fonte: Produção da autora.

Figura B.2: Teste Dunn para as classes analisadas em 2010.

SHDI 2010							Vegetação Sec. 2010						
D TEST							D TEST						
group 1	group 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value	group 1	group 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value
PLU1	PLU2	771,3819	39,48353	19,5368	101,7028	0	PLU1	PLU2	936,5357	39,48339	23,71974	101,7025	0
PLU1	PLU3a	1515,476	69,10611	21,92969	178,0055	0	PLU1	PLU3a	1507,8	69,10586	21,8187	178,0049	0
PLU1	PLU3	1625,054	39,97895	40,64775	102,979	0	PLU1	PLU3	1460,479	39,97881	36,53133	102,9786	0
PLU1	PLU4	1415,426	78,3125	18,07408	201,7196	0	PLU1	PLU4	1216,608	78,31222	15,53535	201,7189	0
PLU1	PLU5a	1625,467	66,11337	24,58605	170,2968	0	PLU1	PLU5a	1427,546	66,11314	21,59247	170,2962	0
PLU1	PLU5	1434,789	106,2447	13,50456	273,6683	0	PLU1	PLU5	1239,316	106,2444	11,66477	273,6674	0
PLU2	PLU3a	744,0939	69,10611	10,76741	178,0055	0	PLU2	PLU3a	571,2645	69,10586	8,266512	178,0049	2,22E-16
PLU2	PLU3	853,6724	39,97895	21,35305	102,979	0	PLU2	PLU3	523,9436	39,97881	13,10553	102,9786	0
PLU2	PLU4	644,0442	78,3125	8,224029	201,7196	2,22E-16	PLU2	PLU4	280,072	78,31222	3,576351	201,7189	0,000348
PLU2	PLU5a	854,0848	66,11337	12,91849	170,2968	0	PLU2	PLU5a	491,0103	66,11314	7,42682	170,2962	1,11E-13
PLU2	PLU5	663,4069	106,2447	6,244138	273,6683	4,26E-10	PLU2	PLU5	302,7803	106,2444	2,849848	273,6674	0,004374
PLU3a	PLU3	109,5785	69,39036	1,57916	178,7377	0,114299	PLU3a	PLU3	47,32092	69,39011	0,681955	178,7371	0,495268
PLU3a	PLU4	100,0497	96,69308	1,034714	249,0649	0,300802	PLU3a	PLU4	291,1925	96,69274	3,011524	249,064	0,002599
PLU3a	PLU5a	109,9909	87,10731	1,262706	224,3736	0,206695	PLU3a	PLU5a	80,25415	87,107	0,921328	224,3728	0,356879
PLU3a	PLU5	80,68701	120,4353	0,669962	310,2207	0,502882	PLU3a	PLU5	268,4842	120,4348	2,22929	310,2196	0,025795
PLU3	PLU4	209,6282	78,56344	2,668266	202,366	0,007624	PLU3	PLU4	243,8715	78,56317	3,104146	202,3653	0,001908
PLU3	PLU5a	0,412406	66,41043	0,00621	171,0619	0,995045	PLU3	PLU5a	32,93322	66,4102	0,495906	171,0613	0,619961
PLU3	PLU5	190,2655	106,4299	1,787708	274,1451	0,073823	PLU3	PLU5	221,1633	106,4295	2,078027	274,1442	0,037707
PLU4	PLU5a	210,0406	94,57735	2,220834	243,6151	0,026362	PLU4	PLU5a	210,9383	94,57702	2,230334	243,6143	0,025725
PLU4	PLU5	19,36268	125,9438	0,153741	324,4098	0,877814	PLU4	PLU5	22,70825	125,9434	0,180305	324,4086	0,856913
PLU5a	PLU5	190,6779	118,7433	1,605799	305,8625	0,108318	PLU5a	PLU5	188,2301	118,7429	1,58519	305,8614	0,112923

Floresta 2010						
D TEST						
group 1	group 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value
PLU1	PLU2	735,2665	39,48353	18,62211	101,7028	0
PLU1	PLU3a	1456,606	69,10611	21,07781	178,0055	0
PLU1	PLU3	1546,023	39,97895	38,67091	102,979	0
PLU1	PLU4	1933,942	78,3125	24,69519	201,7196	0
PLU1	PLU5a	1679,219	66,11337	25,39908	170,2968	0
PLU1	PLU5	1998,447	106,2447	18,80985	273,6683	0
PLU2	PLU3a	721,3391	69,10611	10,43814	178,0055	0
PLU2	PLU3	810,756	39,97895	20,27957	102,979	0
PLU2	PLU4	1198,676	78,3125	15,30632	201,7196	0
PLU2	PLU5a	943,9525	66,11337	14,27778	170,2968	0
PLU2	PLU5	1263,181	106,2447	11,88935	273,6683	0
PLU3a	PLU3	89,41698	69,39036	1,288608	178,7377	0,197534
PLU3a	PLU4	477,3367	96,69308	4,936617	249,0649	7,95E-07
PLU3a	PLU5a	222,6134	87,10731	2,555622	224,3736	0,0106
PLU3a	PLU5	541,8419	120,4353	4,499031	310,2207	6,83E-06
PLU3	PLU4	387,9197	78,56344	4,937662	202,366	7,91E-07
PLU3	PLU5a	133,1964	66,41043	2,005655	171,0619	0,044893
PLU3	PLU5	452,425	106,4299	4,250922	274,1451	2,13E-05
PLU4	PLU5a	254,7233	94,57735	2,69328	243,6151	0,007075
PLU4	PLU5	64,50524	125,9438	0,512175	324,4098	0,608529
PLU5a	PLU5	319,2286	118,7433	2,688392	305,8625	0,00718

Fonte: Produção da autora.

Figura B.3: Teste Dunn para as classes analisadas em 2010.

SHDI 2019							Vegetação Sec. 2019						
D TEST							D TEST						
group 1	group 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value	group 1	group 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value
PLU1	PLU2	914,6915	43,44579	21,05363	111,9089	0	PLU1	PLU2	815,6644	41,85862	19,48618	107,8207	0
PLU1	PLU3a	1833,236	54,21488	33,81425	139,6483	0	PLU1	PLU3a	1526,752	46,59954	32,76324	120,0325	0
PLU1	PLU3	1765,752	51,47288	34,30451	132,5854	0	PLU1	PLU3	1377,021	44,2427	31,12427	113,9616	0
PLU1	PLU4	1623,78	79,32567	20,4698	204,3294	0	PLU1	PLU4	1304,319	68,18311	19,12965	175,6281	0
PLU1	PLU5a	2044,903	66,86129	30,58425	172,2233	0	PLU1	PLU5a	1274,991	57,46956	22,18551	148,0318	0
PLU1	PLU5	1790,311	98,05625	18,258	252,5762	0	PLU1	PLU5	1060,458	84,28269	12,58216	217,0978	0
PLU2	PLU3a	918,544	49,54975	18,53781	127,6317	0	PLU2	PLU3a	711,0875	46,59954	15,25954	120,0325	0
PLU2	PLU3	851,0607	46,53367	18,28914	119,8628	0	PLU2	PLU3	561,357	44,2427	12,68813	113,9616	0
PLU2	PLU4	709,0887	76,21343	9,303987	196,3128	0	PLU2	PLU4	488,655	68,18311	7,166804	175,6281	7,68E-13
PLU2	PLU5a	1130,211	63,13761	17,90076	162,6317	0	PLU2	PLU5a	459,3271	57,46956	7,992528	148,0318	1,33E-15
PLU2	PLU5	875,6191	95,55602	9,163411	246,136	0	PLU2	PLU5	244,7935	84,28269	2,904434	217,0978	0,003679
PLU3a	PLU3	67,48338	56,71948	1,189774	146,0997	0,234135	PLU3a	PLU3	149,7304	48,75232	3,071247	125,5777	0,002132
PLU3a	PLU4	209,4553	82,82634	2,528849	213,3465	0,011444	PLU3a	PLU4	222,4325	71,19206	3,1244	183,3786	0,001782
PLU3a	PLU5a	211,6671	70,97939	2,982093	182,8308	0,002863	PLU3a	PLU5a	251,7604	61,00921	4,126597	157,1493	3,68E-05
PLU3a	PLU5	42,92493	100,9092	0,425382	259,9249	0,670558	PLU3a	PLU5	466,294	86,73491	5,376082	223,4143	7,61E-08
PLU3	PLU4	141,9719	81,05805	1,751485	208,7917	0,079862	PLU3	PLU4	72,70203	69,67215	1,043488	179,4636	0,296723
PLU3	PLU5a	279,1505	68,90775	4,051075	177,4946	5,1E-05	PLU3	PLU5a	102,0299	59,22856	1,722648	152,5627	0,084952
PLU3	PLU5	24,55845	99,46293	0,246911	256,1995	0,804977	PLU3	PLU5	316,5635	85,49178	3,702853	220,2122	0,000213
PLU4	PLU5a	421,1224	91,60449	4,597181	235,9575	4,28E-06	PLU4	PLU5a	29,32792	78,73718	0,372479	202,8135	0,709536
PLU4	PLU5	166,5304	116,3442	1,431359	299,6829	0,152327	PLU4	PLU5	243,8615	100,0018	2,43857	257,5876	0,014745
PLU5a	PLU5	254,5921	108,2305	2,352313	278,7834	0,018657	PLU5a	PLU5	214,5336	93,02784	2,306122	239,6238	0,021104

Floresta 2019						
D TEST						
group 1	group 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value
PLU1	PLU2	853,783	43,4458	19,6517	111,909	0
PLU1	PLU3a	1762	54,2149	32,5004	139,648	0
PLU1	PLU3	1728,89	51,4729	33,5884	132,585	0
PLU1	PLU4	2165,82	79,3257	27,3028	204,329	0
PLU1	PLU5a	1873,64	66,8613	28,0229	172,223	0
PLU1	PLU5	2345	98,0563	23,9149	252,576	0
PLU2	PLU3a	908,221	49,5498	18,3295	127,632	0
PLU2	PLU3	875,109	46,5337	18,8059	119,863	0
PLU2	PLU4	1312,03	76,2134	17,2152	196,313	0
PLU2	PLU5a	1019,86	63,1376	16,153	162,632	0
PLU2	PLU5	1491,22	95,556	15,6057	246,136	0
PLU3a	PLU3	33,1119	56,7195	0,58378	146,1	0,55937
PLU3a	PLU4	403,812	82,8263	4,8754	213,347	1,1E-06
PLU3a	PLU5a	111,64	70,9794	1,57285	182,831	0,11575
PLU3a	PLU5	583	100,909	5,77747	259,925	7,6E-09
PLU3	PLU4	436,924	81,058	5,39026	208,792	7E-08
PLU3	PLU5a	144,752	68,9078	2,10066	177,495	0,03567
PLU3	PLU5	616,112	99,4629	6,19439	256,2	5,9E-10
PLU4	PLU5a	292,172	91,6045	3,18949	235,958	0,00143
PLU4	PLU5	179,189	116,344	1,54016	299,683	0,12352
PLU5a	PLU5	471,36	108,231	4,35515	278,783	1,3E-05

Fonte: Produção da autora.

