



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Presidente Prudente

JHONATAN LASZLO MANOEL

**VARIABILIDADE HIDROLÓGICA, USO DA TERRA E MUDANÇAS NA
MORFOLOGIA DE UM RIO MEANDRANTE: O RIO AGUAPEÍ EM SEU BAIXO
CURSO.**

Presidente Prudente - SP

2024





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de Presidente Prudente

JHONATAN LASZLO MANOEL

**VARIABILIDADE HIDROLÓGICA, USO DA TERRA E MUDANÇAS NA
MORFOLOGIA DE UM RIO MEANDRANTE: O RIO AGUAPEÍ EM SEU BAIXO
CURSO.**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual Paulista (FCT/UNESP), Campus de Presidente Prudente, SP, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Paulo Cesar Rocha

Linha de Pesquisa: Dinâmicas da Natureza

Presidente Prudente - SP

2024

L349v	Laszlo Manoel, Jhonatan Variabilidade hidrológica, uso da terra e mudanças na morfologia de um rio meandrante: O rio Aguapeí em seu baixo curso / Jhonatan Laszlo Manoel. -- Presidente Prudente, 2024 168 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente Orientador: Paulo Cesar Rocha 1. Canal Meandrante. 2. Rio Aguapeí. 3. Morfologia Fluvial. I. Título.
-------	---

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: "Variabilidade hidrológica, uso da terra e mudanças na morfologia de um rio meandrante: o Rio Aguapeí em seu baixo curso"

AUTOR: JHONATAN LASZLO MANOEL

ORIENTADOR: PAULO CESAR ROCHA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Geografia, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PAULO CESAR ROCHA (Participação Virtual)

Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Documento assinado digitalmente
 PAULO CESAR ROCHA
Data: 01/03/2024 16:49:59-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. MÁRCIO HENRIQUE DE CAMPOS ZANCOPÉ (Participação Virtual)
IESA / UFG/Goiânia (GO)

Documento assinado digitalmente
 MÁRCIO HENRIQUE DE CAMPOS ZANCOPÉ
Data: 24/01/2024 14:53:49-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. JOÃO OSVALDO RODRIGUES NUNES (Participação Virtual)

Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Documento assinado digitalmente
 JOÃO OSVALDO RODRIGUES NUNES
Data: 25/01/2024 16:51:50-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. FREDERICO DOS SANTOS GRADELLA (Participação Virtual)

Departamento de Geografia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Documento assinado digitalmente
 FREDERICO DOS SANTOS GRADELLA
Data: 26/01/2024 12:55:04-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. GUSTAVO ROBERTO DOS SANTOS LEANDRO (Participação Virtual)

Departamento de Geografia / Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) - Câmpus de Cáceres/MT

Documento assinado digitalmente
 GUSTAVO ROBERTO DOS SANTOS LEANDRO
Data: 25/01/2024 14:29:25-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Presidente Prudente, 24 de janeiro de 2024

AGRADECIMENTOS

Difícil escolher a quem agradecer em um período tão conturbado e desesperançoso, como tem sido estes últimos quatro anos, em que boa parte dele foi dado através de um trabalho solitário, com algumas interações sendo dada via remota. Contudo, algumas pessoas merecem algumas palavras de agradecimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, na qual eu deixo meus sinceros agradecimentos.

Ao Professor Doutor Paulo Cesar Rocha, pelas orientações, conversas e ao imenso apoio dado durante esses quase 10 anos de convívio que se estendem.

Aos amigos do Laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos, Gustavo, João Pimenta, Aline, Renata e Beatriz pelos bons papos durante os eventos que tivemos a oportunidade de viajar juntos e nos divertirmos.

Aos meus familiares, principalmente a minha tia Stefânia, e aos meus pais, que por toda a minha vida sempre fizeram o possível e o impossível, deixando muitas vezes de lado seus interesses pessoais para me ajudar.

Por fim, ao meu avô Antônio e minha avó Inêz, que por mais que estejam no céu, sempre foram pessoas que, sem dúvida alguma, eu poderia chamar de pai e mãe pelas brincadeiras durante a infância e todo o suporte que eles me deram durante o tempo em que estivera por perto.

RESUMO

Este projeto de pesquisa, em nível de doutorado, tem como hipótese que as variações hidrológicas, juntamente com as mudanças no uso e ocupação da terra em uma bacia hidrográfica, podem controlar ou exercer influências sobre a mudança morfológica natural e nos mecanismos de ajuste do comportamento de um canal aluvial meandrante. A área de estudo da pesquisa está localizada no baixo curso do Rio Aguapeí, no oeste do estado de São Paulo, caracterizado por uma tipologia de canal meandrante. Desta forma, esta tese tem como objetivo analisar as mudanças morfológicas do rio, através da análise da influência de períodos hidrológicos e de mudanças na cobertura da terra, considerando um período de 70 (entre 1964-2019) anos até o presente. Para o estudo da variabilidade hidrológica e regimes hidrológicos dos rios, os dados foram levantados através de dados disponibilizados *online* e de estações pluviométricas e fluviométricas, disponíveis na área de estudo, sendo feitas análises das máximas e médias interanuais em cinco períodos diferentes (1964, 1986, 1996, 2010, 2019). O estudo das mudanças no uso da terra na bacia hidrográfica foi feito através de software de geoprocessamento em cinco períodos distintos, que buscaram avaliar diferentes domínios de uso da terra. Para o entendimento das mudanças morfológicas e morfométricas, foram utilizados produtos obtidos através de sensoriamento remoto, como fotografias aéreas, imagens de satélite e uso de geotecnologias e sistema de informação geográfica. A área aluvial de análise foi dividida em 4 compartimentos. Os resultados obtidos até o presente momento, mostram a respeito dos dados pluviométricos quatro períodos hidrológicos em que o segundo período mostrou-se o mais intenso entre todos os outros. As descargas fluviais seguem o mesmo padrão da pluviosidade, tendo seus picos de vazões também no segundo período hidrológico. A respeito das ocupações da terra, notou-se uma mudança através dos períodos analisados uma progressiva substituição das pastagens para as culturas temporárias, mais especificamente a cana-de-açúcar. Os levantamentos morfométricos e morfológicos mostram uma maior atividade entre o segundo e o terceiro compartimento da planície aluvial do Rio Aguapeí, em que apresentam as maiores variações de dados quantitativos. Outro ponto importante da tese é dado através da discussão dos resultados e o relacionamento dos dados hidrológicos e ocupação da terra, mostrando a ocorrência do *el niño* de 1983, o mais intenso registrado, pode ter causado alterações na morfologia do Rio Aguapeí e que as substituições das pastagens pelas culturas temporárias também apresentam relação nas mudanças ocorridas na morfologia do Rio Aguapeí, da maneira que quando houve a ocorrência destes acontecimentos, os dados quantitativos a respeito das morfometrias e morfologias tiveram as suas maiores oscilações.

PALAVRAS-CHAVES: Meandramento, padrão de canal, regime fluvial

ABSTRACT

This doctoral research project hypothesizes that hydrological variations, together with changes in land use and occupation in a river basin, can control or exert influences on the natural morphological change and on the adjustment mechanisms of the behavior of a meandering alluvial channel. The study area of the research is located in the lower course of the Aguapeí River, in the west of the state of São Paulo, characterized by a meandering channel typology. Thus, this thesis aims to analyze the morphological changes of the river, through the analysis of the influence of hydrological periods and changes in land cover, considering a period of 70 years (between 1964-2019) to the present. To study the hydrological variability and hydrological regimes of the rivers, data were collected using data made available online and from rainfall and fluvimetric stations available in the study area, with analyses of the interannual maximums and averages in five different periods (1964, 1986, 1996, 2010, 2019). The study of changes in land use in the river basin was carried out using geoprocessing software in five different periods, which sought to evaluate different domains of land use. To understand the morphological and morphometric changes, products obtained through remote sensing, such as aerial photographs, satellite images and the use of geotechnologies and geographic information systems, were used. The alluvial area of analysis was divided into 4 compartments. The results obtained to date show four hydrological periods regarding rainfall data, in which the second period was the most intense among all the others. River discharges follow the same pattern as rainfall, with peak flows also occurring in the second hydrological period. Regarding land use, a change was noted throughout the analyzed periods, with a progressive replacement of pastures by temporary crops, more specifically sugarcane. Morphometric and morphological surveys show greater activity between the second and third compartments of the Aguapeí River floodplain, where the greatest variations in quantitative data are presented. Another important point of the thesis is given through the discussion of the results and the relationship between hydrological data and land use, showing that the occurrence of the 1983 El Niño, the most intense recorded, may have caused changes in the morphology of the Aguapeí River and that the replacement of pastures by temporary crops also has a relationship with the changes that occurred in the morphology of the Aguapeí River, in the way that when these events occurred, the quantitative data regarding morphometries and morphologies had their greatest oscillations.

KEYWORDS: Meandering, channel pattern, river regime

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo com destaque para a planície aluvial do baixo curso do Rio Aguapeí.	15
Figura 2 - Localização das estações pluviométricas e fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.....	18
Figura 3 – Os quatro setores estipulados para a área de estudo. A: Planície Aluvial, B: Margem Direita da área aluvial, C: Margem Esquerda da área aluvial e D: Montante da área aluvial.....	21
Figura 4 – Erodibilidade do solo e seus valores conforme a classe.	22
Figura 5 – Esquema representativo da mediação para obtenção das descontinuidades da planície aluvial do Rio Aguapeí em baixo curso, conforme Moraes (2015). A) estipulação da seção a ser vetorizada. B) vértices espaçados a cada 250 metros. C) Largura da planície compreendida pela distância perpendicular dos vértices de ambas as margens.	24
Figura 6 – Mecanismos de mudanças nos meandros encontrados no rio do Peixe de acordo com Hooke & Harvey (1983) e utilizado por Moraes (2015).	26
Figura 7 – Representação em planta dos parâmetros morfométricos realizados na pesquisa..	27
Figura 8 – Variabilidade morfológica no trecho do canal, fruto da atuação de diversos controles.....	31
Figura 9 – Exemplos de meandros simples em (A), e de meandros compostos em (B).	34
Figura 10 – Os tipos de canais meandantes, segundo SCHUMM (1963).....	35
Figura 11 – Representação da mudança morfológica do canal, em detrimento com a declividade.	37
Figura 12 – Esquema dos principais fatores de controle da resposta do canal e da planície de inundação a grandes enchentes.	41
Figura 14 – Geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí	50
Figura 16 – Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.....	57
Figura 17 – Mapa com os principais tipos de solos encontrados na área de estudo.	63
Figura 18 – Mapa ilustrativo da cobertura vegetal do Estado de São Paulo no ano de 1920. ...	65
Figura 19 – Cobertura florestal do Estado de São Paulo no ano de 2020, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.	67
Figura 20 – Carta temática do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1964.....	81
Figura 21 – Mosaico da divisão dos quatro setores estipulados para a área de estudo no ano de 1964.....	82
Figura 22 – Mosaico de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatro setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 1964.....	82
Figura 23 – Mosaico de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatro setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 1986.....	86
Figura 24 – Mosaico da divisão dos quatro setores estipulados para a área de estudo no ano de 1986.....	87
Figura 25 – Mosaico de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatro setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 1986.....	88

Figura 26 – Carta temática do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1996.....	92
Figura 27 – Mosaico da divisão dos quatro setores estipulados para a área de estudo no ano de 1996.....	93
Figura 28 – Mosaico de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatros setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 1996.....	94
Figura 29 – Carta temática do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2010.....	98
Figura 30 – Mosaico da divisão dos quatro setores estipulados para a área de estudo no ano de 2010.....	99
Figura 31 – Mosáicos de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatros setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 2010.....	101
Figura 32 – Carta temática do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2019.....	104
Figura 33 – Mosaico da divisão dos quatro setores estipulados para a área de estudo no ano de 2019.....	105
Figura 34 – Mosaico de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatros setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 2019.....	107
Figura 35 – Aporte de sedimento exportado ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1964.....	113
Figura 36 – Mosaico do aporte de sedimento nos quartos setores para a área de estudo no de 1964.....	114
Figura 37 – Aporte de sedimento exportado ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1986.....	116
Figura 38 – Mosaico do aporte de sedimento nos quartos setores para a área de estudo no de 1986.....	117
Figura 39 – Aporte de sedimento exportado ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1986.....	119
Figura 40 – Mosaico do aporte de sedimento nos quartos setores para a área de estudo no de 1996.....	120
Figura 41 – Aporte de sedimento exportado ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2010.....	122
Figura 42 – Mosaico do aporte de sedimento nos quartos setores para a área de estudo no de 2010.....	123
Figura 43 – Aporte de sedimento exportado ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2019.....	125
Figura 44 – Mosaico do aporte de sedimento nos quartos setores para a área de estudo no de 2019.....	126
Figura 45 – Variação da largura da planície aluvial do baixo Rio Aguapeí e sua compartimentação em quatro seções morfológicas.	127
Figura 46 – Planície aluvial do Rio Aguapeí em seu baixo curso e áreas amostrais.....	128

Figura 47 – Mudanças morfológicas no canal fluvial do Rio Aguapeí em seus compartimentos analisadas, ressaltando as mudanças nos trechos entre os anos de 1964 e 2019.	129
Figura 48 – Mosaíco representativo do trecho 1.	133
Figura 49 – Mosaíco representativo do trecho 2.	137
Figura 50 – Mosaíco representativo do trecho 3.	141
Figura 51 – Mosaíco representativo do trecho 4.	145
Figura 52 – Análise de Componentes Principais da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí	146
Figura 53 – Análise de Cluster da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.....	147

TABELAS e QUADROS

Quadro 1 – Correlação entre os dados estipulados de descargas mínimas anuais através do cálculo de regressão linear simples para as descargas mínimas.	68
Quadro 2 – Correlação entre os dados estipulados de descargas máximas anuais através do cálculo de regressão linear simples para as descargas mínimas.	69
Quadro 3 – Correlação entre os dados estipulados de descargas média anuais através do cálculo de regressão linear simples para as descargas mínimas.	70
Tabela 4 – Resumo das medições pluviométricos por período.	77
Tabela 5 – Resumo das medições das descargas mínimas por período	77
Tabela 6 – Resumo das medições das descargas máximas por período.....	78
Tabela 7 – Resumo das medições das descargas médias por período	78
Tabela 8 – Distribuição evolutiva das diferentes ocupações da terra ao longo de toda a Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.....	108
Tabela 12 – Levantamento dos mecanismos de mudança na morfologia de meandros do trecho 1.....	130
Tabela 13 – Média da variação dos parâmetros morfométricos do trecho 1.....	130
Tabela 14 – Média da variação dos parâmetros morfométricos do trecho 2.....	134
Tabela 15 – Levantamento dos mecanismos de mudança na morfologia de meandros do trecho 3.....	138
Tabela 16 – Média da variação dos parâmetros morfométricos do trecho 3.....	138
Tabela 17 – Levantamento dos mecanismos de mudança na morfologia de meandros do trecho 4.....	142
Tabela 18 – Média da variação dos parâmetros morfométricos do trecho 4.....	142
Tabela 19 – Anos de ocorrência do fenômeno <i>el niño</i>	149

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Precipitação média anual da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí	71
Gráfico 2 – Variabilidade das descargas mínimas anuais do Rio Aguapeí, com base nos dados da estação fluviométrica Valparaíso/Adamantina.....	72
Gráfico 3 – Variabilidade das descargas máximas anuais do Rio Aguapeí, com base nos dados da estação fluviométrica Valparaíso/Adamantina.....	74
Gráfico 4 – Variabilidade das descargas médias anuais do Rio Aguapeí, com base nos dados da estação fluviométrica Valparaíso/Adamantina.....	76
Gráfico 5 – Distribuição total dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no período de 1964.....	84
Gráfico 6 – Distribuição total dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no período de 1986.....	89
Gráfico 7 – Distribuição total dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no período de 1996.....	95
Gráfico 8 – Distribuição total dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no período de 2010.....	102
Gráfico 9 – Distribuição total dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no período de 2019.....	108

Sumário

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	6
INTRODUÇÃO	14
HIPÓTESE	16
OBJETIVOS	16
METODOLOGIA	17
1. CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO: PROCESSOS E DINÂMICAS INFLUENCIADORES DA MORFOLOGIA DO CANAL FLUVIAL	30
1.1 Fatores Autogênicos – Alterações Morfométricas e Morfológicas	30
1.2. Comportamento dinâmico do canal fluvial	36
1.3. Fatores Alogênicos: Variabilidade Hidrológica	39
1.4. Fatores Alogênicos: Uso e cobertura da terra	43
1.5. Análise multivariada e de componentes principais	45
2. CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AGUAPEÍ	48
2.1. Meio Físico.....	48
2.1.1 Geologia	49
2.1.2 Clima.....	55
2.1.3. Geomorfologia	56
2.1.4 Padrões de forma semelhante e índice de dissecação do relevo	59
2.1.5 Solos	62
2.2 Histórico de Ocupação Regional	65
CAPÍTULO 3 – A VARIABILIDADE HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO AGUAPEÍ: LEVANTAMENTO E ANÁLISE DA PLUVIOSIDADE E DESCARGAS FLUVIAIS	68
3.1. Regime pluviométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.....	71
3.2. Descargas mínimas	72
3.3. Descargas máximas.....	73
3.4. Descargas médias.....	75
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DOS DIFERENTES TIPOS DE OCUPAÇÕES DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AGUAPEÍ	79
4.1. Considerações iniciais.....	79
4.2. Uso e ocupação da terra no ano de 1964	79
4.3. Uso e ocupação da terra no ano de 1986	85
4.4. Uso e ocupação da terra no ano de 1996	90

4.5. <i>Uso e ocupação da terra no ano de 2010</i>	95
5.6 <i>Uso e ocupação da terra no ano de 2019</i>	102
CAPÍTULO 5 – LEVANTAMENTO E ANÁLISE DO APORTE DE SEDIMENTO EXPORTADO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AGUAPEÍ	111
5.1 <i>Considerações Iniciais</i>	111
5.1. <i>Aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1964.</i>	111
5.2. <i>Aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1986.</i>	115
5.3. <i>Aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1996.</i>	118
5.4. <i>Aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2010.</i>	121
5.5. <i>Aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2019.</i>	124
CAPÍTULO 6 – LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS COMPORTAMENTOS MORFOLÓGICOS DA PLANÍCIE ALUVIAL DO BAIXO CURSO DO RIO AGUAPEÍ	127
6.1. <i>Trecho 1</i>	129
6.3. <i>Trecho 3</i>	138
6.4. <i>Trecho 4</i>	142
7. Análise estatística multivariada dos componentes físicos e antrópicos da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.	146
8. Discussão	148
8.1. <i>Influências da Variabilidade Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí na morfologia e morfometria.</i>	148
8.2. <i>Relações entre a sobreposição dos diferentes usos e ocupação da terra com as variáveis morfométricas e morfológicas.</i>	150
8.3. <i>Alterações morfológicas e morfométricas através do aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.</i>	153
8.4 <i>Análise multivariada de componentes principais e análise de Cluster</i>	154
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158

INTRODUÇÃO

Os meandros são uma parte sensível da paisagem fluvial, importante de destacar ao se trabalhar com canais fluviais e suas dinâmicas, especialmente quando o próprio rio meandrante é o objeto de pesquisa.

Canais meandrantess são caracterizados por curvas sinuosas e largas, resultantes da erosão da margem côncava e da deposição na margem convexa. Suas principais características incluem sinuosidade superior a 1,5, presença de barras fluviais em pontal e predominância de transporte de sedimentos em suspensão (CHARLTON, 2007).

Os processos e dinâmicas dos canais meandrantess são influenciados por intervenções que se manifestam em diferentes escalas de tempo, tanto geológicas quanto em séries históricas deca- anuais, refletindo as variabilidades hidrológicas e as mudanças do uso e ocupação do solo.

Gregory e Walling (1973) destacam a importância dos rios e suas bacias de drenagem para o estudo geográfico por três razões principais. Primeiramente, pela influência na formação das características físicas do meio fluvial. Em seguida, por sua relação com outros processos geomorfológicos e da paisagem. Por fim, pela relevância para o uso humano.

Diante disso, este estudo visa analisar um rio de planície aluvial, especificamente o baixo curso do Rio Aguapeí, avaliando a influência de fatores físicos e humanos da bacia hidrográfica sobre o sistema fluvial, na região Oeste Paulista (figura 1).

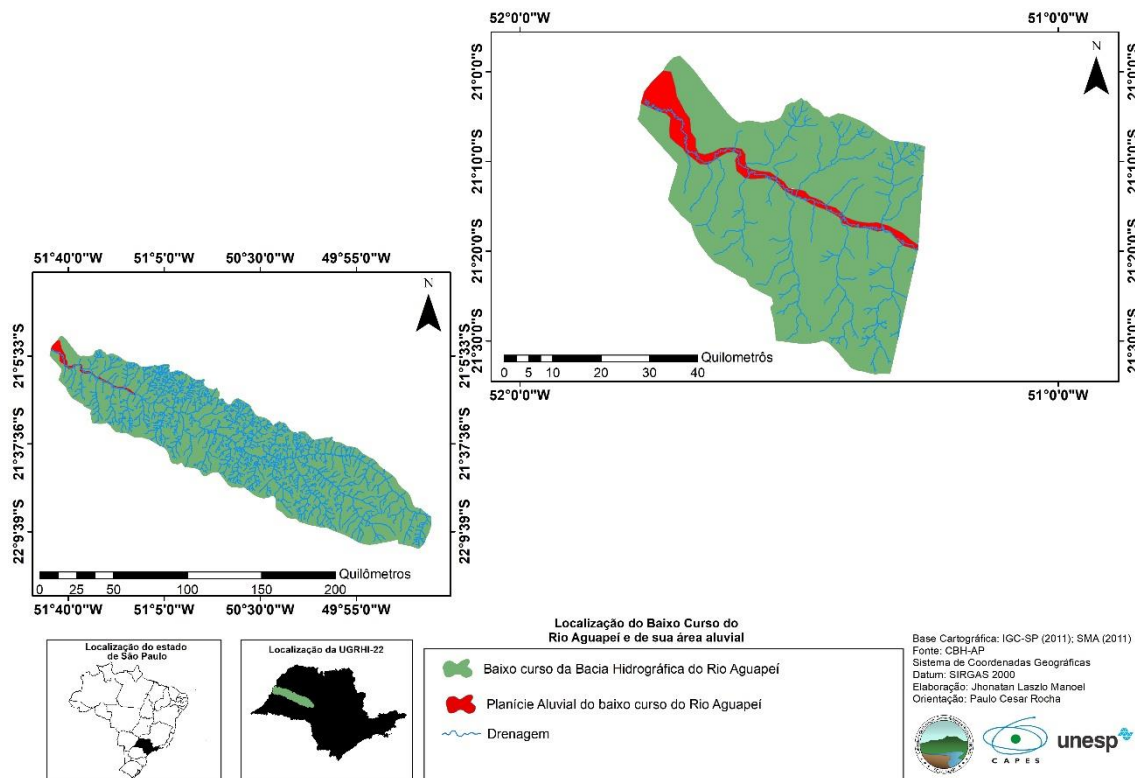


Figura 1 – Localização da área de estudo com destaque para a planície aluvial do baixo curso do Rio Aguapeí.

Sendo assim, para compreender as dinâmicas do meio físico e os usos dominantes de uma bacia hidrográfica e seus efeitos sobre um canal fluvial, é fundamental analisar as interações que compõem essa paisagem. Nesse sentido, o levantamento de séries históricas e imagens de satélite se mostra uma ferramenta valiosa para identificar períodos e fases de mudanças morfológicas.

A presente pesquisa busca suprir uma lacuna na geomorfologia fluvial brasileira, onde os estudos sobre canais meandantes são menos comuns que os dedicados a canais anastomosados e entrelaçados. Embora pesquisadores como Zancopé (2008) e Rocha e Moraes (2016) tenham contribuído para esse campo, ainda há muito a ser explorado. Este trabalho pretende servir como base para futuras pesquisas sobre canais meandantes.

Por isso, a escolha de um canal meandrante tem como motivação fazer levantamentos, apontamentos e logicamente estudos de um padrão de canal pouco estudada e explorada e precisa ser desbravada na literatura brasileira de geomorfologia fluvial, dando continuidade aos estudos de Moraes (2015) a respeito de canais meandantes e suas evoluções.

Os estudos aqui apresentados baseiam-se em levantamentos e análises de dados quantitativos, inicialmente abordados de forma qualitativa. Na parte final, esses dados serão submetidos a uma análise estatística, permitindo a construção de cenários e hipóteses para uma compreensão mais precisa das alterações ocorridas na área de estudo.

HIPÓTESE

Este estudo será conduzido com base na hipótese de que a variabilidade hidrológica e as alterações no uso e ocupação do solo influenciam, controlam e alteram a mudança morfológica e os mecanismos de ajuste do comportamento natural de um canal meandrante, induzindo alterações nos valores de limiar de sinuosidade e no tempo de mudança do sistema de um estado morfológico a outro.

OBJETIVOS

Estudar e compreender as mudanças morfológicas no baixo curso do Rio Aguapeí e os elementos que controlam o comportamento dinâmico dos meandros através da análise dos fatores autogênicos e alogênicos.

Para se alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram realizados:

- Levantar e analisar séries temporais hidrológicas fluviais e pluviométricas, bem como suas influências na dinâmica hidrológica do rio;
- Qualificar os processos ambientais e as intervenções antrópicas através dos diferentes usos da terra que possam alterar a dinâmica fluvial e dos processos de migração dos meandros, salientando os fatores humanos que estão vinculados e atrelados as mudanças do uso da terra;
- Levantar e avaliar as variações morfométricas e morfológicas que alteram e acomodam o fenômeno do meandramento intrínsecos ao sistema meandrante;
- Correlacionar os efeitos da variabilidade hidrológica e mudanças do uso da terra sobre a mudança morfológica do sistema meandrante do rio Aguapeí.

METODOLOGIA

Delineamento dos períodos de análise

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi selecionado um período histórico que compreende os anos de 1964 a 2019. Contudo, para uma análise mais concisa e que permita mostrar a mudança do processo de meandramento do canal do Rio Aguapeí, foram selecionados os anos de 1964, 1986, 1996, 2010 e 2019 como referência. Esses anos foram apontados por Rocha e Tommselli (2012) como marcos de início e fim de períodos hidrológicos e de mudanças no uso e ocupação da terra na região oeste paulista do Estado de São Paulo.

Levantamento dos dados hidrológicos

Para a realização das análises hidrológicas deste trabalho, os dados pluviométricos e fluviométricos foram obtidos no banco de dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE). Foram selecionadas 37 estações pluviométricas e uma estação fluviométrica pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí (Figura 2), de modo a compreender o período de análise da presente tese (1950-2020).

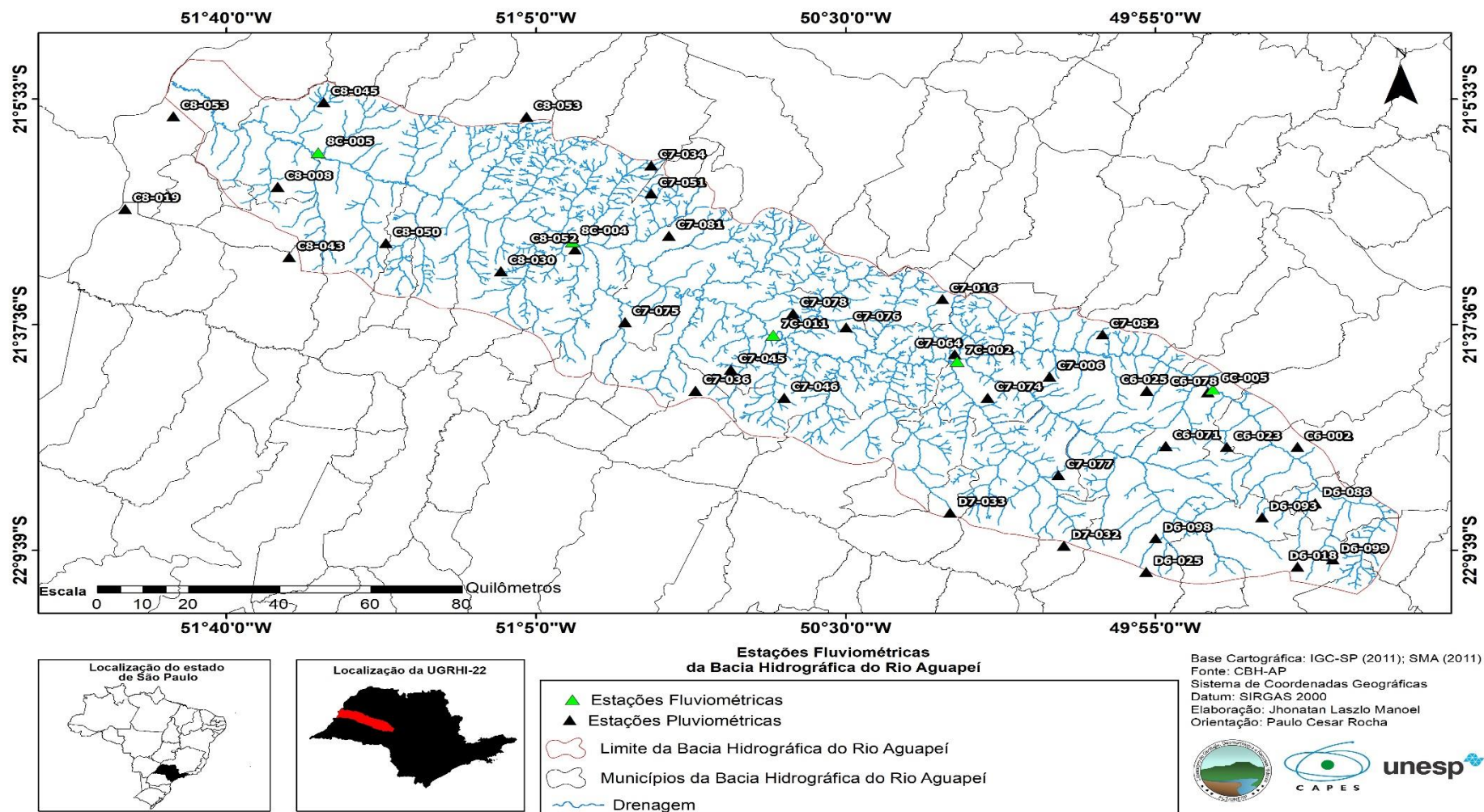


Figura 2 - Localização das estações pluviométricas e fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.

Quanto aos dados pluviométricos, foi necessário preencher as falhas nas séries incompletas das estações utilizadas. Para isso, foram empregados métodos estatísticos, como a ponderação regional e a regressão linear, conforme sugerido por Bertoni e Tucci (2009) e Santos (2018).

De acordo com esses autores, o método da ponderação regional é adequado para o preenchimento de séries mensais e anuais de dados de precipitação. Esse método consiste na utilização de três estações com pelo menos 10 anos de dados completos. O preenchimento das falhas é expresso pela seguinte equação:

$$y = \frac{1}{3} \left[\frac{x1}{xm1} + \frac{x2}{xm2} + \frac{x3}{xm3} \right] \cdot ym$$

Quanto aos dados pluviométricos, foi necessário preencher as lacunas nas séries incompletas das estações utilizadas. Para isso, foram empregados métodos estatísticos como a ponderação regional e a regressão linear, conforme sugerido por Bertoni e Tucci (2009) e Santos (2018). A equação utilizada para o preenchimento das falhas é a seguinte:

Onde:

- y: precipitação do posto Y a ser estimada;
- x1, x2, x3: precipitações correspondentes ao mês (ou ano) que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas;
- ym: precipitação média do posto Y;
- xm1, xm2, xm3: precipitações médias nas três estações vizinhas.

No que se refere aos dados fluviométricos, foram coletados dados de vazão mínima, máxima e média em cinco estações localizadas ao longo do Rio Aguapeí. No entanto, as séries históricas disponíveis no Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) eram curtas ou não abrangiam todo o período de estudo.

Para contornar esse problema, optou-se por utilizar dados de outras estações fluviométricas para preencher as lacunas da série histórica da estação Valparaíso/Adamantina. Poff et al. (1997) destacam a importância de preencher séries hidrológicas longas utilizando métodos estatísticos, como o correlacionamento de regressão linear.

Assim, foram utilizados dados da estação 7D-010 do DAEE, localizada no município de Marília (Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe), para preencher os dados da estação 63710000 da ANA, localizada no município de Tupã. Em seguida, os dados da estação de Tupã foram utilizados para preencher os dados da estação 7C-002, localizada no município de Luisiana, e por fim, os dados de Luisiana foram utilizados para preencher os dados da estação 8C-004, localizada entre os municípios de Valparaíso e Adamantina.

Após o preenchimento dos dados, foram gerados gráficos de linhas que permitiram identificar quatro períodos hidrológicos distintos.

Levantamento da alteração da cobertura da terra

Para a qualificação ambiental e o levantamento dos tipos de cobertura da terra, foram utilizadas cartas topográficas na escala de 1:250.000 para o ano de 1964 (SF-22-X-C - Araçatuba; SF-22-Z-B - Bauru; SF-22-Z-A - Marília; SF-22-V-D – Dracena; e SF-22-V-B – Andradina). Essas cartas foram vetorizadas no software ArcGIS 10.5 para extração dos diversos usos da terra.

Para os demais anos (1986, 1996, 2010 e 2019), foram utilizadas imagens Landsat 8 com resolução de 30 metros. Após a composição colorida das imagens e a segmentação utilizando a ferramenta Segment Mean Shift, os usos da terra foram atribuídos visualmente com o auxílio do Google Earth Pro e classificados com base no Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE.

Além da confecção das cartas temáticas de cobertura da terra, a Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí foi dividida em quatro setores: aluvial, margem direita do setor aluvial, margem esquerda do setor aluvial e montante da área aluvial (Figura 3). Essa divisão permitiu analisar a distribuição espacial das diferentes classes de uso e ocupação do solo em cada setor.

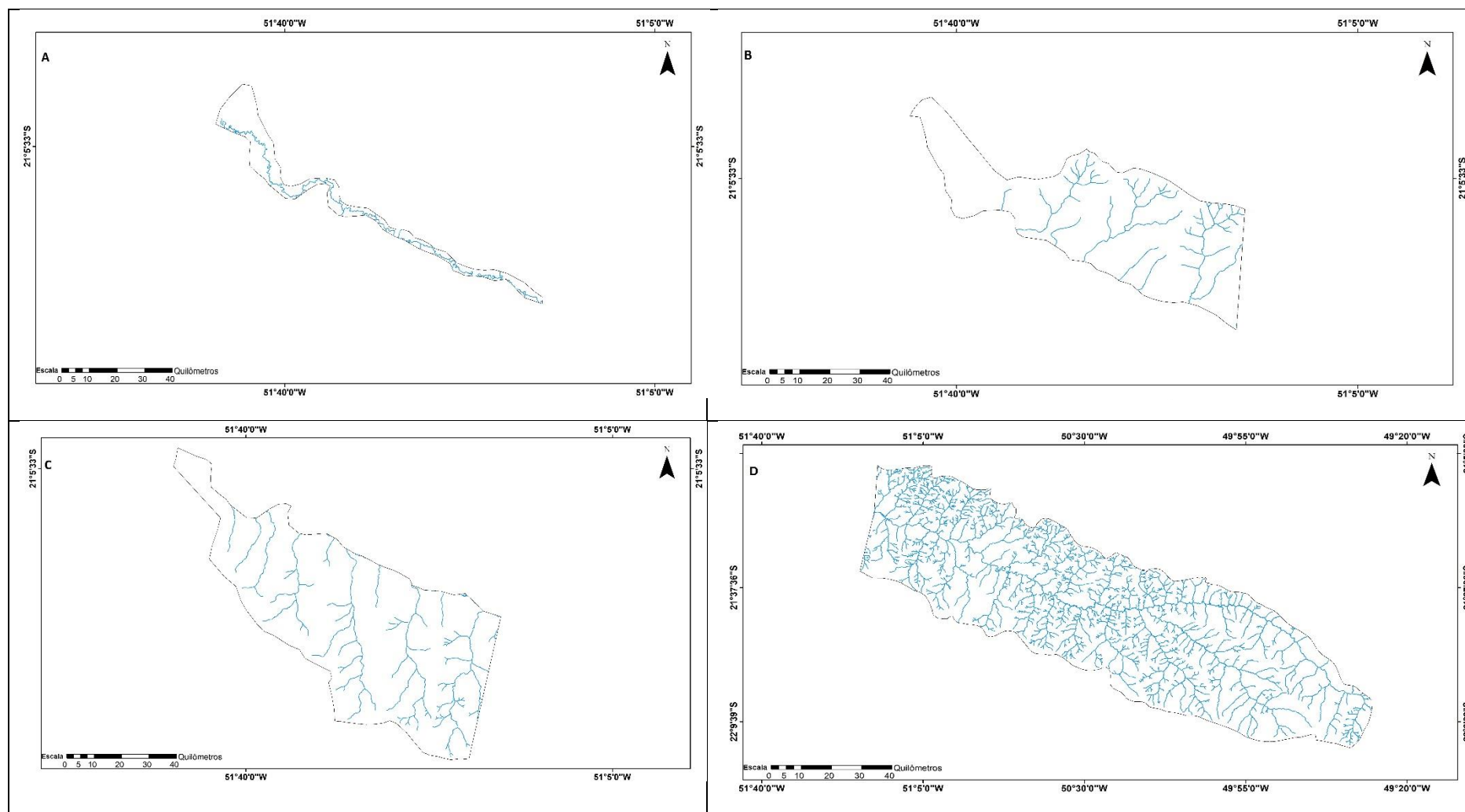


Figura 3 – Os quatros setores estipulados para a área de estudo. A: Planície Aluvial, B: Margem Direita da área aluvial, C: Margem Esquerda da área aluvial e D: Montante da área aluvial

Levantamento do Aporte de sedimento exportado.

Para melhor compreender as dinâmicas morfológicas de um canal fluvial meandrante, é necessário avaliar a dinâmica da carga sólida transportada pelo curso d'água. Para tanto, foi utilizada a metodologia de estimativa de aporte de sedimento exportado proposta por Moroz-Caccia Gouveia (2017) e implementada no software InVEST 3.13.0.

O modelo utilizado foi a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), expressa por R.K.L.S.C.P., onde:

- R: fator de erosividade, relacionado à energia da chuva.
- K: fator de erodibilidade do solo, relacionado às suas características físicas.
- L: fator relacionado ao comprimento da vertente.
- S: fator relacionado à declividade da vertente.
- C: fator relacionado ao uso e manejo da terra.
- P: fator relacionado às práticas conservacionistas.

Para obter o fator R, foi utilizado o software NetErosividade, que gerou mapas de erosividade do solo pela chuva. Esses mapas foram incorporados ao software ArcGIS 10.3 e utilizados para criar isolinhas de erosividade.

O fator K foi obtido a partir de dados pedológicos da área de estudo e de valores de referência encontrados na literatura (Figura 4). Esses valores foram atribuídos aos diferentes tipos de solo e incorporados ao modelo.

TABELA 1. Valores de erodibilidade conforme a classe de solo.

Classes	Área Total (km ²)	% Área Total	Valores de K (t.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)			Fontes
			média	D.P. *	n **	
Argissolos	103.540,44	41,721	0,0425	0,01990	41	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 e 12
Cambissolos	19.258,25	7,760	0,0508	0,0182	7	3,7,8 e 11
Chernossolos	96,79	0,039	0,0309	0,0104	4	7, 14
Espodossolos	1.997,80	0,805	0,0592	0,0248	4	9, 14
Gleissolos	2.883,77	1,162	0,0361	0,0279	6	4,7,8 e 9
Latosolos	99.738,42	40,189	0,0162	0,0043	32	3,4,5,6,7,9,10, 12 e 13
Neossolos	8.633,95	3,479	0,0351	0,0127	26	3,6,7,9,10,11 e 12
Nitossolos	2.275,75	0,917	0,0237	0,0091	7	6,7,8,9 e 13
Organossolos	2.337,79	0,942	0,0610	0,0124	3	9
Planossolos	344,96	0,139	0,0097	0,0134	4	7, 14
Rios	2.429,62	0,979				
Urbanização	4.640,84	1,870				
Total	248.173,44	100,00			134	

* D.P.= Desvio Padrão ** n = n° de valores

Fontes: 1 - Carvalho et al. (1989), 2 - Carvalho et al. (1997), 3 - Moretti (2001), 4 - Hamada et al. (1995), 5 - Lombardi Neto et al. (1995), 6 - Bueno (1994), 7 - MMA (1997), 8 - Fiorio (1998), 9 - Cerrí (1999), 10 - Marcondes et al. (2002), 11 - Ramieri (2000), 12 - Fujihara (2002) e 13 - Burin (1999), 14 - Francisco Lombardi Neto (comunicação pessoal) (2004).

Figura 4 – Erodibilidade do solo e seus valores conforme a classe.

Os fatores C e P, relacionados às classes de uso e ocupação da terra e às práticas conservacionistas, respectivamente, foram atribuídos a cada classe de uso, conforme a metodologia proposta.

Para isso, foi criada uma tabela LUCODE, que associa cada classe de uso a valores específicos dos fatores C e P, conforme sugerido por Wischmeier e Smith (1978), Bertoni e Lombardi (1983), Sivertum (2003) e Ribeiro e Alves (2007). A tabela a seguir apresenta os valores de LUCODE utilizados neste estudo.

Tabela 1 – Dados contendo valores do fator de cobertura do solo (C) e valores do fator de práticas conservacionistas (P).

LULC	USLE_P	USLE_C	LUCODE
Área Urbana	0.03	0.5	1
Cultura Temporária	0.1	0.5	2
Pastagem	0.01	0.5	3
Silvicultura	0.005	0.25	4
Florestal	0.001	0	5
Campo	0.01	0.5	6
Água	0	0	7
Cultura Temp. Pivos	0.45	0.5	8
Cultura Temp. Cana	0.3	0.5	9
Cultura Temp. Milho	0.1	0.5	10
Cultura Perm. Citrus	0.02	0.5	11
Cultura Perm. Café	0.02	0.5	12

Os valores de L e S, que representam o comprimento e a declividade da vertente, respectivamente, foram calculados automaticamente no software InVEST 3.13.0, utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido do projeto TOPODATA.

O MDE foi pré-processado para corrigir erros e inconsistências, e em seguida, foram aplicadas as ferramentas de análise de declividade e comprimento de fluxo do InVEST. Após o tratamento de todos os dados, o software InVEST foi utilizado para gerar os mapas de aporte de sedimento exportado para cada um dos cinco períodos analisados nesta pesquisa.

Da análise morfológica e morfométrica

Para definir os quatro compartimentos analisados, utilizamos o método proposto por Moraes (2015), que considera a variação da largura da planície de inundação como indicador de mudanças na dinâmica fluvial. A escolha desse método se justifica pela sua simplicidade e eficiência na identificação de discontinuidades geomorfológicas em planícies aluviais.

Assim, a largura da planície aluvial do baixo curso do Rio Aguapeí foi mensurada a cada 250 metros, utilizando linhas paralelas traçadas em ambos os lados da planície em imagens de satélite do Google Earth Pro. O espaçamento de 250 metros foi definido com base na resolução das imagens e na escala do estudo, visando garantir uma representação adequada da variabilidade espacial da planície.

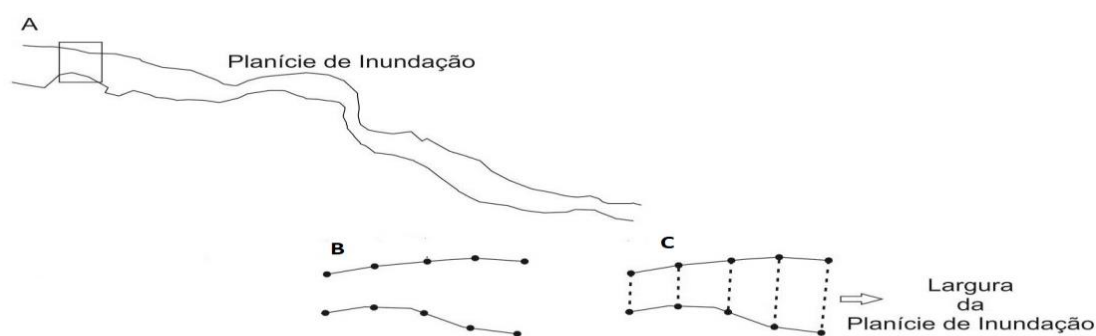


Figura 5 – Esquema representativo da mediação para obtenção das discontinuidades da planície aluvial do Rio Aguapeí em baixo curso, conforme Moraes (2015). A) estipulação da seção a ser vetorizada. B) vértices espaçados a cada 250 metros. C) Largura da planície compreendida pela distância perpendicular dos vértices de ambas as margens.

Após a coleta dos dados, estes foram organizados em uma planilha eletrônica para facilitar a análise e, após análise foram estipulados quatro compartimentos de acordo com o aumento da largura da planície aluvial, sendo elas analisadas em cinco períodos distintos (1964, 1986, 1996, 2010 e 2019), permitindo avaliar as mudanças na morfologia do canal ao longo do tempo. A escolha desses períodos seguiu as sugestões

de Rocha e Tommaselli (2012), que identificaram momentos de significativas mudanças hidrológicas e no uso da terra na região.

Para quantificar as alterações no canal, foram calculados parâmetros morfométricos como o índice de sinuosidade, que relaciona o comprimento do canal com a distância entre sua origem e foz.

Além disso, foram analisadas as mudanças na forma dos meandros, como o aumento ou diminuição do raio de curvatura e a ocorrência de cortes de pedúnculos. Para o ano de 1964, foram utilizadas cartas topográficas do DATAGEO e do IBGE.

Para os demais anos, o software Google Earth Pro foi utilizado para realizar análises visuais e numéricas, permitindo a vetorização das imagens e a extração das informações morfométricas e morfológicas necessárias. A precisão das medidas obtidas a partir de imagens de satélite pode ser afetada por fatores como a resolução espacial das imagens e a presença de nuvens

Morfologia e Mecanismos de Mudanças dos Meandros

A análise dos parâmetros morfológicos baseou-se na classificação proposta por Hooke & Harvey (1983), adaptada por Moraes (2015) para o vale aluvial do Rio do Peixe. Essa classificação considera nove mecanismos de alteração de canais meandrantess: crescimento, migração, migração confinada, lóbulo, duplo lóbulo, corte de pedúnculo, retração, novo meandro e mudança complexa (Figura 6).

Os levantamentos morfológicos foram realizados por meio da vetorização do canal fluvial do Rio Aguapeí no software Google Earth Pro, utilizando a ferramenta Time Lapse. A ocorrência desses mecanismos foi analisada visualmente, comparando as imagens em diferentes períodos.

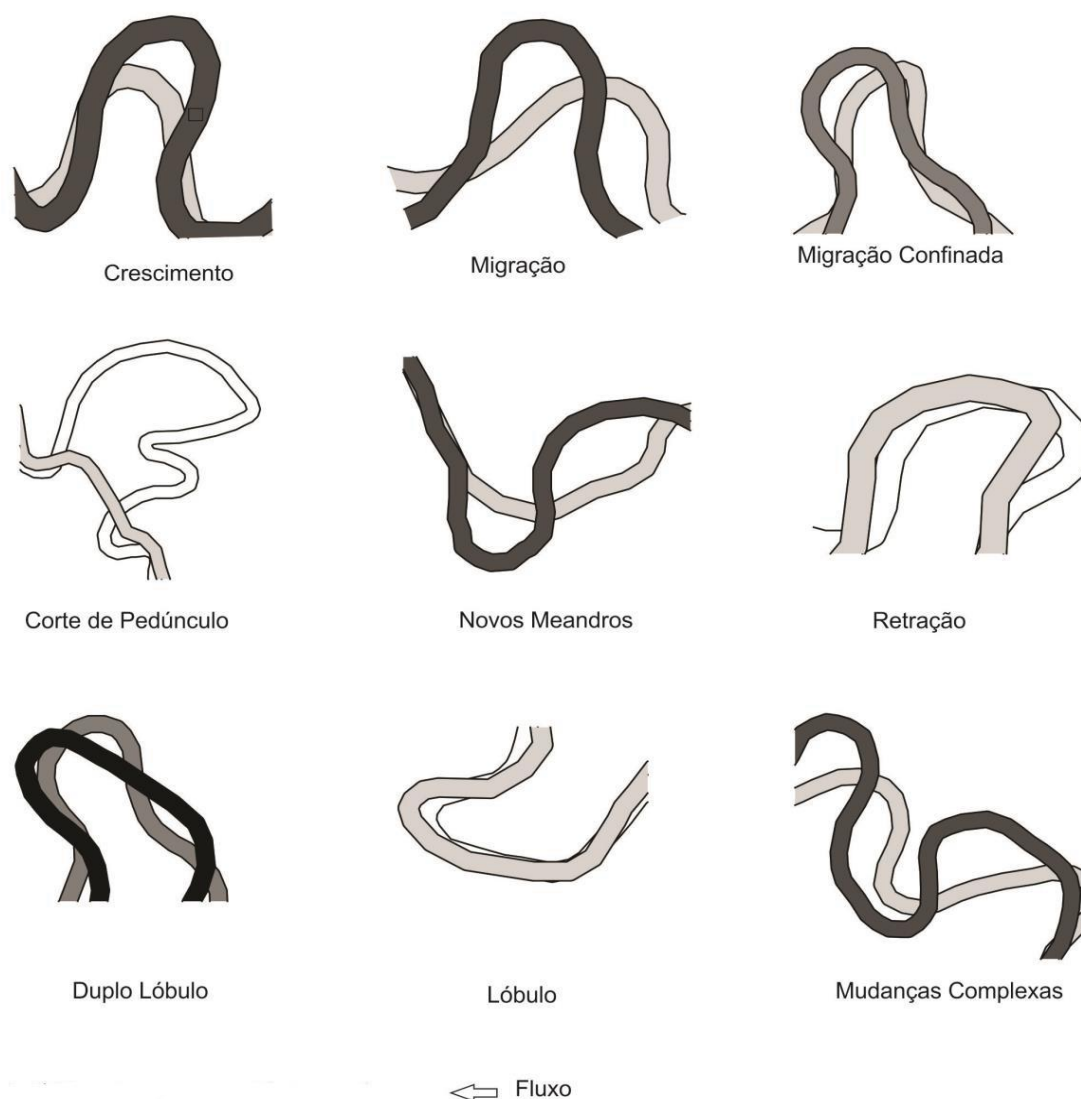


Figura 6 – Mecanismos de mudanças nos meandros encontrados no rio do Peixe de acordo com Hooke & Harvey (1983) e utilizado por Moraes (2015).

Uma coisa a importante a se destacar nesta tese é o fato de que será usado o termo “mudança” ao se referir nas formas do canal fluvial rio ao longo do tempo, pelo detalhe de que o termo “evolução” possa indicar evolução de um padrão de canal para o outro, fato este que não ocorre na área de estudo, em que todo o canal se mantém como meandrante.

Enfim, essas mudanças são processos naturais e contínuos, moldados por uma série de fatores, como a erosão, a deposição de sedimentos, a ação da gravidade, a vegetação e a atividade humana.

Parâmetros Morfométricos

Para os levantamentos morfométricos, foram analisados os parâmetros de comprimento de onda de meandros, amplitude e sinuosidade do canal (Figura 7). Esses dados foram obtidos a partir da análise e vetorização de cartas topográficas do DATAGEO e de imagens do Google Earth Pro, utilizando a ferramenta Time Lapse para os anos de 1986, 1996, 2010 e 2019. A metodologia utilizada para os cálculos seguiu Christofolletti (1981, p. 167). Os valores de morfometria apresentados correspondem à média dos cinco meandros analisados em cada trecho, utilizando a metodologia proposta por Christofolletti (1981).



Figura 7 – Representação em planta dos parâmetros morfométricos realizados na pesquisa.

Análise Multivariada, Cluster e de Componentes Principais

Foram interpoladas 44 variáveis levantadas ao longo de toda a área de estudo dentro do *software Static*, das quais destas 4 são consideradas variáveis dependentes¹ e as outras 40 independentes. Também é importante salientar que estas 44 variáveis foram analisadas de forma espacialmente e temporalmente, divididas nos 4 trechos e 5 períodos amostrais já apresentados ao decorrer da tese. Abaixo, segue a relação das variáveis utilizadas para a estatística multivariada e seus respectivos códigos (tabela 1), a análise multivariada de componentes principais e a análise de cluster realizada.

¹ Variáveis que são amostradas para analisar os efeitos das intervenções das variáveis independentes.

Tabela 2 - Códigos das variáveis físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí

Sinuosidade	V1
Comp onda	V2
Ampli	V3
Decliv	V4
Cult Temp MD	V1D
Past MD	V2D
Mata MD	V3D
Camp MD	V4D
Área Urb MD	V5D
Cult Perm MD	V6D
Água MD	V7D
Silvi MD	V8D
Chuva MD	V9D
Sed MD	V10D
Cult Temp ME	V1E
Past ME	V2E
Mata ME	V3E
Camp ME	V4E
Área Urb ME	V5E
Cult Perm ME	V6E
Água ME	V7E
Silvi ME	V8E
Chuva ME	V9E
Sed ME	V10E

Cult Temp MONT	V1MO
Past MONT	V2MO
Mata MONT	V3MO
Camp MONT	V4MO
Área Urb MONT	V5MO
Cult Perm MONT	V6MO
Água MONT	V7MO
Silvi MONT	V8MO
Chuva MONT	V9MO
Sed MONT	V10MO
Cult Temp Aluv	V1AL
Past Aluv	V2AL
Mata Aluv	V3AL
Camp Aluv	V4AL
Área Urbana Aluv	V5AL
Cult Perm Aluv	V6AL
Água aluv	V7AL
Silv Aluv	V8AL
Chuva Aluv	V9AL
Sed Aluv	V10AL
Sinosidade	V1
Comp onda	V2
Ampli	V3
Decliv	V4

1. CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO: PROCESSOS E DINÂMICAS INFLUENCIADORES DA MORFOLOGIA DO CANAL FLUVIAL

1.1 Fatores Autogênicos – Alterações Morfométricas e Morfológicas

Na análise tipológica de um canal fluvial, é fundamental considerar as causas autogênicas das alterações morfológicas dos meandros, caracterizadas por um limiar intrínseco ao sistema fluvial e relacionadas às modificações na sinuosidade (MORAIS et al., 2016).

As causas autogênicas podem ser descritas como perturbações internas ao sistema fluvial que afetam variáveis morfométricas como comprimento de onda, largura do canal e, principalmente, o raio de curvatura, causando desorganizações no índice de sinuosidade. Zancopé (2008), em seu estudo sobre o Rio Mogi-Guaçu, destaca que o aumento do raio de curvatura eleva o índice de sinuosidade, favorecendo os cortes de pedúnculo. Esses cortes constituem um importante mecanismo de controle da sinuosidade e são fundamentais para a formação de lagos e áreas úmidas em planícies fluviais.

O aumento contínuo do raio de curvatura e do comprimento de onda leva ao aumento do índice de sinuosidade e subsequente abandono de canal por corte de pedúnculo. Ou seja, a expansão contínua faz os meandros adjacentes unirem-se por meio do estrangulamento do pedúnculo (ZANCOPÉ, p.60, 2008).

Mudanças nos componentes e fatores morfométricos levam os meandros a alcançarem seu estágio de desenvolvimento máximo, caracterizado pela intersecção de suas próprias curvaturas através de cortes de pedúnculo, resultando em transformações drásticas na morfologia dos canais meandrantos (LEOPOLD et al., 1964; CHRISTOFOLETTI, 1981; ZANCOPÉ, 2008; MORAIS, 2016).

No entanto, ao estudar canais fluviais, Suizu (2017) destaca que cada trecho de um canal fluvial apresenta singularidades decorrentes da atuação de numerosos controles, sendo a vazão o principal fator determinante da morfologia e do comportamento do rio (Figura 8).

A variação morfológica observada em diferentes trechos de um curso d'água pode intensificar ou diminuir a influência de determinados mecanismos de controle.

Contudo, segundo Knighton (1984), a declividade do trecho é o principal fator que caracteriza e molda um canal fluvial, sendo a variável menos suscetível a mudanças dentro do sistema fluvial.

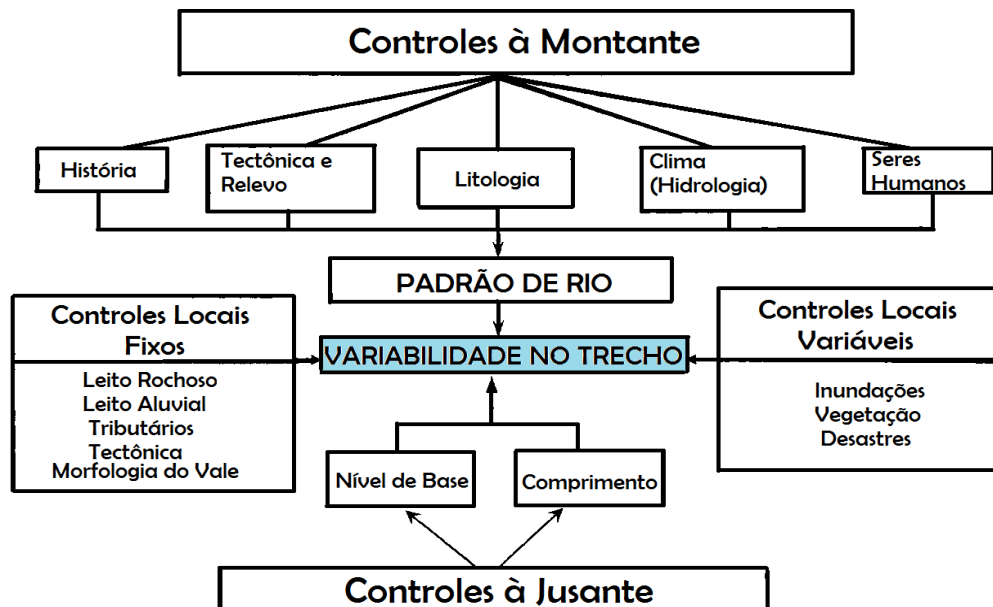


Figura 8 – Variabilidade morfológica no trecho do canal, fruto da atuação de diversos controles.

Fonte: Suizu (2017) adaptado de Piégay e Schumm (2003).

Zilani e Surian (2012) destacam que os canais fluviais são unidades geomorfológicas altamente sensíveis a mudanças drásticas, as quais podem ocorrer em curtos períodos de tempo. Os canais fluviais passam por diferentes fases de ajuste e essas mudanças possuem implicações significativas para a sociedade, como danos a infraestruturas, perda de recursos hídricos e alterações nos ecossistemas. Essas questões são cruciais para o manejo adequado dos rios.

Uma interpretação confiável das mudanças nos canais fluviais exige uma reconstrução detalhada dessas mudanças, a identificação e análise quantitativa dos fatores de controle envolvidos, e a estabelecimento de relações entre as mudanças e esses fatores (ZILANI & SURIAN, p. 104, 2012).

Os canais fluviais são agentes modeladores do relevo, promovendo a constante transformação da paisagem dentro do sistema rio-planície. Essa capacidade de ajuste morfológico demonstra a dinâmica e a complexidade desses sistemas

Desta forma, os canais fluviais têm a competência de modificar radicalmente a morfologia de seu canal em um curto espaço de tempo, com diferentes ajustes que comprometem no entendimento das respostas dos processos dinâmicos, que rebatem nos indicadores de desenvolvimento do canal, como a morfometria e morfologia.

Nesse sentido, o padrão de canal meandrante corrobora a ideia de que os meandros são elementos da paisagem altamente sensíveis a mudanças (HOOKE, 2007). Devido a essa sensibilidade, os meandros, especialmente aqueles que se desenvolvem em planícies aluviais, apresentam variações espaciais e temporais significativas, revelando a dinâmica e a história morfológica do sistema rio-planície.

Leopold e Wolman (1960) definem o padrão de canal meandrante como aquele que se desvia da direção geral do escoamento, formando curvas sinuosas e harmoniosas na paisagem fluvial.

Um exemplo de sistema fluvial caracterizado pela presença de setores com amplos meandros divagantes é o Rio Aguapeí-SP. A elevada frequência de meandros abandonados e arcos meândricos, ao longo de sua vasta planície aluvial, revela a dinamicidade desse sistema e a ocorrência de mudanças cruciais nos regimes de vazão e/ou sedimentos. Entretanto, em razão da ausência de estudos que visem compreender a morfodinâmica desse rio, desconhece-se a escala temporal das referidas mudanças, bem como suas causas e implicações na morfologia do canal (SUIZU, p.7, 2017).

Mudanças nos componentes e fatores morfométricos levam os meandros a alcançarem seu estágio de desenvolvimento máximo, caracterizado pela intersecção de suas próprias curvaturas através de cortes de pedúnculo, resultando em transformações drásticas na morfologia dos canais meandrantos (LEOPOLD et al., 1964; CHRISTOFOLETTI, 1981; ZANCOPÉ, 2008; MORAIS, 2016).

Um método eficaz para analisar as transformações fluviais e sua dinâmica consiste no levantamento de parâmetros morfométricos da calha fluvial. Nesse tipo de análise, a mudança dos meandros é geralmente acompanhada pela coleta de dados numéricos sobre migração, raio de curvatura, aumento e amplitude dos meandros, e estrangulamento, até a ocorrência do corte de pedúnculo. Essa abordagem permite uma observação mais detalhada do desenvolvimento do padrão meandrante.

Além dos parâmetros mencionados, outros como largura do canal, declividade média do trecho e comprimento de onda também são relevantes. No entanto, Zancopé

(2008) destaca o raio de curvatura como a principal variável geométrica do sistema fluvial, pois influencia diretamente o tamanho dos meandros e sua sinuosidade.

O aumento contínuo do raio de curvatura e do comprimento do meandro leva ao aumento do índice de sinuosidade e subsequente abandono de canal por corte de pedúnculo. Ou seja, a expansão contínua faz os meandros adjacentes unirem-se por meio do estrangulamento do pedúnculo (ZANCOPÉ, p. 60, 2008).

Contudo, outros fatores determinantes para que ocorram alterações geométricas no canal fluvial, estão relacionadas com o aumento ou diminuição nas cargas do débito fluvial (volume e velocidade), sendo assim Zancopé (2008) salienta que alterações nas cargas de débito afetam as medidas de raio de curvatura e do tamanho do próprio meandro.

Os estudos analíticos dos meandramentos quase sempre relacionam o débito fluvial (vazão) com as demais propriedades geométricas (razão largura-profundidade, comprimento de onda, amplitude, raio de curvatura, etc.). Como apontaram Cândido (1971) e Cristofolletti e Oliveira (1974, 1975), ao pesquisarem a morfometria dos meandramentos de rios paulistas, o tamanho dos meandros está diretamente relacionado com os débitos fluviais, indicando um comportamento alométrico (ZANCOPÉ, p. 65 e 66, 2008).

A questão da relação entre as alterações morfométricas do canal fluvial e as mudanças no débito fluvial será investigada mais profundamente nesta tese, no contexto das alterações morfológicas e da variabilidade hidrológica. Outro fator crucial na análise de canais meandrantés é a importância de estudos que investiguem as variações espaço-temporais, as quais podem indicar mudanças nas características e traçados do canal (sejam elas alogênicas ou autogênicas), facilitando a identificação de eventos que contribuem para alterações morfométricas e, consequentemente, para mudanças na morfologia do canal.

Ao trabalhar com o levantamento e análise de parâmetros morfométricos e morfológicos em uma perspectiva espaço-temporal, é possível identificar tendências e cenários, estabelecendo correlações entre as variáveis que influenciam a forma do canal. Rios meandrantés em vales aluviais, como o Rio Aguapeí, apresentam alta mobilidade do canal, deixando registros em sua planície, como lagos, paleocanais e

bacias de inundação. O estudo do comportamento e das variações espaço-temporais desses canais é fundamental para compreender os mecanismos que alteram e transformam a morfologia do sistema fluvial.

Segundo Moraes et al. (2016), estudos de variações morfométricas e morfológicas em uma perspectiva espaço-temporal facilitam o reconhecimento de processos recorrentes na migração dos meandros, evidenciando processos relacionados a fatores alogênicos ou autogênicos. Os canais fluviais são elementos geomorfológicos extremamente sensíveis a mudanças no regime hidrológico, exigindo análises e estudos espaço-temporais complexos para compreender a alteração de suas morfologias.

Após destacar a importância dos levantamentos morfométricos e morfológicos e da escala de abordagem para os estudos das transformações fluviais, é fundamental ressaltar que os meandros podem ser caracterizados e distinguidos pela variação de sua forma geométrica em planta.

Os meandros não são homogêneos, apresentando diferentes classificações de acordo com sua mudança e regularidade da sinuosidade. Moraes (2015), seguindo Brice (1974), classifica o fenômeno do meandramento em dois tipos: meandros simples e meandros compostos (Figura 9).

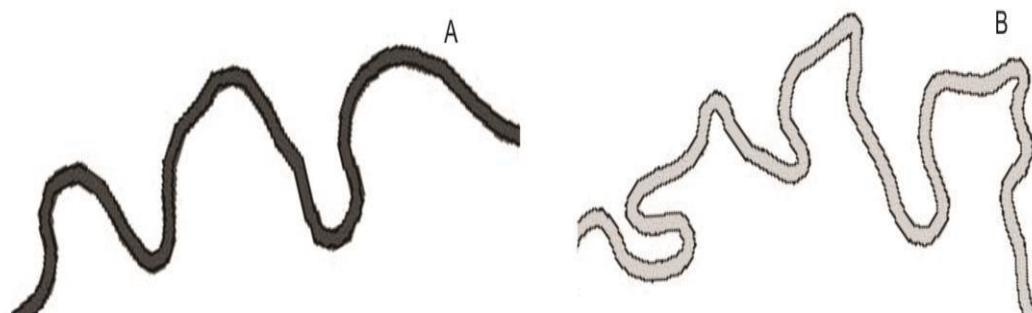


Figura 9 – Exemplos de meandros simples em (A), e de meandros compostos em (B).

Brice (1974) sublinha que os meandros compostos têm comportamentos associados à não linearidade de seus meandros, responsáveis pela manutenção da elevada sinuosidade de um canal. Contudo, através de estudos do autor supracitado, os meandros compostos tendem a se transformar em meandros simples, concebendo uma regularidade em sua sinuosidade.

Schumm (1963), caracterizou de forma qualitativa os tipos de meandramentos ocorridos na natureza, sendo classificados como regulares, irregulares e tortuosos (figura 10).

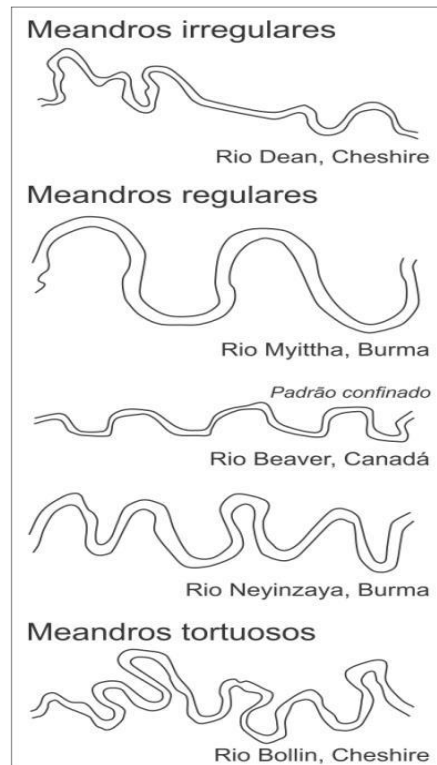


Figura 10 – Os tipos de canais meandramentos, segundo SCHUMM (1963).

Os meandros regulares apresentam uma morfologia similar à classificação de meandro simples de Brice (1974), caracterizada por uma sinuosidade uniforme ao longo do canal. Já os meandros irregulares e tortuosos assemelham-se à classificação de meandros compostos, com uma sinuosidade mais complexa e variável.

Outra classificação importante considera o ambiente em que os meandros se desenvolvem: meandros divagantes, típicos de planícies aluviais, possuem alta mobilidade e escavam suas próprias planícies; enquanto meandros encaixados são confinados pela forma do vale, com maior resistência litológica, limitando sua mobilidade.

Todas essas formas e classificações de meandros servem como base para investigar a mudança da paisagem fluvial através de análises espaço-temporais, independentemente da magnitude do fenômeno do meandramento.

Os canais meandantes, como sistemas altamente dinâmicos (MORAES, 2015), fornecem informações sobre a intensidade dos fatores que controlam a dinâmica fluvial, como atividades neotectônicas e mudanças climáticas. As planícies e terraços fluviais são testemunhos dessas mudanças, registrando a mudança do sistema fluvial ao longo do tempo. Devido à sua complexidade e dinâmica, os canais meandantes exigem estudos detalhados para compreender as alterações em sua morfologia.

Planícies de inundação e terraços tornam-se áreas de relevante interesse para a constatação das mudanças do sistema fluvial e a determinação dos fatores responsáveis pelo retrabalhamento dos depósitos sedimentares (MORAES, p. 18-19, 2015).

Por conseguinte, os meandros devem ser estudados em uma escala de tempo que integre os componentes espaciais do sistema fluvial, para compreender os fatores que controlam e determinam a mudança e o reajustamento desse sistema. A dinâmica dos canais meandantes é responsável por (re)construir formas através da divagação do canal, revelando comportamentos passados.

Nessa perspectiva, a avaliação das formas e dos processos ocorridos na planície aluvial, principalmente o processo de migração lateral, que causa intensa mobilidade do canal, é fundamental para entender a construção da planície e a formação de paleocanais, lagos e bacias de inundação. A migração contínua do canal pela planície aluvial gera uma sucessão de fácies, promovida pela mobilização de sedimentos (ZANCOPÉ, 2009).

É crucial compreender os significados dos aspectos morfológicos da planície aluvial e do fenômeno do meandramento, pois eles registram mudanças históricas no ambiente fluvial. Essa compreensão permite interpretar a mudança espacial da paisagem fluvial ao longo do tempo, demonstrando a íntima ligação entre as planícies fluviais e o estabelecimento dos meandros.

1.2. Comportamento dinâmico do canal fluvial

Para compreender melhor as mudanças nas formas e padrões de um canal meandrante, é fundamental analisar o papel das alterações em componentes

morfométricos específicos. Como já demonstrado nesta pesquisa, os meandros são elementos sensíveis do sistema fluvial, suscetíveis a modificações por fatores internos e externos.

Em resposta a essas alterações, o sistema fluvial meandrante pode apresentar diferentes escalas de tempo e variabilidade, revelando uma complexa história morfológica. Conforme Suizu (2017), diferentes trechos de um rio podem apresentar variabilidades morfológicas significativas, mesmo ao longo de um perfil longitudinal, indicando a existência de diferentes controles para o meandramento. A declividade é um fator determinante na formação do padrão do canal (Figura 11).

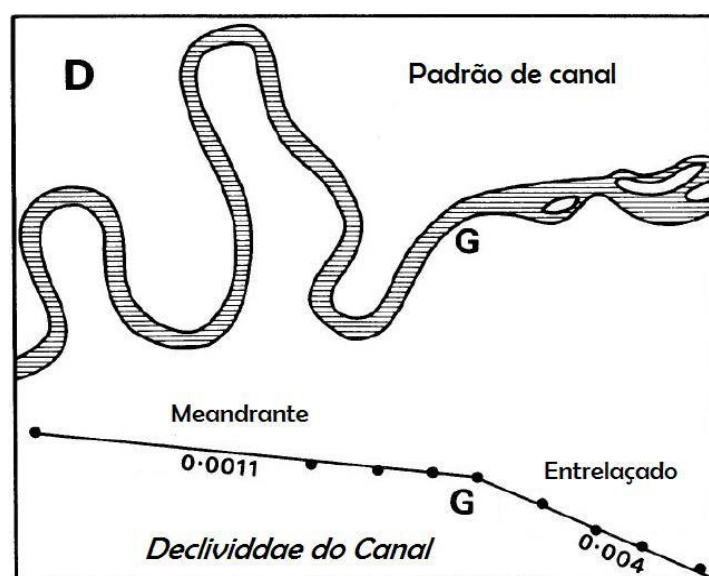


Figura 11 – Representação da mudança morfológico do canal, em detrimento com a declividade.

Entretanto, dentro de um sistema meandrante existem outros fatores que incubem a construção e alteração da morfologia deste sistema, na qual é uma relação estabelecida entre o comprimento de onda, largura e raio de curvatura².

Zancopé (2009) destaca que o aumento do raio de curvatura eleva o índice de sinuosidade, o que pode levar a cortes de pedúnculo e à união de meandros adjacentes. Esse processo contínuo de abandono de meandros, desencadeado pelo aumento do raio de curvatura e da sinuosidade, resulta em um ajuste energético do trecho, moldado pela morfodinâmica do canal.

² Hickin (1974) sugere que, entre as principais propriedades da geometria dos meandros, o raio de curvatura é o que exerce considerável controle sobre o padrão de desenvolvimento dos mesmos.

A relação entre o raio de curvatura (R_c) e a largura do canal (l), expressa pela razão R_c/l (Hickin, 1974, Hickin e Nanson, 1975), permite compreender o estado e o comportamento dos sistemas fluviais, além de avaliar a influência de ações antrópicas. Por sua vez, o comprimento de onda, segundo Christofolletti (1981), está relacionado ao débito fluvial. A análise conjunta da razão R_c/l e do comprimento de onda permite estabelecer uma relação entre a sinuosidade do canal e a vazão.

A respeito de grande parte da interpretação da morfologia e das mudanças morfológicas na geomorfologia fluvial está a teoria do equilíbrio e do ajuste. Assume-se que a forma do canal, medida por variáveis como comprimento de onda do meandro, largura do canal, é ajustada à descarga e carga de sedimento que lhe é transportada (HOOKE, 2007, p.237, tradução nossa³).

Hooke (2007) destaca a complexidade e o alto dinamismo dos sistemas meandantes, enfatizando a necessidade de compreender os fatores que influenciam os processos fluviais, tanto em estudos acadêmicos quanto aplicados.

Como mencionado, alterações no comprimento de onda, largura e raio de curvatura podem ser atribuídas a mudanças climáticas e antrópicas, como a alteração do uso da terra, que modificam os regimes hidrossedimentológicos e, conseqüentemente, os parâmetros morfométricos do canal.

No entanto, cortes de meandros também podem ocorrer naturalmente, sem interferências externas. Diversos estudos demonstram que os meandros apresentam um comportamento caótico, caracterizado pela não linearidade e crescente complexidade (HOOKE, 2007).

Segundo Stolum (1998), a dinâmica dos meandros envolve interações não lineares entre o fluxo do rio, o que pode levar à formação de "curto-circuitos" e ao corte de pedúnculo, originando os "oxbows"

³ Underlying much of the interpretation of morphology and morphological changes in fluvial geomorphology is the theory of equilibrium and adjustment. It is assumed that channel form, as measured by variables such as meander wavelength, channel width, is adjusted to the discharge and sediment load delivered to it

Seguindo nesta linha, Stolum⁴ salienta que um rio tem a capacidade de se auto organizar, da maneira que o sistema naturalmente evolui para um estado crítico sem especificação detalhada das condições iniciais, ou a interferência de fatores externos.

Por fim, existe uma complexidade ao analisar o sistema fluvial e suas variáveis, do modo que seja possível explicar ou identificar os fatores que podem controlar ou exercer influência a respeito do comportamento do fenômeno do meandramento e de seu ajuste.

1.3. Fatores Alogênicos: Variabilidade Hidrológica

Os canais fluviais se apresentam, no meio natural, como elementos geomorfológicos, extraordinariamente sensíveis a mudanças no regime hidrológico do ambiente em que está inserido, sendo necessário buscar respostas para a compreensão da alteração de suas morfologias em análises e estudos espaço-temporais que exigem um certo nível de perícia e complexidade para o entendimento dos ajustes de suas formas.

Exemplos de mudanças na morfologia dos canais foram estudados por diversos pesquisadores brasileiros, entre eles estão: Souza (2004), Silva, Souza Filho e Cunha (2008), Grizio e Souza Filho (2010), Souza et al. (2012), Andrade, Leandro e Souza (2013), Bühler (2011), Souza e Cunha (2013), Leandro, Souza e Nascimento (2014), Silva et al. (2013) no rio Paraguai; Bayer e Zancopé (2014), Carvalho (2009) e Moraes, Aquino e Latrubesse (2008), no rio Araguaia; Lana e Castro (2008), no rio das Velhas (MG); Kuerten, Santos e Silva (2009), no rio Ivaí.

Sendo assim, Kingston et al. (2006) enfatiza que compreender as mudanças e as variações hidrológicas de um canal fluvial, principalmente dentro de uma bacia hidrográfica tem total relevância científica. De modo prático, os levantamentos e análises hidrológicas conseguem aprimorar as pesquisas dentro do âmbito fluvial.

Isto é, ao se fazer análises hidrológicas relacionadas ao sistema fluvial e propriamente ao canal fluvial, pode ser possível interligar mudanças na morfologia de um determinado curso d'água, através de processos influenciados por questões climáticas dentro de análises espaço-temporais.

⁴ Op. Cit.

Gilvear et al. (2000) enfatizam a sensibilidade dos rios sinuosos a mudanças no regime hidrológico, tanto em curto quanto em médio prazo, além dos efeitos das mudanças no uso da terra.

Assim, é crucial determinar como as variações hidrológicas influenciam os processos morfológicos de um canal fluvial meandrante ao longo do tempo, considerando as respostas geomorfológicas e hidrológicas da bacia hidrográfica.

Kochel (1988) apresenta os principais fatores que influenciam a resposta geomorfológica do canal às variações hidrológicas (Figura 12), dividindo-os em fatores da bacia hidrográfica e fatores do canal.

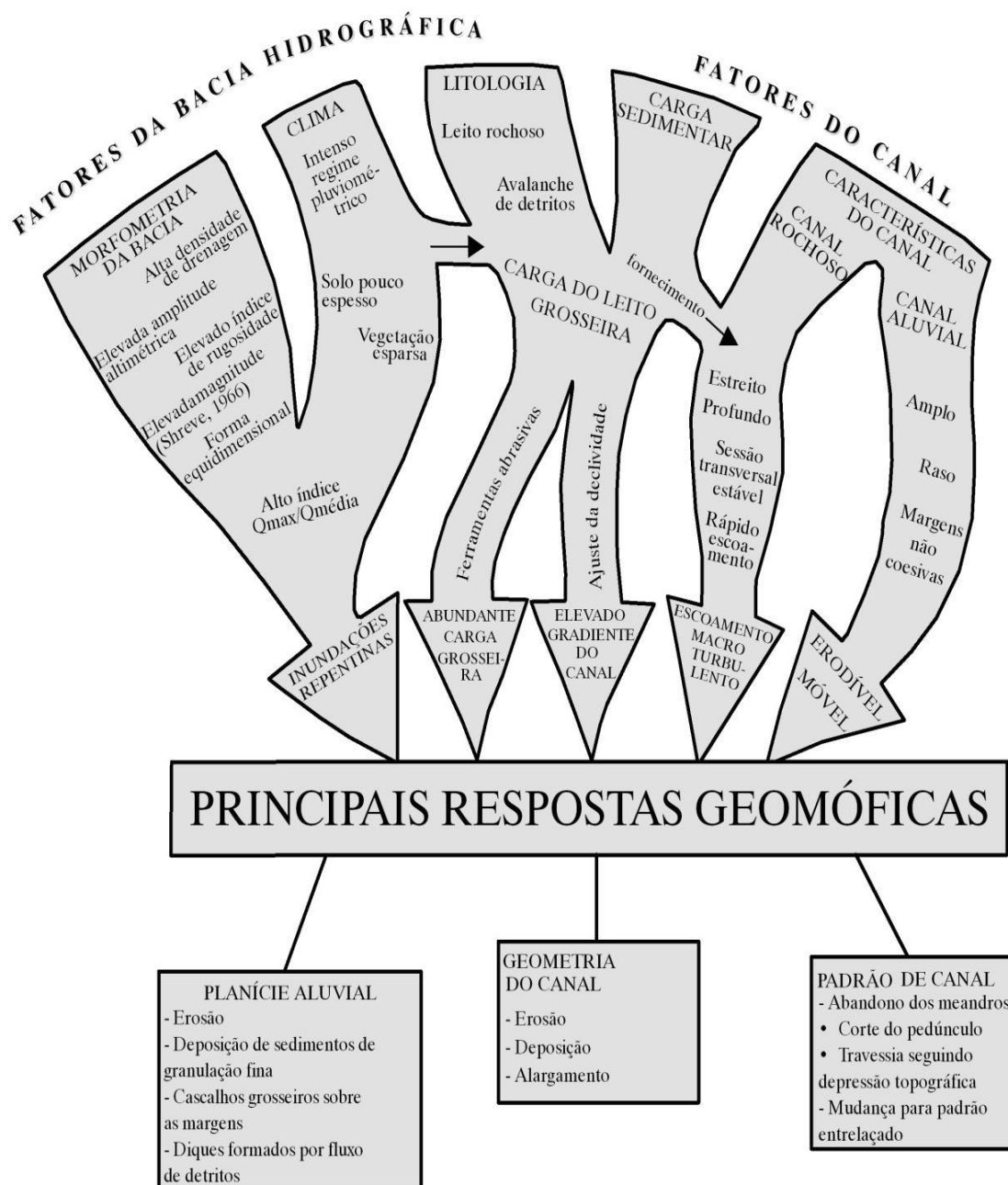


Figura 12 – Esquema dos principais fatores de controle da resposta do canal e da planície de inundação a grandes enchentes.

Fonte: Kochel (1998).

Suizu (2017), ao adaptar as concepções de Hooke e Redmond (1992) para estudar amplos meandros divagantes do Rio Aguapeí, identificou duas categorias de causas para o meandramento: alogênicas e autogênicas, conforme proposto por Lewin e Brindle (1977).

Os fatores alogênicos, como a variabilidade hidrológica e as atividades humanas, influenciam em escala de bacia hidrográfica, afetando o regime hidrossedimentológico. Suizu (2017) alerta para a importância de considerar a sensibilidade das vazões às mudanças climáticas em escalas globais.

O levantamento de padrões hidrológicos e eventos extremos é fundamental para compreender os mecanismos que controlam a vazão e a resposta geomorfológica do canal fluvial, conforme destacado por Chorley et al. (1985) e Nanson & Croke (1992).

Estudos hidrológicos demonstram a sensibilidade dos canais fluviais às variações na entrada de água, que influenciam a morfodinâmica do sistema fluvial ao alterar o aporte de água e sedimentos. No entanto, a disponibilidade de dados hidrológicos, especialmente em países periféricos, pode limitar esses estudos, como aponta Labat (2007).

Os períodos hidrológicos influenciam o regime de fluxo dos canais fluviais, exigindo ajustes morfológicos contínuos. As mudanças morfológicas podem ser impulsionadas por fatores hidrológicos atmosféricos, evidenciando a forte ligação entre o sistema fluvial e as anomalias climáticas em grandes escalas.

A hidrologia e a sedimentologia atuam como forças que moldam a morfologia do canal, permitindo estabelecer relações entre variações hidrológicas, fluxo do rio e alterações morfológicas. Kingston et al. (2007) destacam que, embora a influência do clima no fluxo dos rios seja reconhecida, as análises frequentemente se limitam à escala da bacia de drenagem.

Maior atenção tem sido dada às ligações hidroclimatológicas de grande escala na última década, e uma abordagem mais integrada foi adotada para examinar a variabilidade hidrológica e climatológica dentro de uma estrutura espaço-temporal das interações oceano-atmosfera-terra (ou seja, o sistema hidroclimatológico). Vários estudos recentes têm buscado quantificar a variação e as inter-relações entre os processos atmosféricos e a vazão dos rios (KINGSTON et al, p. 367, 2007, tradução nossa).⁵

⁵ Increased attention has been given to largescale hydroclimatological linkages within the last decade, and a more integrated approach adopted to examine hydrological and climatological variability within a spatiotemporal framework of ocean–atmosphere– land surface interactions (i.e., the hydroclimatological system). Several recent studies have sought to quantify variation and interrelationships between atmospheric processes and river flow

Além de quantificar as variações entre os processos hidrológicos e sedimentológicos, torna-se necessário o entendimento dos processos de resposta morfológica do canal fluvial no espaço e no tempo e como estão conectados.

1.4. Fatores Alogênicos: Uso e cobertura da terra

Hannah et al. (2006) destacam a necessidade urgente de quantificar as mudanças e variabilidades temporais (interanuais) da relação hidroclimatológica (fluxo dos rios e clima) e seus impactos antrópicos.

Rocha e Hooke (2014) corroboram essa ideia, sublinhando a importância das condições climáticas e do uso da terra para compreender os processos hidrológicos e o regime fluvial, que influenciam diretamente a mudança morfológica do canal. O desmatamento, por exemplo, intensifica a erosão nas vertentes, alterando o regime hidrológico e aumentando o aporte de água e sedimentos aos canais fluviais.

A relação entre fluxo do rio, sistemas atmosféricos e alterações na paisagem é complexa, mas evidente. Mudanças na cobertura vegetal, como o desmatamento, podem afetar a dinâmica do escoamento superficial e, conseqüentemente, a morfologia do canal fluvial. A ação antrópica, considerada um fator alogênico, influencia significativamente a dinâmica fluvial, conforme destacado por Hooke e Redmond (1992).

Schöngart e Junk (2007) apresentam um caso na bacia do Tocantins, onde o aumento da vazão está associado à expansão da agricultura, sem que haja evidências de mudanças climáticas significativas.

Brooks et al. (1991) complementam essa discussão, destacando que a alteração da cobertura vegetal pode aumentar a magnitude das vazões de pico e a taxa de sedimentação, modificando a morfologia do canal.

A alteração no uso da terra, seja pela mudança no tipo de vegetação ou pela redução da cobertura vegetal, intensifica a erosão e o transporte de sedimentos, afetando os processos de vazão e sedimentação e, conseqüentemente, a mudança do sistema fluvial.

Araújo (2011) relaciona altas taxas de sedimentação com alterações no regime hidrológico e mudanças no uso da terra. Esses processos podem induzir a migração

lateral do canal fluvial, alterando as taxas de erosão, transporte e deposição de sedimentos.

Além disso, o aumento da produção de sedimentos, fruto da erosão dos solos, define mudanças morfológicas no rio. A carga sedimentar excedente gera o abandono dos meandros a fim de ampliar a capacidade do canal, já que a sinuosidade excessiva tende a reduzir o gradiente e, nestas condições, a vazão não é capaz de transportar a nova demanda de sedimentos. Ademais, o próprio aumento na sedimentação promove o alargamento do canal (SUIZU, p. 85, 2017).

A autora citada anteriormente ressalta a complexidade de analisar os efeitos das mudanças no uso e ocupação da terra sobre o escoamento e a produção de sedimentos ao longo do canal fluvial, uma vez que essas mudanças ocorrem de forma não sincronizada e contínua na bacia hidrográfica. Consequentemente, os impactos podem variar ao longo da bacia, tanto em termos de magnitude quanto de tempo de resposta.

Indícios de altas taxas de aporte de sedimentos estão frequentemente associados a alterações no regime hidrológico, as quais, por sua vez, podem estar relacionadas a mudanças no uso da terra na bacia hidrográfica. Essas alterações modificam a dinâmica dos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos, resultando em mudanças morfológicas no sistema fluvial ao longo do tempo.

Em canais de leito móvel, eventos de alta magnitude, como grandes cheias, exercem grande influência na morfologia do canal, no posicionamento do talvegue e nas áreas de erosão e deposição, como observado no rio Paraná (Fernandez & Souza Filho, 1995; Souza Filho & Stevaux, 1997; Souza Filho et al., 2001; Santos et al., 2001; Rocha et al., 2001).

Knox (2001) destaca que a agricultura e outras atividades que alteram o uso da terra aceleram o escoamento superficial e a erosão do solo. No entanto, quantificar a influência das atividades humanas sobre a paisagem é desafiador, pois seus efeitos podem ser confundidos com processos naturais. Análises espaço-temporais são essenciais para identificar os fatores que influenciam a dinâmica e a morfologia dos canais fluviais.

A falta de séries históricas completas e contínuas de dados sobre uso da terra e condições hidrológicas limita a análise de longo prazo e a identificação de tendências.

Essa lacuna dificulta a compreensão da mudança dos sistemas fluviais e a avaliação dos impactos das atividades humanas.

As fotografias aéreas, no entanto, estão disponíveis há cerca de 70 anos, mas não há registros na literatura de fotografias aéreas de um longo trecho de rio em intervalos freqüentes. As imagens de satélite permitem exatamente isso, mas estão disponíveis há não mais de duas décadas, e rios grandes o suficiente para serem visíveis em imagens de satélite evoluem muito lentamente para revelar suas propriedades dinâmicas ao longo desse período. (STOLUM, 1998, p. 1496). (STOLUM, 1998, p. 1496, tradução nossa⁶).

Ferramentas e instrumentos cartográficos e de geoprocessamento como cartas topográficas, fotografia aérea e imagens de satélite são cruciais para os levantamentos e análises e o entendimento das dinâmicas naturais, da maneira que possam propiciar uma visão mais abrangente dos sistemas físicos dentro de um estudo integrado.

Em linhas gerais, existe uma cadeia de causalidade entre a variabilidade hidrológica, uso da terra e o fluxo do rio que acarretam em mudanças sistêmicas no canal fluvial. O aumento ou diminuição do aporte hidrossedimentológico rebate diretamente na morfologia do rio (ROCHA e TOMASELLI, 2012).

1.5. Análise multivariada e de componentes principais

Como já explicitado anteriormente, existem diversos fatores controle que alteram e influenciam nos aspectos mencionados na figura 8, na qual fazem parte de um sistema, do modo que uma análise em conjunto com uma metodologia integradora se faz necessária para avaliar os processos e dinâmicas do sistema fluvial.

Análises e metodologias integradoras da paisagem tem sido utilizada baseadas em conceitos sistêmicos; podem ser citadas a análise geossistêmica de Bertrand (1971), a análise ecodinâmica de Tricart (1977), todas com a abordagem sistêmica, assim como mais recentemente o uso dos conceitos de conectividade hidrológica, sedimentológica, geomorfológica e ecológica na abordagem em bacias de drenagem e no canal fluvial (ROCHA, 2015).

⁶ Aerial photographs, however, have been available for about 70 years, but there are no records in the literature of air photographs surveying a long river reach at frequent intervals. Satellite images allow just that, but have been available for no more than two decades, and rivers large enough to be visible on satellite images evolve too slowly to reveal their dynamical properties over this time span.

Outro tipo análise ou metodologia integrada associada à análise e quantificação de dados pode ser citada, como o uso de estatística multivariada, que asseguram a análise de um conjunto de variáveis que influenciam o exercem alterações ocasionadas, favorecendo a interpretação de um sistema dinâmicos e complexos, através do agrupamento de dados multivariados a partir de matrizes de correlações (ROCHA et al., 2010; FERNANDES et al., 2018).

O uso de procedimentos estatísticos de análise multivariada de agrupamento e componentes principais, é salientado por Curi (1982) como análises que permitem verificar as importâncias das variáveis dentro de uma bacia hidrográfica para a constituição de agrupamentos, possibilitando correlações. Assim Garcia et al. (1986), utilizaram das metodologias citadas neste parágrafo, ao analisarem informações extraídas de imagens *LandSat* do município de Avaré – SP, concluíram que a metodologia proposta é confiável e apresenta bons resultados, sugerindo que sejam aplicados em outros trabalhos⁷.

Barros (1998) ao trabalhar com as concepções de Sneath e Sokal (1973), reforça que análises de agrupamentos pode ser certamente complementada com outras técnicas geoestatísticas e de análises multivariadas como por exemplo a Análise de Componentes Principais (ACP)⁸, cujo o objetivo é tentar explicar a estrutura da variância e covariância das variáveis envolvidas, sendo construída em processo matemáticos um conjunto de combinações lineares⁹ das variáveis originais, preservando a maior parte da informação fornecidas pelas variáveis originais.

A análise de agrupamentos, não pressupõe a existência, em princípio, de grupos de unidades semelhantes. Os diversos processos desta ampla metodologia objetivam trabalhar com um conjunto de unidades caracterizadas por diversas variáveis e separa-las em agrupamentos de unidades que, se existirem, serão caracterizados pela homogeneidade, entre os elementos dentro do agrupamento e pela heterogeneidade entre elementos de diferentes agrupamentos (CURI, 1983, p.73)

⁷ Outro exemplo é mostrado por Vieira (1978), quando este pesquisador utilizou análises de agrupamentos para um estudo morfológico de voçorocas, na qual o mesmo considerou como uma forma conveniente de análise.

⁸ Advinda do termo em inglês PCA - *Principal Component Analysis*

⁹ Segundo Landim (1983), combinações e correlações lineares retratam a estimação do comportamento de uma variável em relação a outra.

Além disso, Curi¹⁰ ressalta que a Análise de Componentes Principais permite verificar a importância de cada variável original para a discriminação da bacia hidrográfica, ou seja, a constituição de agrupamentos.

Para Landim (1998), a geoestatística encontra-se consagrada como um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes a variáveis regionalizadas, as quais têm um comportamento espacial mostrando características intermediárias entre variáveis verdadeiramente casuais e totalmente determinísticas.

A geoestatística se preocupa, portanto, com estimação da variação regionalizada em uma, duas ou três dimensões e, para se obterem resultados práticos, a função da probabilidade que governa a ocorrência de uma variável regionalizada precisa ser conhecida parcialmente (LANDIM, 1998, p. 34).

Com isto, os estudos pautados em análises e metodologias integradoras visam complementar e estabelecer padrões de comportamento de elementos da paisagem com base na escolha e combinação de fatores ambientais para a análise integrada, de maneira que possa ser compilada uma matriz de interação e correlação dos fatores da paisagem, em que em um último momento, uma análise integradora possibilite o entendimento das relações e sinergias do sistema.

¹⁰ Op. Cit.

2. CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AGUAPEÍ

2.1. Meio Físico

O estudo aqui apresentado concentrou-se no baixo curso do Rio Aguapeí, abrangendo toda a sua planície aluvial (Figura 13). No entanto, para uma compreensão mais completa dos processos em jogo, foram realizados levantamentos em toda a bacia hidrográfica do Rio Aguapeí, conforme ilustrado na Figura 13 da introdução.

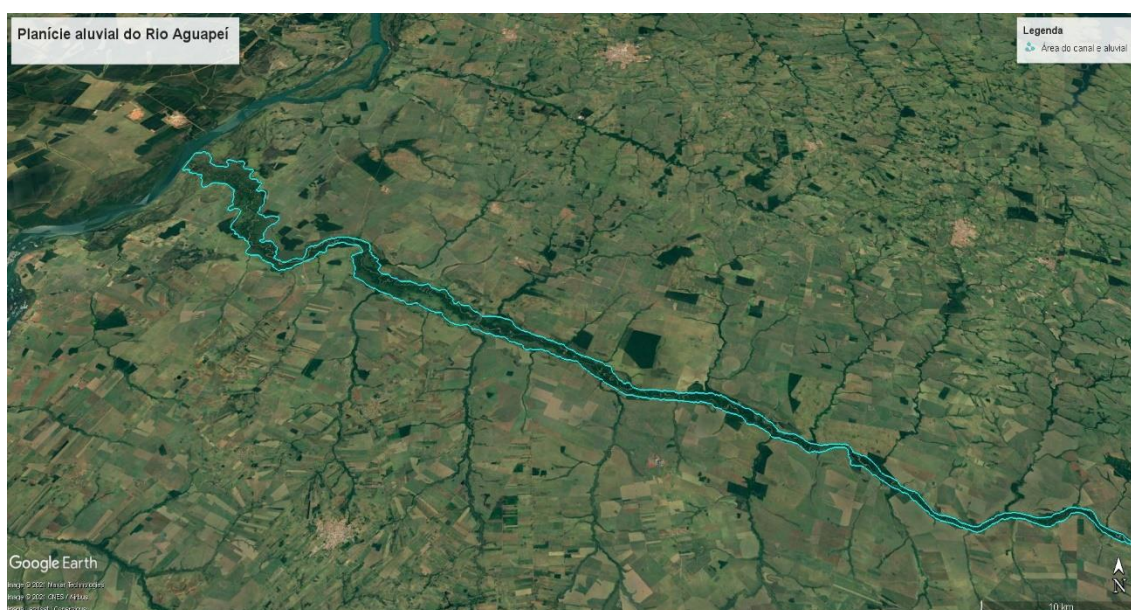


Figura 13 – Planície aluvial do Rio Aguapeí em planta.

A respeito das problemáticas gerais da bacia hidrográfica do Rio Aguapeí, segundo o Relatório Zero do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (1997), o assoreamento é um dos mais graves impactos da erosão sobre os recursos hídricos, causando enchentes, reduzindo a capacidade de armazenamento de água em reservatórios, aumentando a concentração de poluentes químicos e prejudicando o abastecimento e a produção de energia elétrica.

O Rio Aguapeí, foco central desta pesquisa, é um rio consequente, alinhado à direção do mergulho das camadas geológico-geomorfológicas. Seu curso apresenta trechos encaixados e erosivos em seu alto curso, contrastando com um padrão meandrante nos trechos aluviais, especialmente no baixo curso.

2.1.1 Geologia

A respeito do embasamento rochoso (figura 14), na área de estudos ocorrem rochas mesozóicas da Bacia do Paraná, representadas pelo Grupo São Bento e Grupo Bauru, recoberto por depósitos cenozóicos.

A Bacia do Paraná, é uma vasta bacia intracratônica sul-americana, que abrange uma área de cerca de 1.400.000 km² estendendo-se pelo Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina (ZALÁN *et al.* 1990). Desenvolvida completamente sobre crosta continental, e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, abriga um registro estratigráfico temporalmente posicionado entre o Neo-Ordoviciano e o Neocretáceo (ZÁLAN *et al.* 1990, MILANI & RAMOS 1998).

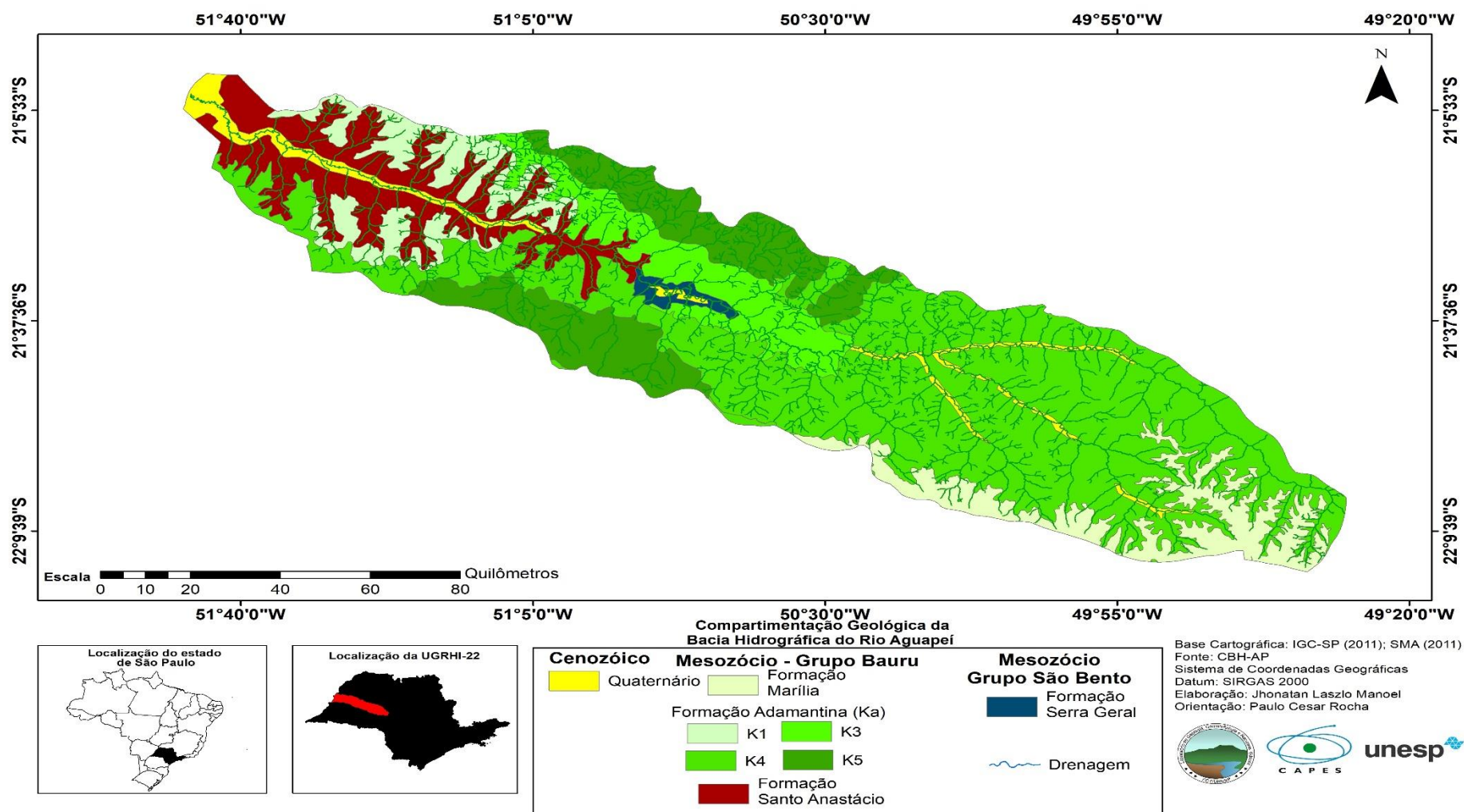


Figura 134 – Geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí

Depósitos Cenozóicos (Qa)

Suares (1976, 1991) descreveu depósitos cenozóicos areno-argilosos e avermelhados, levemente compactados, apresentando “estruturas de dissipação”, com freqüentes linhas-de-pedra de provável origem fluvial, e concreções ferruginosas, onde na área de estudo se encontram de sedimento aluvionares com as seguintes características:

Qa: Sedimentos aluvionares – Aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argila e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraços.

Grupo Bauru

O Grupo Bauru, pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná, é de idade mesozóica, engloba quatro formações geológicas (Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília) e aflora em grande parte da região centro-oeste do Estado de São Paulo, abrangendo uma área de 102.000 km², o que corresponde a aproximadamente 40% da área total do Estado. Mendonça & Gutierre (2000) fizeram uma caracterização das formações geológicas correspondentes ao Grupo Bauru para averiguar o potencial hidrológico do mesmo.

Formação Santo Anastácio (Ksa)

Mendonça & Gutierre (2000) caracterização desta formação com ocorrência de arenitos marrom-avermelhados a arroxeados, de granulação fina a média, seleção geralmente regular a ruim, com grãos arredondados a sub-arredondados, cobertos por película limonítica. Mineralógicamente constituem-se essencialmente de quartzo, ocorrendo subordinadamente feldspatos, calcedônia e opacos. Caráter subarcosiano é freqüente. Localmente ocorrem cimento e nódulos carbonáticos preservados, sendo comum orifícios atribuídos à dissolução destes nódulos. As estruturas sedimentares são muito pouco pronunciadas. Predominam bancos maciços com espessuras métricas e decimétricas, ocorrendo também incipiente estratificação plano-paralela ou cruzada. A Formação Santo Anastácio ocorre em áreas que acompanham as cotas mais baixas dos

vales dos rios afluentes do Paraná, no Oeste do Estado. A espessura máxima varia de 80 a 100m

Ksa: Arenitos muito finos a médios, mal selecionados, subordinadamente de caráter arcossiano, geralmente maciços, apresentando localmente cimento e nódulos carbonáticos, cruzada tangencial e esparsos níveis vitrofiricos não individualizados.

Formação Adamantina (Ka)

Mendonça & Gutierre (2000) a caracterização a Formação Adamantina por um conjunto de fácies cuja principal característica é a presença de bancos de arenitos de granulação de fina a muito fina, cor de róseo a castanho, portando estratificação cruzada, com espessuras variando entre 2 a 20 metros, alternados com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho-avermelhado a cinza-castanho, maciços ou com acamamento plano-paralelo grosseiro, frequentemente com marcas de onda a micro-estratificação cruzada (SOARES et al, 1980). São comuns a ocorrência de eixos de argilito da própria unidade, cimento e nódulos carbonáticos. O contato inferior da Formação Adamantina normalmente se dá com a Formação Santo Anastácio, ou diretamente com o embasamento basáltico. Ocorre por vasta extensão do oeste do Estado de São Paulo, constituindo os terrenos da maior parte do Planalto Ocidental, só deixando de aparecer nas porções mais rebaixadas dos vales dos principais rios, onde já foi removida pela erosão. A espessura desta formação chega a atingir 190m.

A Formação Adamantina é proposta ainda uma subdivisão em cinco unidades de mapeamento, designadas como: Ka₁, Ka₂, Ka₃, Ka₄, Ka₅.

Ka1: Arenitos Finos e muito finos, siltitos arenosos, arenitos argilosos, subordinadamente arenitos com granulometria média, quartzosos, localmente arcoseanos.

Ka2: Arenitos muito finos, quartzosos, bem selecionados e siltitos. Frequentes intercalações lenticulares de argilitos e arenitos com cimentação carbonítica.

Ka3: Arenitos muito finos, quartzosos, bem selecionados, siltitos e argilitos siltosos. Ocorre cimentação carbonática e, localmente, presença de nódulos e pelotas de argila nos arenitos.

Ka4: Arenitos muito finos, quartzosos, com freqüentes intercalações de argilitos e siltitos, formando bancos espessos, localmente, arenitos com pelotas de argila. Presença moderada de cimentação carbonítica.

Ka5: Arenitos finos a muito finos, quartzosos, com freqüentes intercalações de argilitos e siltitos, formando bancos pouco espessos, localmente, arenitos com pelotas de argila. Freqüente presença de cimentação carbonítica e mais localmente de nódulos.

Formação Marília (Km)

Por fim, Mendonça & Gutierre (2000) caracterizam a Formação Marília constituída por arenitos grosseiros a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matiz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis; ocorre em bancos com espessura média entre 1 e 2 metros, maciços ou com acabamento incipiente, subparalelo e descontínuo, raramente apresentando estratificação cruzada de médio porte, com seixos concentrados nos estratos cruzados, raras camadas descontínuas de lamitos vermelhos e calcários são encontrados (SOARES et al, 1980). São ainda características da unidade os nódulos carbonáticos, que aparecem dispersos nos sedimentos, ou concentrados em níveis ou zonas. Cimento carbonático também é muito freqüente. A Formação Marília ocorre na porção centro sul do Estado, entre os médios vales dos rios Tietê e Paranapanema e sua espessura máxima atinge 180m.

Km: Arenitos de granulação fina a grossa, compreendendo bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte, incluindo lentes e intercalações subordinadas de siltitos, argilitos e arenitos muito finos com estratificações plano-paralela e freqüentes níveis rudacenos. Presença comum de nódulos carbonáticos.

Grupo São Bento

De acordo com o Relatório Zero (1997) das bacias hidrográficas do Aguapeí e Peixei, White (1908) reuniu um conjunto de arenitos predominantemente vermelhos encimados pelas “Eruptivas da Serra Geral”. A parte do pacote arenítico, o mesmo autor denominou São Bento, e as camadas vermelhas, De Rio do Rasto.

Posteriormente todo pacote foi denominado de Grupo São Bento, constituído pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral (IPT, 1981a).

No Pontal do Paranapanema, as Formações Pirambóia e Botucatu ocorrem apenas sub-superficialmente, entretanto apresentam grande importância, por constituir, notadamente a formação, aquífero confinado de excelente potencial de exploração (RELATÓRIO ZERO, 1997).

Formação Serra Geral (JKsg)

Segundo a caracterização descrita pelo Relatório Zero (1997) das bacias do Rios Aguapeí e Peixe, as eruptivas da Serra Geral segundo (White 1908), compreendem um conjunto de derrames de basalto toleíticos entre os quais se intercalam arenitos com as mesmas características dos pertencentes à Formação Botucatu. Associam-se lhes corpos intrusivos de mesma composição, constituindo sobretudo diques.

De acordo com estudo do IPT (IPT 1981^a), os derrames afloram em São Paulo na parte superior das escarpas das cuevas basálticas e de morros testemunhos delas isolados pelas erosões. Nos Planaltos de rebordo dessas cuevas podem cobrir grandes extensões, como no nordeste do Estado. Penetram pelos vales que drenam o Planalto Ocidental, expondo-se principalmente nos dos rios Paranapanema, Tietê, Moji-Guaçu e Grande.

Na Bacia do Aguapeí e Peixe, a Formação Serra Geral ocorre restrita a calha do Rio Aguapei no município de Santópolis do Aguapeí.

A máxima espessura da formação, conhecida na sondagem de Presidente Epitácio, próximo à margem do Rio Paraná, na região central e mais subsidente da bacia, é de 1529 metros. As espessuras expostas em São Paulo, nas serras basálticas e bordas do Planalto Ocidental Paulista, possivelmente não alcançam um terço desse valor, mas não há elementos seguros para estimá-la.

JKsg: Rochas Vulcânicas toleíticas em derrames basálticos de coloração cinza a negra, textura afanática, com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos a médios, de estratificação.

2.1.2 Clima

A região do extremo sudoeste do Estado de São Paulo na qual está localizada a bacia do rio e Aguapeí caracteriza-se, segundo Nimer (1977), por um clima tropical quente e úmido (com chuvas de verão), e com 1 ou 2 meses de estação seca (inverno). Próximo do rio Paraná a umidade relativa do ar é maior.

Com uma precipitação média anual de aproximadamente 1.250mm, e com uma temperatura média anual superior a de 21°C, em que o mês de janeiro é caracterizado como o mês mais chuvoso, com uma média de 200mm e, sendo o mais seco o de julho, com aproximadamente 25mm.

Monteiro (1973), salienta que toda esta região, está situada em uma zona de transição climática onde a circulação atmosférica é controlada pela dinâmica das massas tropicais, setentrionais e meridionais. O autor citado anteriormente destaca que a frente polar atlântica é a principal responsável pela produção da maior quantidade de precipitações na região, as massas tropicais setentrionais responsáveis pelas instabilidades.



Figura 15 – Trajetos preferenciais das massas de ar que atingem o Oeste Paulista.
Fonte: Boin (2000).

2.1.3. Geomorfologia

Já no que diz a respeito à geomorfologia da bacia do Rio Aguapeí (figura 16), grande parte de sua área é coberta por relevo colinoso, constituído principalmente por colinas amplas e médias, ocupando praticamente 90 % da bacia hidrográfica. Contudo, no total existem 4 unidades de sistemas de relevo e as suas principais características serem descritos abaixo conforme são caracterizadas segundo o IPT (1986).

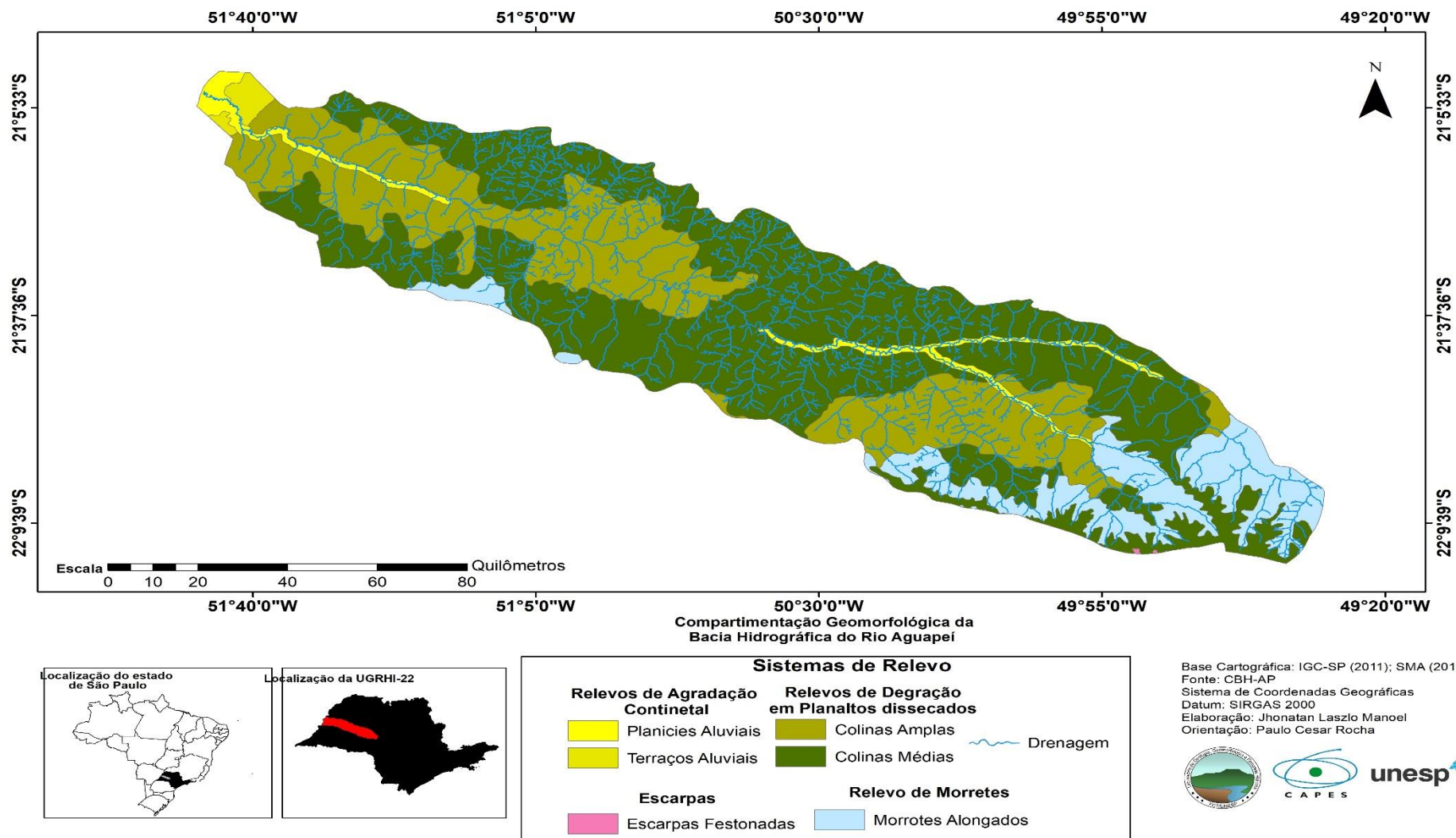


Figura 146 – Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí

Relevo de degradação, em planaltos dissecados – Relevo Colinoso

Relevos de degradação se caracterizam por sofrerem a ação dos processos erosivos e de intemperismo, sendo descritos como relevos colinosos, tabulares e serras, localizados em altitudes mais elevadas que as demais unidades geomorfológicas.

Na bacia hidrográfica do Rio Aguapeí boa parte de sua área é constituída por colinas amplas e médias descritas abaixo.

Colinas Amplas – predominam interflúvios com áreas superiores a 4 quilômetros, topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos e convexas. Drenagem de média baixa densidade, com padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagos perenes ou intermitentes.

Colinas Médias – predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 quilômetros, topos aplainados, vertentes com perfis convexas e retilíneos. Drenagem de média e baixa densidade, padrão subretangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritos, presença eventual de lagos perenes ou intermitentes.

Relevo de agradação – Continental

Os relevos de agradação ou de acumulação são caracterizados por várzeas atuais, e planícies, formadas por terrenos baixos e planos, junto às calhas dos rios e sujeitos a inundações periódicas (CARVALHO et al. 1975), por ora a bacia hidrográfica dos Rios Aguapeí e Peixe são constituídas por planícies e terraços fluviais, descritos posteriormente.

Planícies aluviais – terrenos baixos e mais ou menos planos, juntos as margens dos rios, sujeito periodicamente a inundações.

Terraços Fluviais – terrenos horizontais e/ou levemente inclinados, junto às margens dos rios, alçados a poucos metros em relação às várzeas, não inundáveis.

Relevo de Morrotes

Os morrotes compreendem à pequenos morros, localizados na cabeceira das bacias de drenagem, assim sendo vertentes com um maior grau de inclinação.

Morrotes alongados e espigões – predominam interflúvios sem orientações preferencial, topos angulosos e achatados, vertentes e ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média e alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados.

Relevo de transição – Encostas não escarpadas e escarpas

Os relevos de transição são formas características de áreas de transição entre diferentes regiões físiogeográficas, onde se verifica um desnivelamento significativo entre as províncias, sendo caracterizadas por encostas e escarpas.

Escarpas festonadas – desfeitas em anfiteatros separadas por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão subparalelo e dendrítico, vales fechados.

2.1.4 Padrões de forma semelhante e índice de dissecação do relevo

Garcia & Trombeta et al (2013), utilizam da definição de que os modelados de dissecação com topos tabulares (Dt) como feições de rampas suavemente inclinadas. Em geral, são definidas por rede de drenagem de baixa densidade, com vales rasos, apresentando vertentes de pequena declividade. Resultam da instauração de processos de dissecação, atuando sobre uma superfície aplanada (IBGE, 2009) e constituem Formas de Relevos identificadas como colinas amplas e baixas, cujos Índices de Dissecação do Relevo indicam que o grau de entalhamento dos vales varia entre fraco e médio e que a densidade de drenagem é baixa.

Já os modelados de dissecação com topos convexos (Dc), de acordo com o IBGE (2009), são caracterizados por vales bem definidos e vertentes de declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem. Os Índices de Dissecação do Relevo obtidos na área de estudo indicam graus de entalhamento dos

vales variando entre fraco e médio e densidade de drenagem média, o que caracteriza Formas de Relevo de colinas baixas e médias com topos mais estreitos e alongados.

As unidades morfoesculturais de terraços e planícies fluviais são relevos que correspondem às áreas essencialmente planas, geradas pela aggradação de sedimentos recentes de origem fluvial estão associadas geralmente aos depósitos do Quaternário, principalmente do Holoceno (ROSS, 1996).

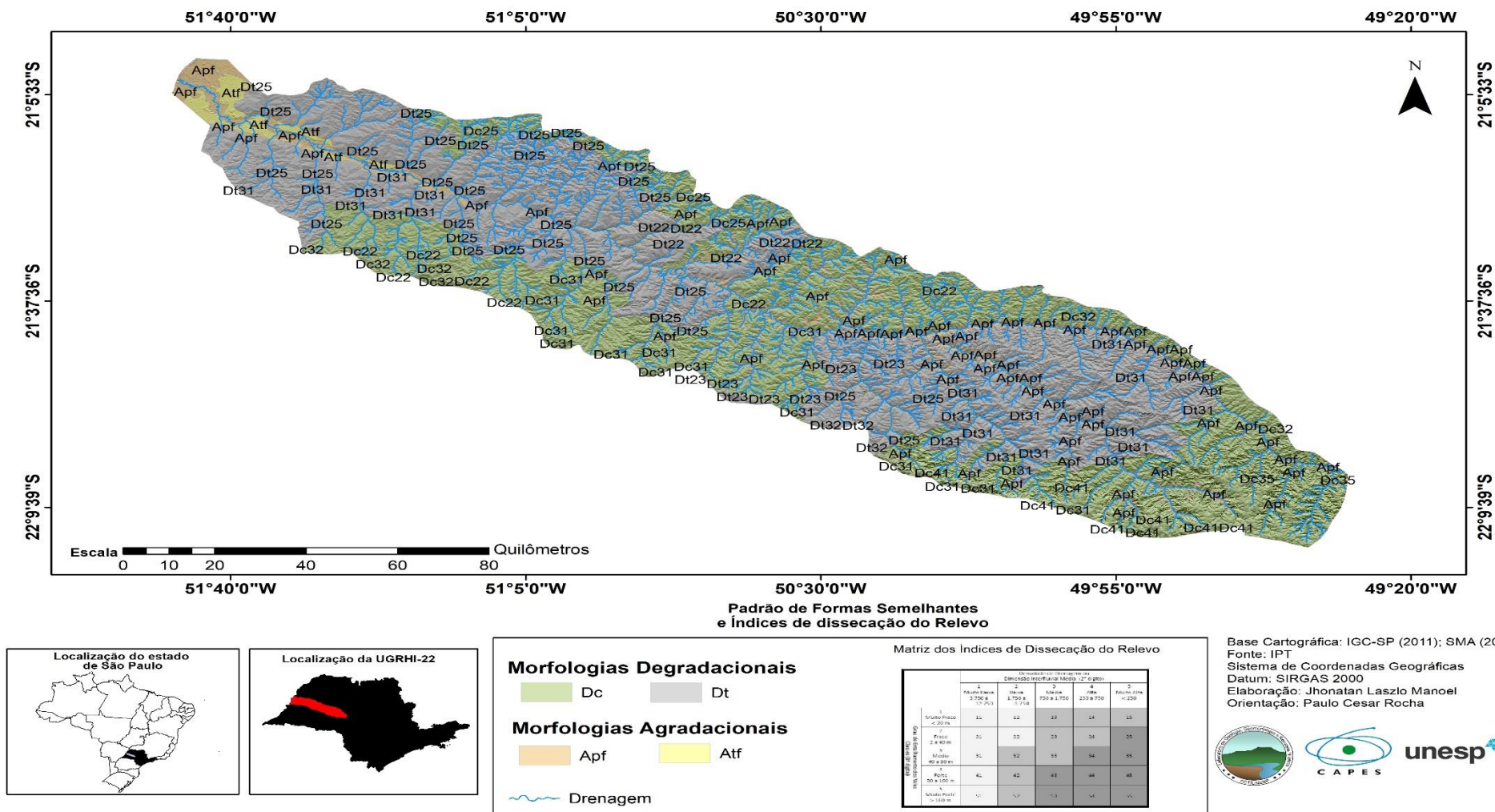


Figura 17 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí com suas formas de padrão semelhante e seu índice de dissecação.

2.1.5 Solos

Na bacia do rio Aguapeí há a existência de cinco tipos distintos de classes de solos, sendo eles os Argissolos Vermelhos-Amarelos, Gleissolos Hápicos, Latossolos Vermelhos, Neossolos Litólicos e Planossolos Hápicos, como é mostrado na figura 18. A seguir, segue a descrição física dos solos que compõe a área de estudo segundo a EMBRAPA (2013).

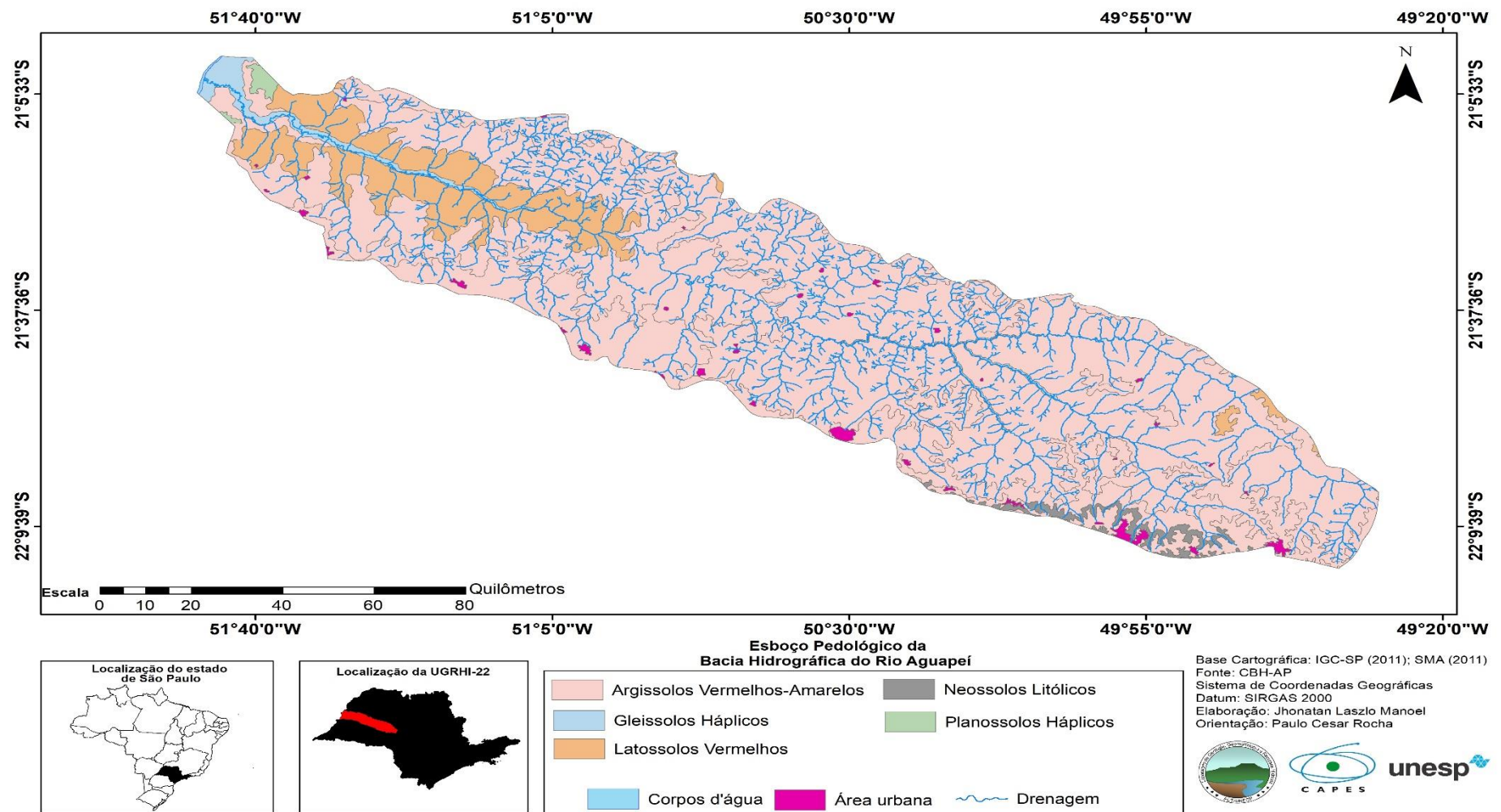


Figura 15 – Mapa com os principais tipos de solos encontrados na área de estudo.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos são solos bem apresentando horizonte de acumulação de argila, B textural (Bt), com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita (EMBRAPA 2013).

Já os Gleissolos Háplicos são solos minerais, hidromórficos, apresentando horizontes A (mineral) ou H (orgânico), seguido de um horizonte de cor cinzento-olivácea, esverdeado ou azulado, chamado horizonte glei, resultado de modificações sofridas pelos óxidos de ferro existentes no solo (redução) em condições de encharcamento durante o ano todo ou parte dele (EMBRAPA 2013).

Latossolos Vermelhos apresentam cores vermelhas acentuadas, devido aos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem drenados, e características de cor, textura e estrutura uniformes em profundidade (EMBRAPA, 2013).

Os Neossolos Litólicos compreendem solos rasos, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, estando associados normalmente a relevos mais declivosos. As limitações ao uso estão relacionadas a pouca profundidade, presença da rocha e aos declives acentuados associados às áreas de ocorrência destes solos (EMBRAPA 2013).

Por fim, os Planossolos Háplicos possuem a característica de serem bem abastecidos de bases, o que lhes confere elevado status nutricional, mas com sérias limitações de ordem física relacionadas principalmente ao preparo do solo e à penetração de raízes devido ao adensamento. Em condições de adensamento e em função do contraste textural, estes solos são muito susceptíveis à erosão (EMBRAPA 2013).

2.2 Histórico de Ocupação Regional

A ocupação da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí está intimamente ligada à história da colonização do Estado de São Paulo. Ao longo das frentes de colonização, a região oeste do estado foi sendo desbravada. Na década de 1930, grandes fazendas cafeeiras predominavam, mas, segundo Monbeig (1941), pequenas propriedades com cultivos diversificados também eram comuns.

Marília, o principal município da área de estudo, foi fundada em 1929 e sua economia inicialmente se baseava no café. No entanto, a partir das décadas de 1950 e 1960, o cultivo de algodão e a criação de gado ganharam destaque. De acordo com Matos (1974), a construção de ferrovias e rodovias impulsionou a colonização da região, facilitando o escoamento da produção agrícola.

O Relatório Zero (1997) destaca que as primeiras rodovias do oeste paulista, construídas na década de 1950, ampliaram a área cultivada e permitiram que os pioneiros se distanciassem dos núcleos urbanos. Essa expansão agrícola, associada à criação de vilas e assentamentos, levou à devastação das matas nativas, que eram uma das últimas grandes manchas florestais do estado de São Paulo na década de 1920 (VICTOR et al., 2005).

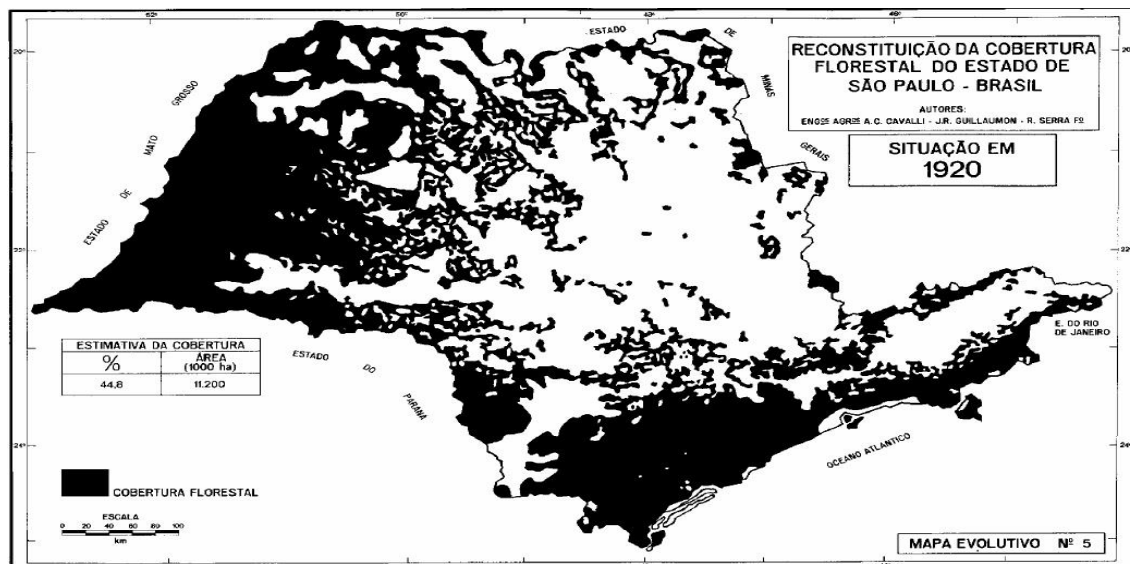


Figura 16 – Mapa ilustrativo da cobertura vegetal do Estado de São Paulo no ano de 1920.

Fonte: Victor et al, 2005.

Com o desbravamento de todo Estado de São Paulo, cada vez mais a implementação de culturas temporárias e o pastoreio de gado se intensificou, devastando praticamente quase toda as porções de cobertura vegetal (figura 19).

Nos dias atuais, grande parte da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí encontra-se ocupada por culturas temporárias, sendo majoritariamente o cultivo de cana-de-açúcar como o carro-chefe do setor agropecuário e, dentro da área de estudo contendo algumas porções de pastagens para a criação de gado (IBGE, 2017).

Dessa forma, após a ocupação definitiva de quase todo o Estado, o uso do solo foi sendo praticamente consolidado pela monocultura da cana-de-açúcar na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, restando pouquíssimas áreas verdes que ficaram mais restritas próximas aos canais fluviais principalmente aquelas próximas ao canal principal da bacia.

Destarte, a respeito do uso e ocupação da terra, o capítulo 6 da presente tese é dedicado exclusivamente para avaliar as mudanças ocorridas dentro da área de estudo ao longo de 55 anos e quais seus possíveis impactos na morfologia do Rio Aguapeí.

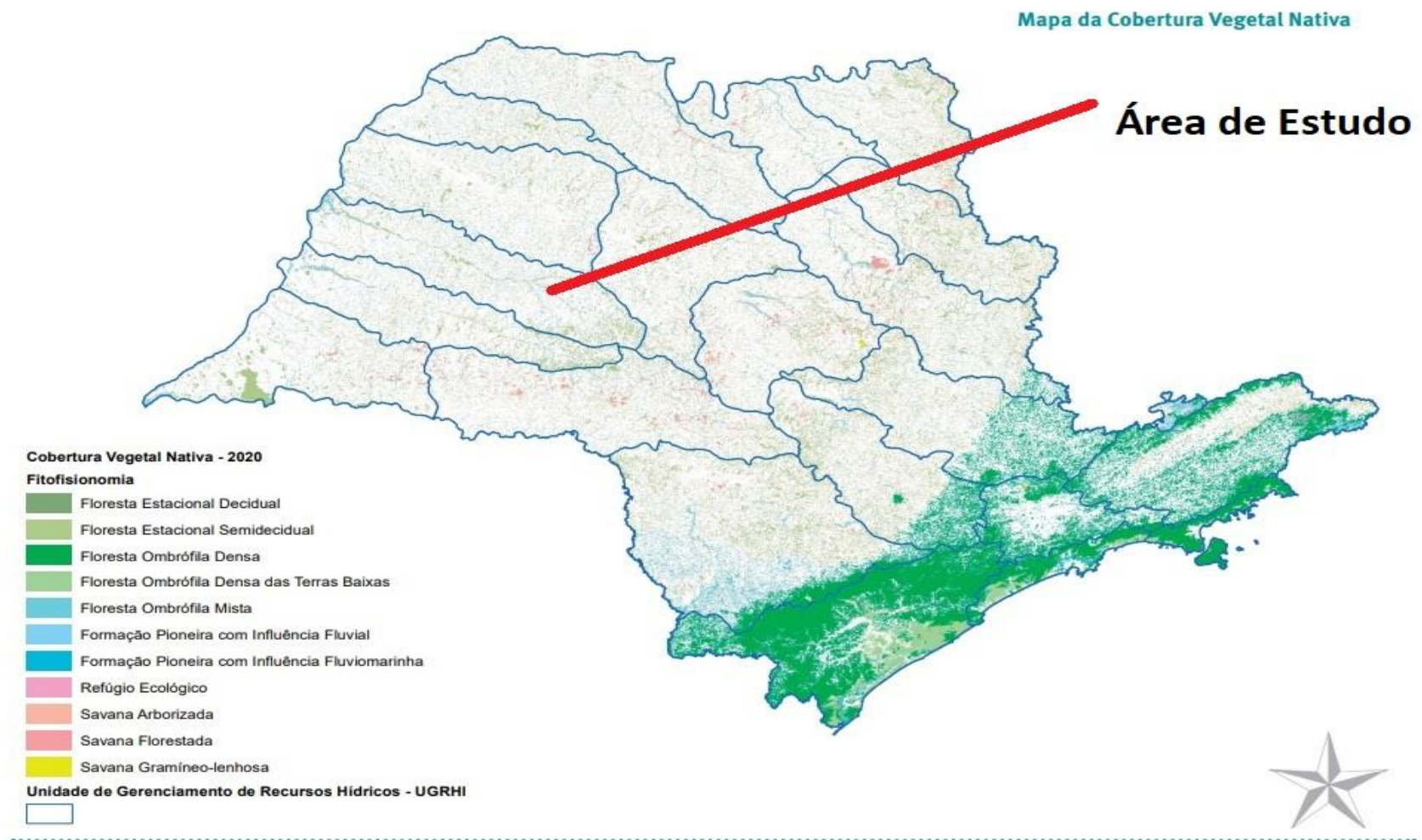


Figura 17 – Cobertura florestal do Estado de São Paulo no ano de 2020, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.
Fonte: Instituto Florestal do Estado de São Paulo.

CAPÍTULO 3 – A VARIABILIDADE HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO AGUAPEÍ: LEVANTAMENTO E ANÁLISE DA PLUVIOSIDADE E DESCARGAS FLUVIAIS

Como já salientado nesta pesquisa, as alterações na forma do canal fluvial podem ser atribuídas a agentes intrínsecos (causas autogênicas), relacionados às características do próprio canal, ou a agentes extrínsecos (causas alogênicas), como atividades humanas e variações climáticas.

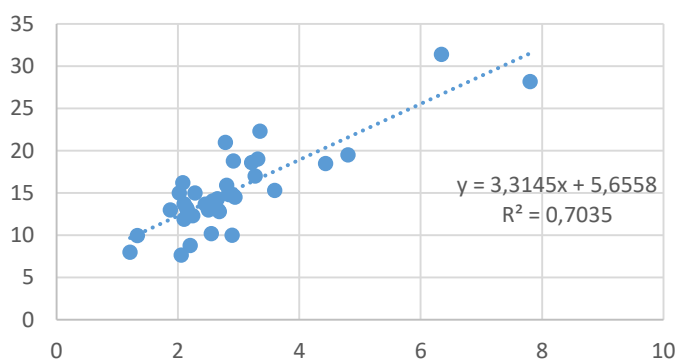
A intensidade das alterações na paisagem e o regime de chuvas influenciam diretamente a entrada e saída de sedimentos no sistema fluvial.

Inicialmente, foram realizadas correlações entre diferentes estações fluviométricas para preencher os dados faltantes da estação selecionada para a construção dos gráficos de vazão do Rio Aguapeí em Valparaíso/Adamantina. Os quadros 1, 2 e 3 apresentam os gráficos de R^2 , conforme descrito na metodologia.

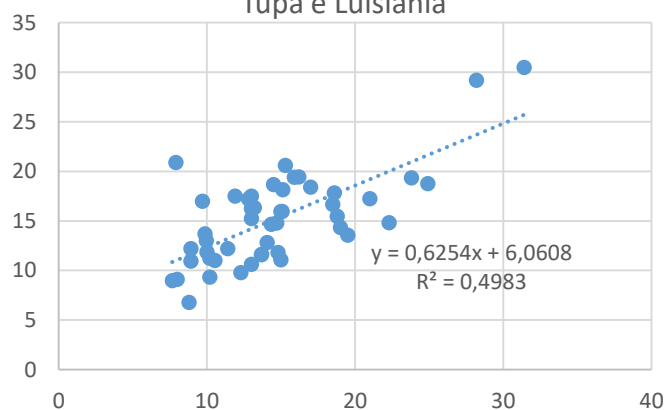
Quadro 3 – Correlação entre os dados estipulados de descargas mínimas anuais através do cálculo de regressão linear simples para as descargas mínimas.

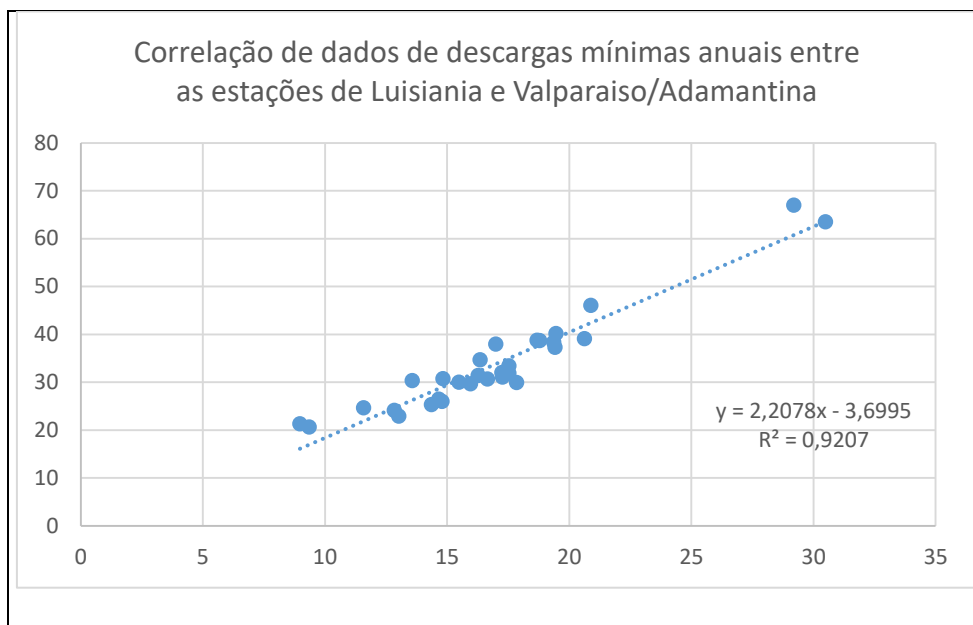
Fonte: DAEE e ANA.

Correlação de dados de descargas mínimas anuais entre as estações de Marília e Tupã



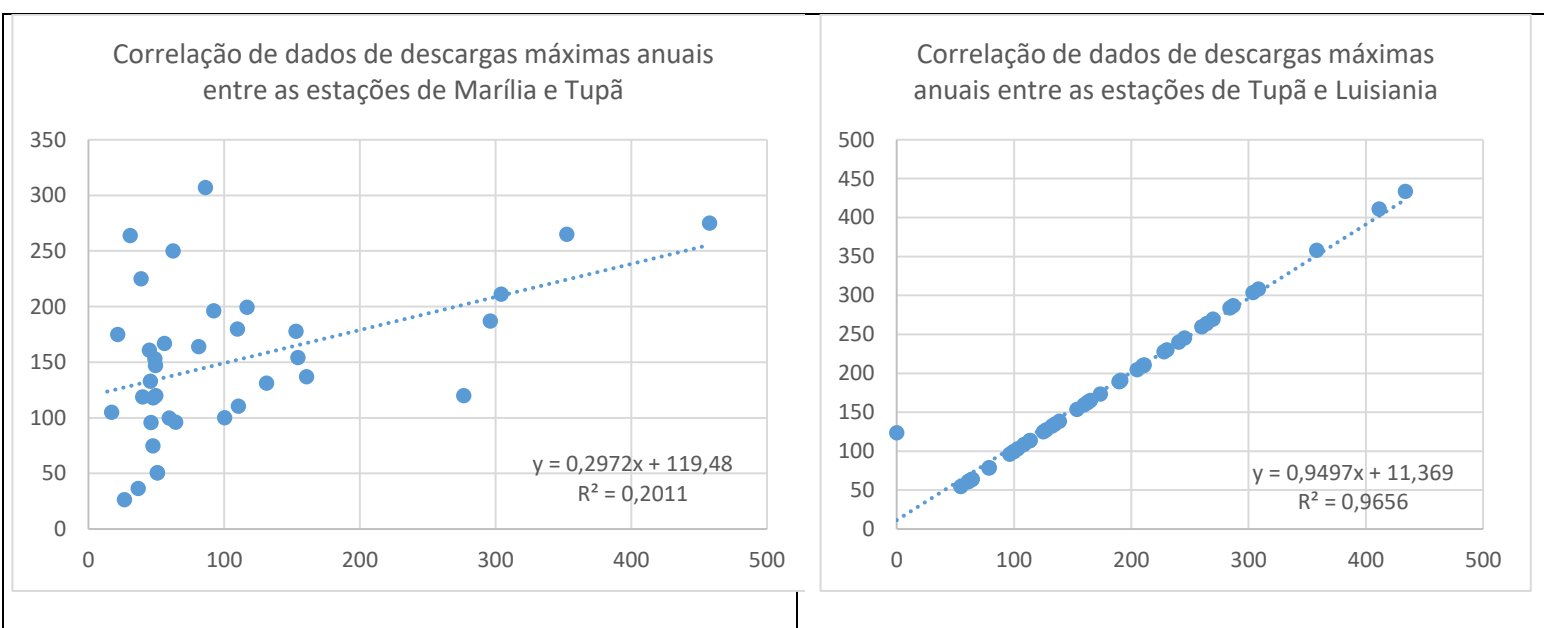
Correlação de dados de descargas mínimas anuais entre as estações de Tupã e Luisiania

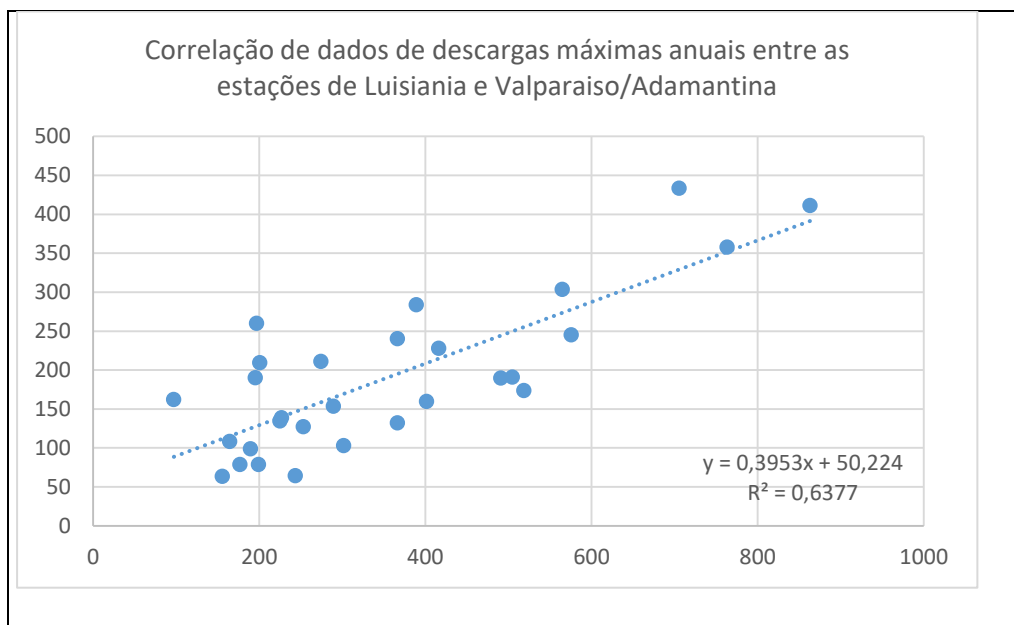




Quadro 4 – Correlação entre os dados estipulados de descargas máximas anuais através do cálculo de regressão linear simples para as descargas mínimas.

Fonte: DAEE e ANA

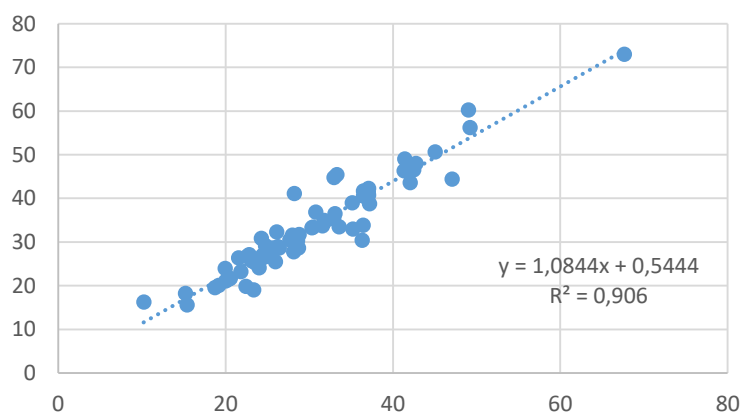




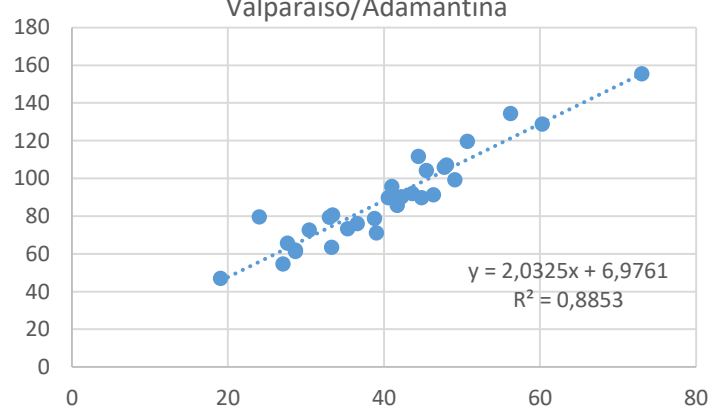
Quadro 5 – Correlação entre os dados estipulados de descargas média anuais através do cálculo de regressão linear simples para as descargas mínimas.

Fonte: DAEE e ANA

Correlação de dados de descargas médias anuais entre as estações de Tupã e Luisiania



Correlação de dados de descargas médias anuais entre as estações de Luisiania e Valparaíso/Adamantina



Seguindo assim, esta parte da presente tese tem como intuito analisar a variabilidade hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí através dos levantamentos realizados dos dados de precipitação e vazão da área de estudo de uma forma direta e também estabelecendo relações objetivas com alterações encontradas nos períodos analisados no tópico anterior.

3.1. Regime pluviométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí

Primeiramente, ao analisarmos os dados levantados entre os anos de 1950 e 2020 e plotados no gráfico 1, identificamos quatro períodos hidrológicos distintos na série: o primeiro entre 1950 e 1969, o segundo entre 1970 e 1984, o terceiro entre 1985 e 2005 e o quarto entre 2006 e 2020.

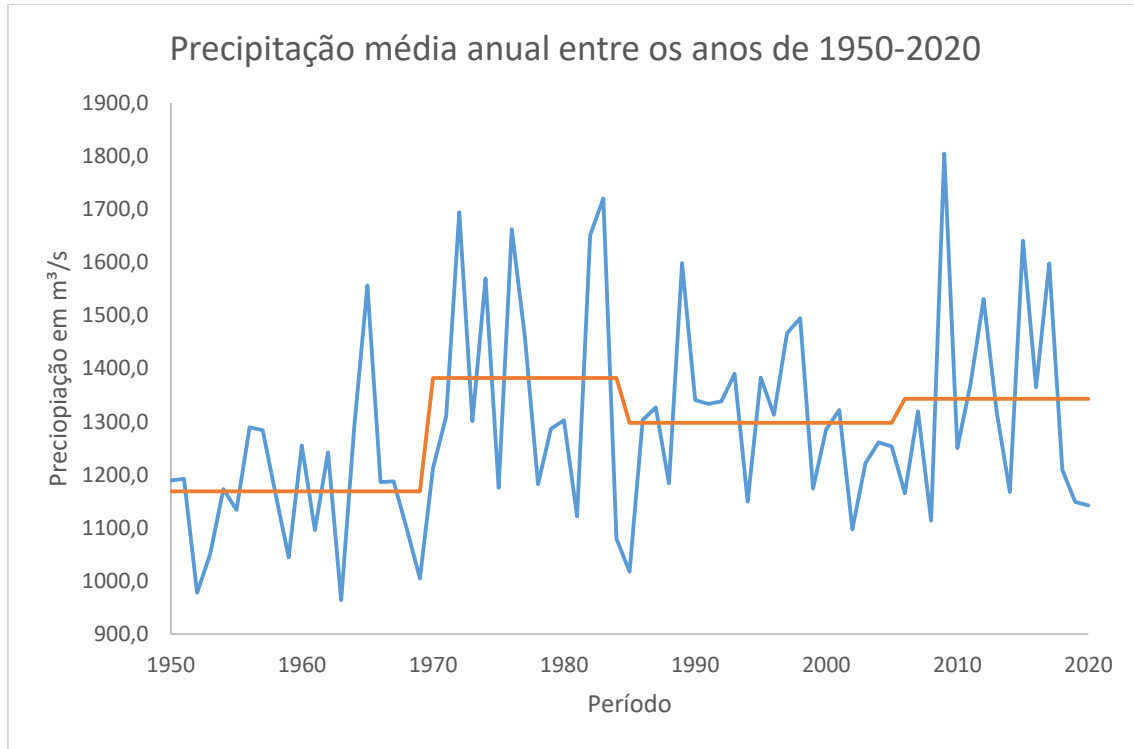


Gráfico 1 – Precipitação média anual da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.

Fonte: DAEE (2021)

O primeiro período (1950-1969) apresenta os menores índices de precipitação de toda a série histórica, com uma média de 1168,94 mm e um valor mínimo de 970 mm em 1963. O pico de precipitação nesse período ocorreu em 1956, com 1293 mm.

O segundo período (1970-1984) apresenta um aumento significativo na precipitação média, alcançando 1382,1 mm (cerca de 20% a mais que o período anterior). O ano de 1981 registrou a menor precipitação (1121 mm), enquanto 1983 apresentou o maior pico (1720 mm).

O terceiro período (1985-2005) é o mais longo da série, com uma média de 1297,97 mm, cerca de 6% menor que o período anterior. O ano de 1985 foi o mais seco, com 1017,2 mm, enquanto 1998 registrou o maior pico, com 1494,8 mm.

O quarto e último período (2006-2020) apresenta um leve aumento na precipitação média, alcançando 1343 mm (cerca de 5% a mais que o período anterior). O ano de 2009 registrou o maior pico de toda a série, com 1805 mm, enquanto 2008 foi o mais seco, com 1113 mm.

3.2. Descargas mínimas

Foram realizados levantamentos das variabilidades das descargas mínimas, máximas e médias do Rio Aguapeí com base nos dados da estação fluviométrica de Valparaíso/Adamantina (Prefixo 8C-004), conforme detalhado na metodologia.

A análise da variabilidade da descarga mínima, considerando o período de 1950 a 2020, identificou quatro períodos distintos, conforme apresentado no gráfico 2: o primeiro de 1950 a 1971, o segundo de 1972 a 1986, o terceiro de 1987 a 2006 e o quarto de 2007 a 2020.

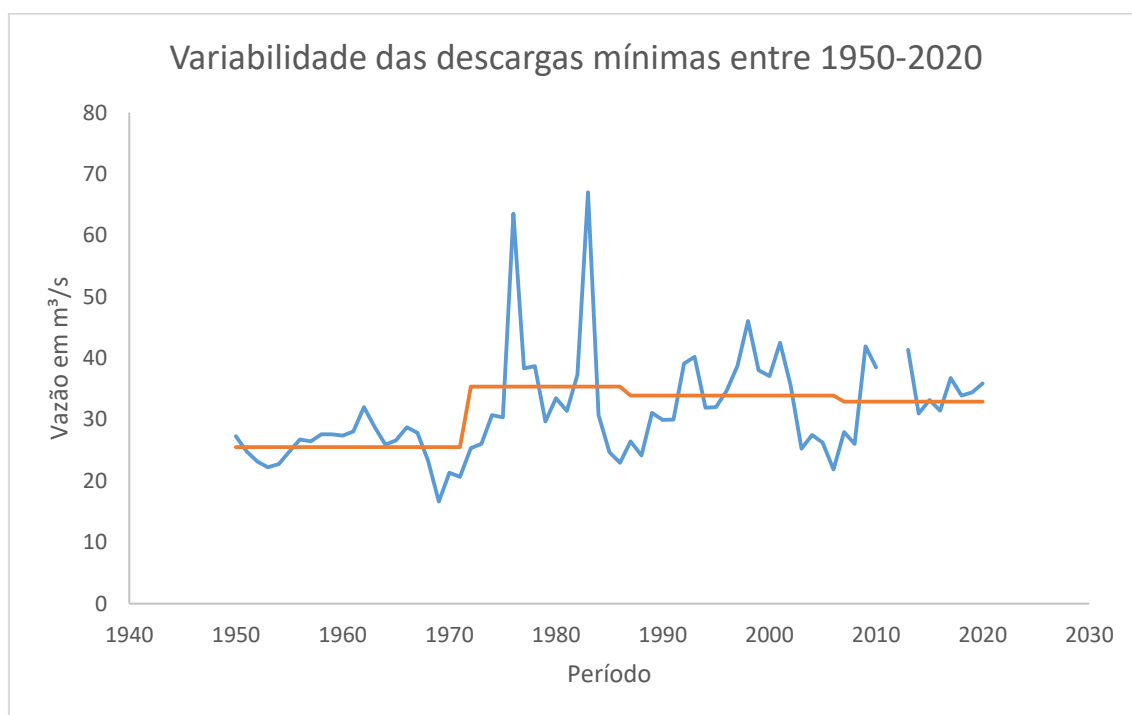


Gráfico 2 – Variabilidade das descargas mínimas anuais do Rio Aguapeí, com base nos dados da estação fluviométrica Valparaíso/Adamantina.

Fonte: DAEE (2021).

O primeiro período que é datado entre os anos de 1950 até o ano de 1971, é caracterizado a maior série entre os períodos (21 anos), porém os dados de descargas apresentam não são tão significativos quanto a outros períodos, apresentando sua

descarga mínima mais baixa no de 1969 com uma média de 16,65 m³/s, e no ano de 1962 uma descarga de 32,02 m³/s como a maior descarga mínima do período. A média deste período ficou com uma descarga mínima de 25,48 m³/s.

Entretanto, o segundo período apresenta uma série histórica mais curta, de 15 anos, entre 1972 a 1986, em que mostra os maiores valores de descarga mínimas de acordo os levantamentos realizados para todos os períodos estipulados, com o menor valor de descarga mínima no ano de 1986, com vazão de 22,95 m³/s, um aumento de aproximadamente 35% em relação ao primeiro período e, o ano de 1983 apresentou o valor máximo de 67,04 m³/s, representando um aumento de quase 55% em relação ao período anterior de descarga mínima. A média do período foi estipulada em 35,35 m³/s de descarga mínima, registrando aumento relativo superior aos 30%.

O terceiro período, consta com uma série histórica datada entre os anos de 1987 a 2006, sendo caracterizado como um período com uma certa estabilidade em relação a variação das descargas mínimas, tendo seu pico no de 1998, com 46,04 m²/s de descarga, uma diminuição de um pouco mais de 30% em relação ao período anterior, e próximo ao final de seu período teve como ano de 2006 sua menor descarga mínima, registrando uma diminuição relativa abaixo dos 1%, com uma vazão de 21,86 m³/s. Por se apresentar como um período mais estável, a média deste período ficou próxima ao período anterior que conta com os maiores valores de descarga mínima, com uma média de 33,89 m³/s, e diminuição relativa menor que 5% em comparação ao segundo período.

Por fim, o último e quarto período datado entre os anos 2007-2020, apresenta o ápice das descargas mínimas no ano de 2009, com uma vazão de 41,91 m³/s exibindo uma diminuição de menos de 10% em comparação ao terceiro período, e o menor valor de descarga mínima no ano anterior registrando um aumento superior aos 30% no ano 2008 com uma descarga de 28,81 m³/s. A média estipulada se manteve praticamente estável para o quarto período se comparada ao anterior, com uma vazão de 32,88 m³/s.

3.3. Descargas máximas

Em relação aos períodos estipulados para a variabilidade das descargas máximas, este também consta com quatro períodos, conforme o gráfico 3 em que o primeiro

período é datado entre 1950-1971, o segundo entre 1972 a 1986, o terceiro entre os anos de 1987 e 2004 e, o quarto e último período entre 2005 até o ano de 2020.

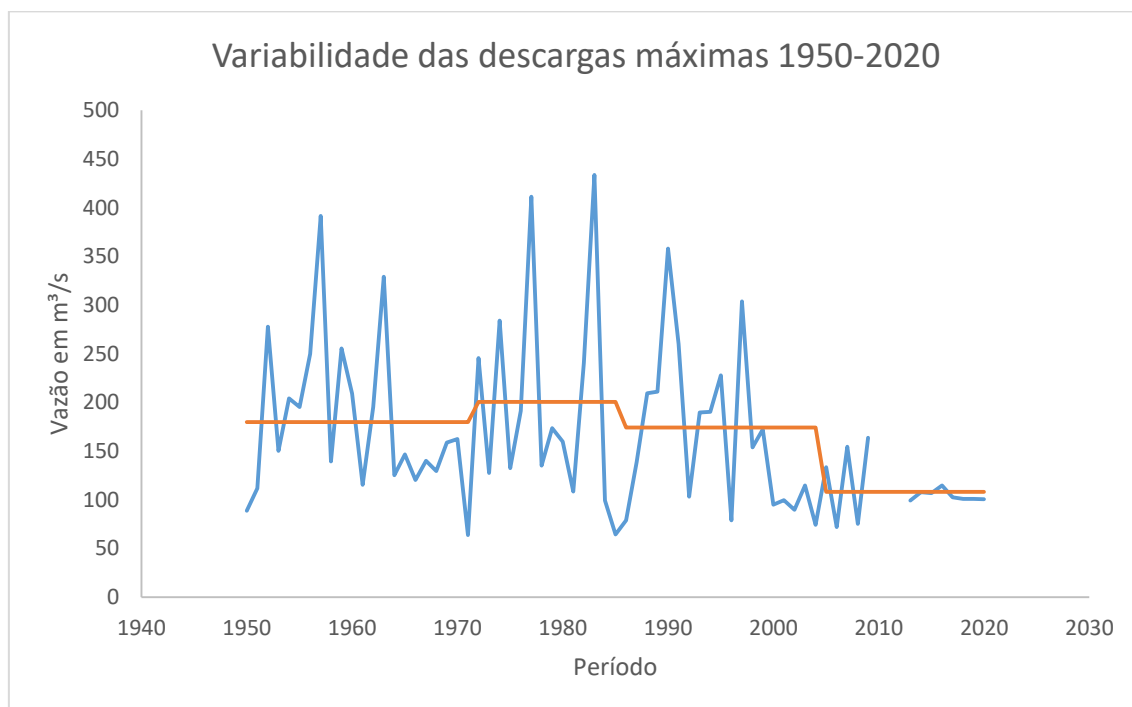


Gráfico 3 – Variabilidade das descargas máximas anuais do Rio Aguapeí, com base nos dados da estação fluviométrica Valparaíso/Adamantina.

Fonte: DAEE (2021).

Assim, o primeiro período (1950-1971) das descargas máximas, também é caracterizado como período que consta com a maior série de dados, 22 anos, em que apresenta um valor de 80,53 m³/s, o menor valor para este período no ano de 1971 e, 391,45 m³/s no de 1957, como a maior descarga máxima para este primeiro período. Sendo assim, a média para este período ficou com um valor de 179,88 m³/s de descarga máxima.

O segundo período que oscila entre 1972 a 1986, é também como foi mostrado no gráfico de descargas mínimas, é o período que se caracteriza com os maiores valores de descarga, no qual o ano 1983 apresenta uma descarga de 433,65 m³/s, um aumento próximo de 15% comparado ao primeiro período, sendo os maiores valores absolutos de toda a série histórica das descargas máximas anuais, e em contrapartida o ano de 1985 apresentou o dado mais baixo desse período, com uma descarga máxima de 64,27 m³/s, sendo uma diminuição de cerca de 20% ao período anterior. Isto posto, a média de descargas máximas para o segundo teve um acréscimo superior aos 10% em relação

ao primeiro período, ficando com 200,40 m³/s, maior média desse seguimento em toda a série histórica analisada.

O terceiro período de descargas máximas é apresentado de forma similar como no gráfico de descargas mínimas, em que a série de dados do período entre 1987 a 2004 é um pouco mais estável em relação entre os outros períodos, da maneira em que a descarga máxima foi de 357,87 m³/s, havendo uma diminuição próxima ao 20% em relação ao segundo período no de 1990 e o menor valor registrado, no ano de 1996 com 78,88 m³/s, com um acréscimo de quase 25% de descarga máxima se comparado ao período anterior. Com isto, a média para o terceiro período ficou com uma descarga de 174,09 m³/s, uma diminuição superior a 10% ao período anterior.

Finalmente, o quarto período apresentado no que tange as descargas máximas que variam entre os anos de 2005 a 2020, tem seu pico registrado no ano de 2009, com uma descarga máxima de 163,62 m³/s, diminuição relativa superior aos 100% de vazão em comparação ao terceiro período e seu menor valor registrado em 2006, com uma descarga de 71,84 m³/s, sendo uma diminuição relativa próxima aos 10%. Desta forma, este período apresentou uma diminuição relativa próxima aos 40% em relação ao terceiro período, com uma média de 108,03 m³/s de descarga.

3.4. Descargas médias

Por fim, também foram realizados levantamentos feitos a respeito das descargas médias anuais entre os anos de 1950-2020, apresentando consonância em comparação com os dados de descargas mínimas e máximas apresentados até agora, ou seja, os levantamentos da série histórica também apresentam quatro períodos conforme o gráfico 4, sendo eles o primeiro entre 1950 a 1971, o segundo entre 1972 a 1986, o terceiro entre os anos de 1987 até 2006, e o quarto e último período entre 2007-2020.

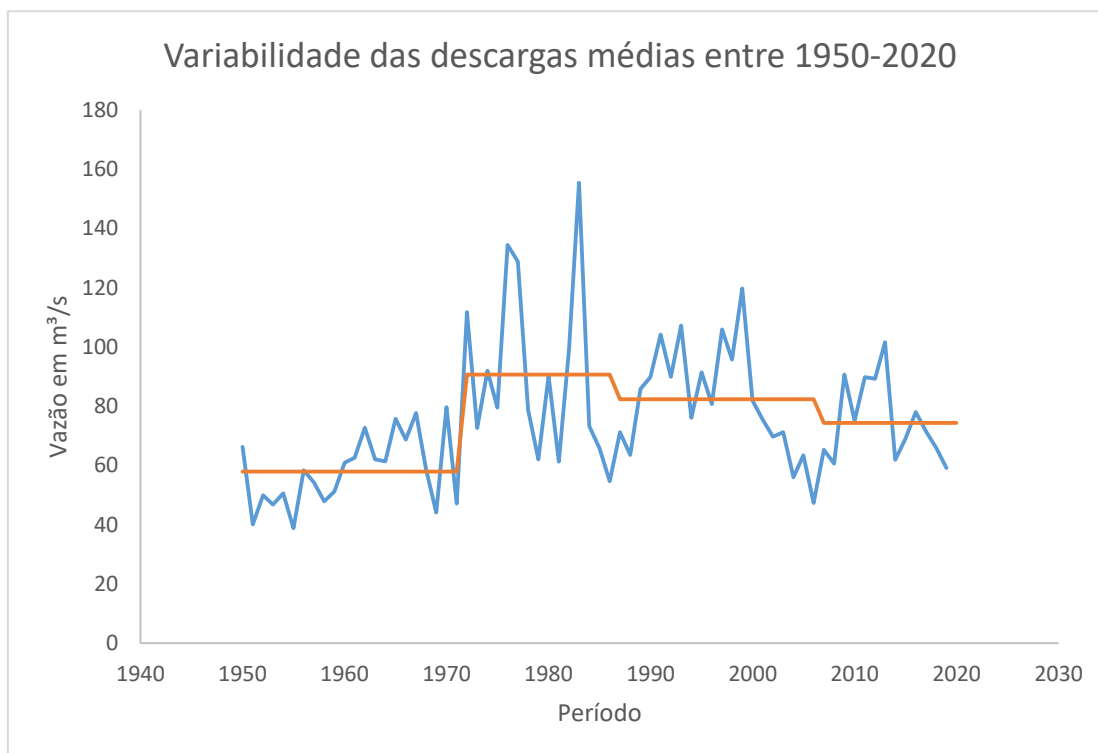


Gráfico 4 – Variabilidade das descargas médias anuais do Rio Aguapeí, com base nos dados da estação fluviométrica Valparaíso/Adamantina.

Fonte: DAEE (2021).

Ao analisarmos o primeiro período, entre os anos de 1950 e 1971, os dados descargas médias tem seu maior valor apresentado no ano de 1967, com uma descarga de 77,68 m³/s e, o menor dado registrado no ano de 1955 com 38,76 m³/s descarga. Deste modo, o primeiro período consta com uma média de 57,96 m³/s de descarga média, a menor média entre os períodos analisados.

Em relação ao segundo período entre os anos de 1972 a 1986, este apresenta o maior pico de toda a série histórica, constatado no de 1983, com uma descarga média de 155,49 m³/s, apresentando um aumento superior aos 100% em relação ao primeiro período e a menor descarga no de 1985, com uma descarga 54,67 m³/s, um aumento de cerca de 40%, considerando o período anterior. Assim este período apresenta a maior média entre todos os quatro períodos, aumento em mais de 55% a quantidade de descarga relativa, fechando assim, com uma descarga média de 90,68 m³/s.

O terceiro período analisado entre os anos de 1987 até o ano de 2006, também apresenta uma maior estabilidade entre os dados apresentados, como nos casos das descargas mínimas e máximas, desta forma, o terceiro período apresentou uma descarga média de 119,72 m³/s como seu pico no ano de 1999, uma diminuição de cerca

de 40% em comparação ao segundo período e, no ano de 2006 a menor descarga média, uma diminuição relativa de 15% comparada ao período anterior, com um total de 47,32 m³/s. Este terceiro encerrou com um média de 82,31 m³/s, relativamente próximo a média do período anterior, diminuindo a sua descarga em cerca de 10%.

Por fim, o quarto período analisado que consta entre os anos de 2006 a 2020, apresenta seu maior pico de descarga média no ano de 2013, com uma descarga de 101,64 m³/s, mostrando um diminuição relativa de aproximadamente 10% e apresentando sua menor descarga no ano 2019 também com uma diminuição de cerca de 10%, assim com um valor de descarga média de 59,09 m³/s. A média correspondente para este período foi calculada com uma descarga média de 74,33 m³/s, novamente tendo um diminuição relativa na casa dos 10%. Abaixo, nas tabelas 4, 5, 6 e 7, seguem os resumos das medições dos dados hidrológicos desta pesquisa.

Tabela 6 – Resumo das medições pluviométricos por período.

	P1	P2	P3	P4
Média	1168,84mm	1382,1mm	1297,76mm	1343mm
Max	1293mm	1720mm	1494mm	1805mm
Min	970mm	1121mm	1017mm	1113mm
DP	136,427	221,140	133,904	211,246
CV	11,672	16,217	10,318	15,729

Tabela 7 – Resumo das medições das descargas mínimas por período

	P1	P2	P3	P4
Média	16,65 m ³ /s	22,95 m ³ /s	33,89 m ³ /s.	32,88 m ³ /s.
Max	32,02 m ³ /s	67,04 m ³ /s	46,04 m ² /s	41,91 m ³ /s
Min	25,48 m ³ /s.	35,35 m ³ /s	21,86 m ³ /s	28,81 m ³ /s.
DP	3,405	13,089	6,651	4,89
CV	13,364	37,062	19,621	14,877

Tabela 8 – Resumo das medições das descargas máximas por período

	P1	P2	P3	P4
Média	179,88 m ³ /s	200,40 m ³ /s	174,09 m ³ /s	108,03 m ³ /s
Max	391,45 m ³ /s	433,65 m ³ /s	357,87 m ³ /s	163,62 m ³ /s
Min	80,53 m ³ /	64,27 m ³ /s	78,88 m ³ /s	71,84 m ³ /s
DP	80,135	112,133	81,623	26,686
CV	44,548	55,954	46,883	24,701

Tabela 9 – Resumo das medições das descargas médias por período

	P1	P2	P3	P4
Média	57,96 m ³ /s	90,68 m ³ /s.	82,31 m ³ /s	74,33 m ³ /s
Max	77,68 m ³ /s	155,49 m ³ /s	119,72 m ³ /s	101,64 m ³ /s
Min	38,76 m ³ /s	54,67 m ³ /s	47,32 m ³ /s	59,09 m ³ /s.
DP	12,051	29,992	18,592	13,539
CV	20,789	33,071	22,586	18,214

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DOS DIFERENTES TIPOS DE OCUPAÇÕES DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AGUAPEÍ

4.1. Considerações iniciais

Ao analisar os diferentes usos da terra em uma bacia hidrográfica, observa-se que as mudanças ocorrem de forma não uniforme e não contínua ao longo do tempo e do espaço. Essa heterogeneidade influencia os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos, dada a variabilidade do regime hidrológico e da cobertura vegetal.

Alterações no uso e ocupação da terra podem induzir modificações nas características morfométricas e morfológicas dos canais fluviais. A mudança na cobertura vegetal, por exemplo, pode alterar a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, influenciando a taxa de erosão e o transporte de sedimentos.

Neste capítulo, são apresentados os dados quantitativos sobre os diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, nos períodos de 1964, 1986, 1996, 2010 e 2019. Foram geradas cartas temáticas na escala de 1:250.000 para determinar os principais usos da terra em cada período.

Com uma área de aproximadamente 13.070 km², a Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí é predominantemente ocupada por atividades agropecuárias, como o cultivo de café, a criação de gado e, mais recentemente, o cultivo de cana-de-açúcar. Essas atividades antrópicas exercem grande influência nas dinâmicas naturais da bacia. A seguir, são descritas as características predominantes de uso e ocupação da terra em cada um dos cinco períodos analisados.

4.2. Uso e ocupação da terra no ano de 1964

Como descrito da metodologia, os dados a respeito dos usos e levantamentos da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, foram particionados em cinco mapas diferentes para cada período levantado, na qual abaixo pode ser visto na figura 20 o mapa de uso e ocupação da terra do ano de 1964, e o mosaico (figura 21) com a divisão da bacia em quatro setores (área aluvial, margem direita, margem esquerda e montante da área aluvial) e também os gráficos com a distribuições dos usos nestas quatro divisões em

formato de mosaico (figura 22), por fim, a distribuição total dos diferentes usos encontrados no período de 1964 (gráfico 5).

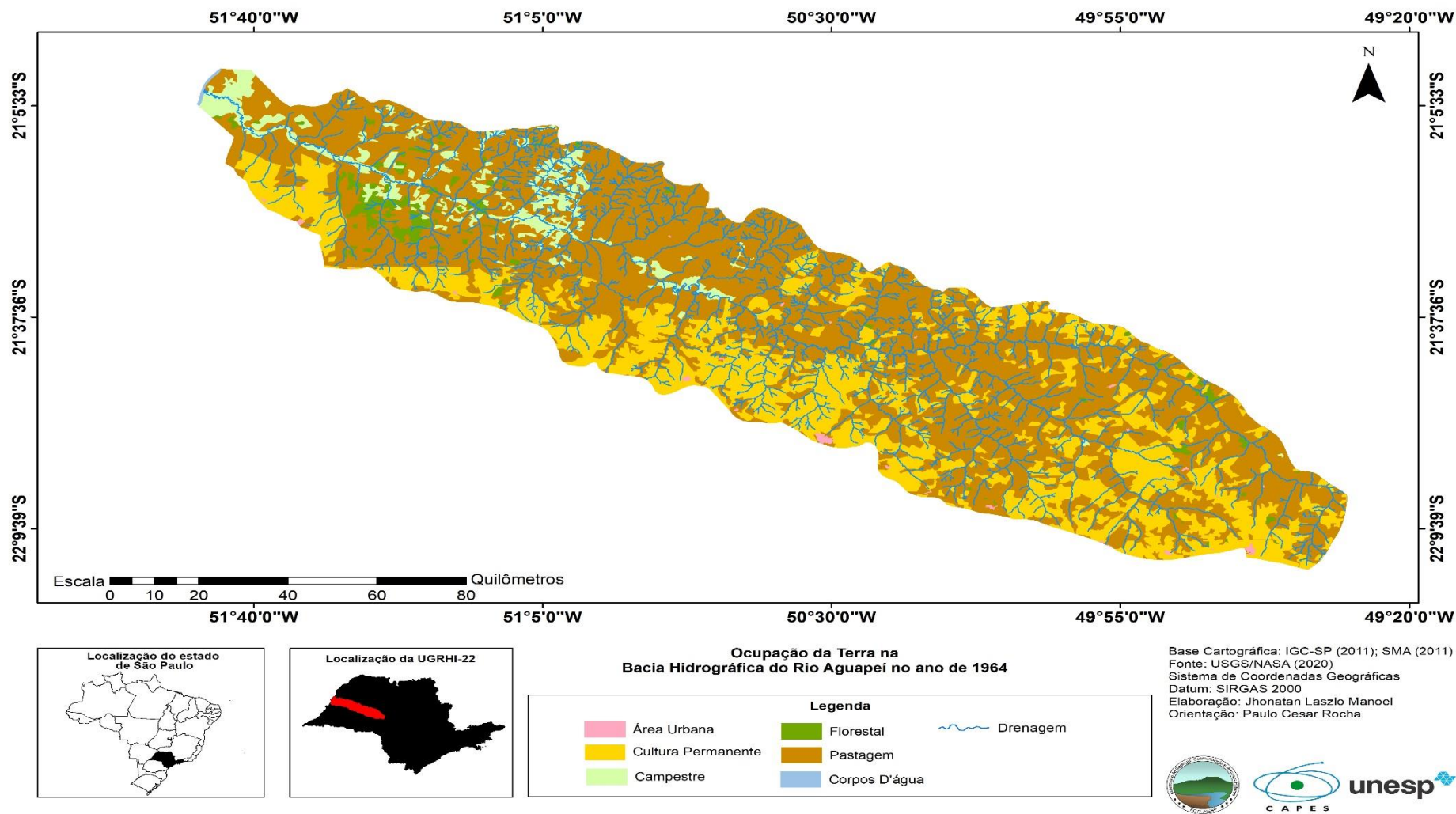


Figura 18 – Carta temática do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1964.

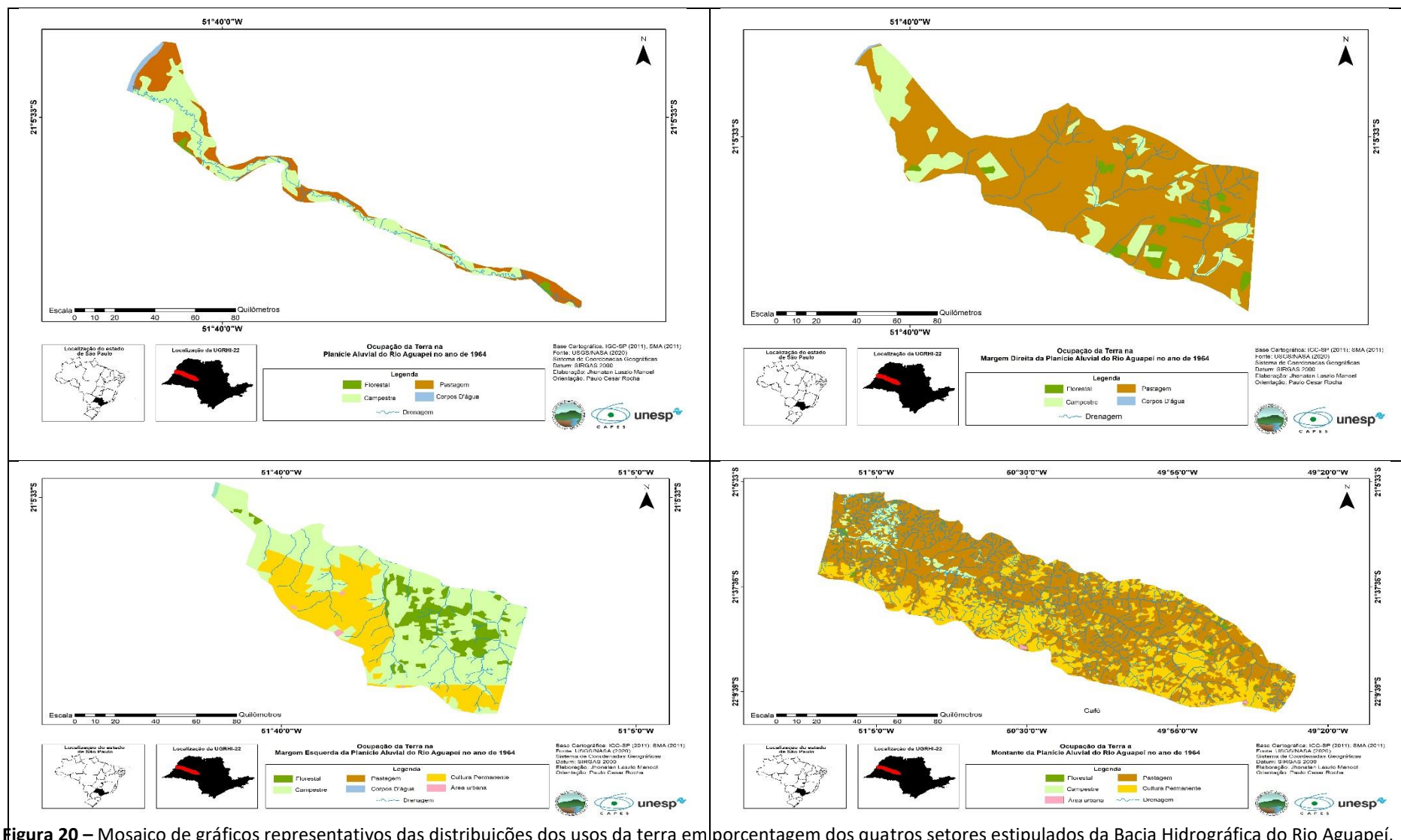
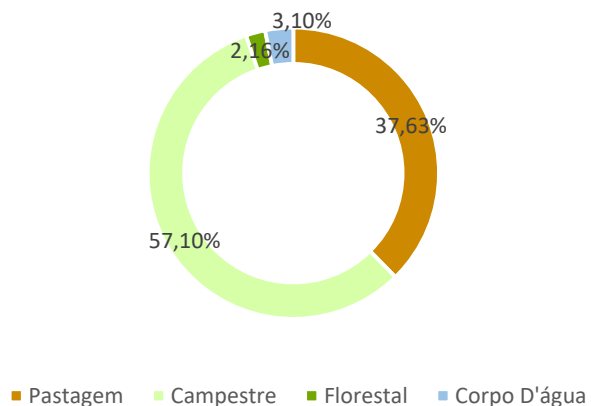


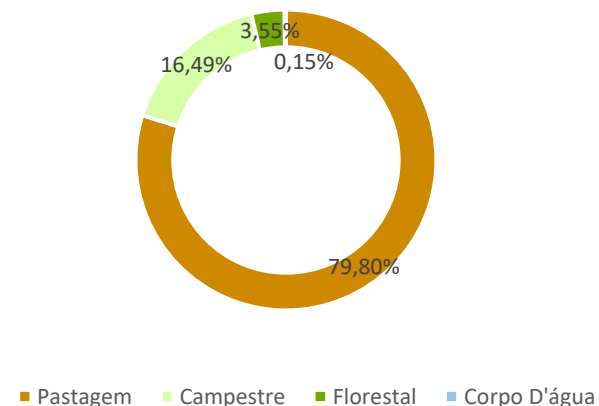
Figura 20 – Mosaico de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatros setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 1964.

Figura 19 – Mosaico da divisão dos quatro setores estipulados para a área de estudo no ano de 1964.

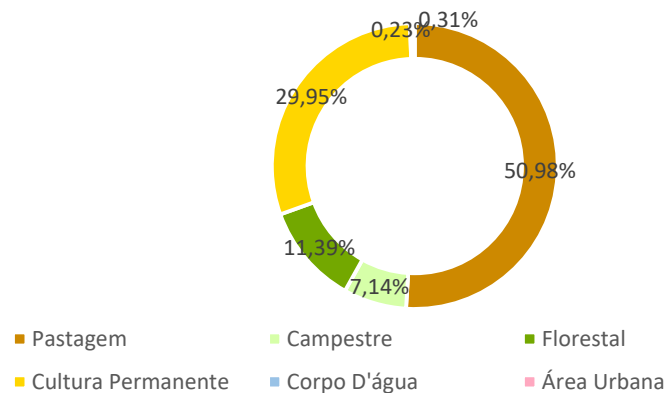
Distribuição das ocupações da terra na área aluvial



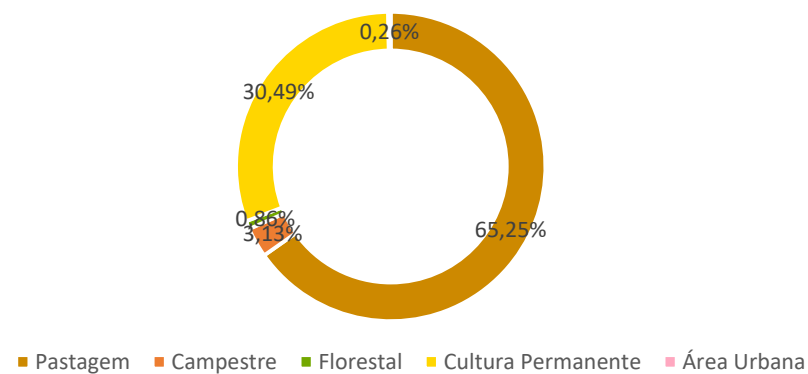
Distribuição das ocupações da terra na margem direita da área aluvial no ano de 1964



Distribuição das ocupações da terra na margem esquerda da área aluvial



Distribuição das ocupações da terra a montante da área aluvial no ano de 1964



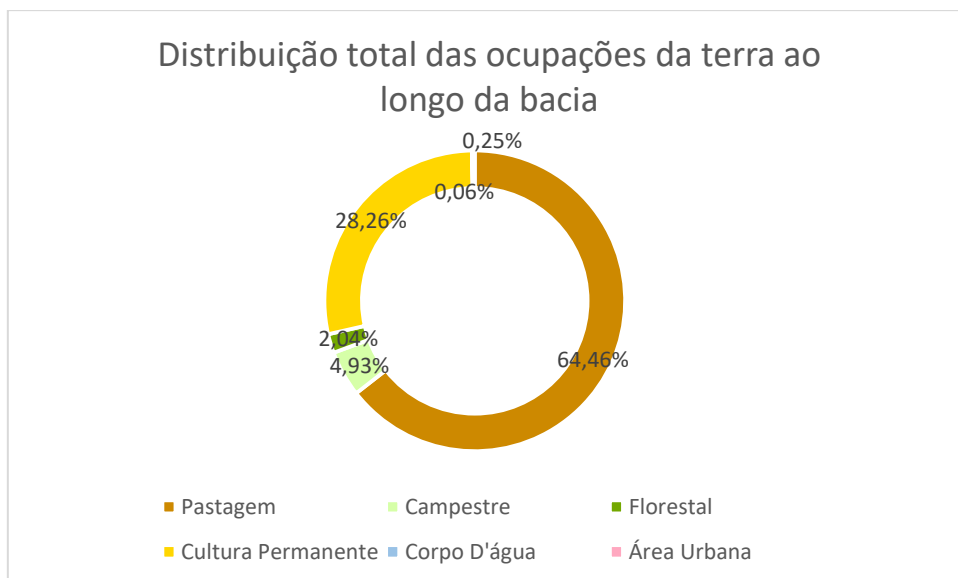


Gráfico 5 – Distribuição total dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no período de 1964

Em 1964, aproximadamente 7.800 km² (64,46%) da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí eram ocupados por pastagens, destinadas principalmente à pecuária. O cultivo de café ocupava cerca de 3.400 km² (28,26%) da área, enquanto as áreas urbanas correspondiam a apenas 29,85 km² (0,25%).

A vegetação nativa, embora presente, era pouco expressiva em 1964. A vegetação campestre ocupava cerca de 598 km² (4,93%), concentrada principalmente em áreas próximas a cursos d'água. As áreas florestais, por sua vez, ocupavam cerca de 247 km² (2,04%), predominantemente na planície aluvial.

Analisando os setores da bacia em 1964, observa-se que a área aluvial era predominantemente ocupada por vegetação campestre (57,10%), sendo grande parte dessa área destinada à pastagem (37,63%). A cobertura vegetal nativa, especialmente a mata ciliar, era escassa nesse setor.

Na margem direita da área aluvial, as pastagens predominavam, ocupando cerca de 80% da área. O cultivo era praticamente inexistente nesse setor, sendo a vegetação campestre a segunda maior categoria de uso da terra (16,49%).

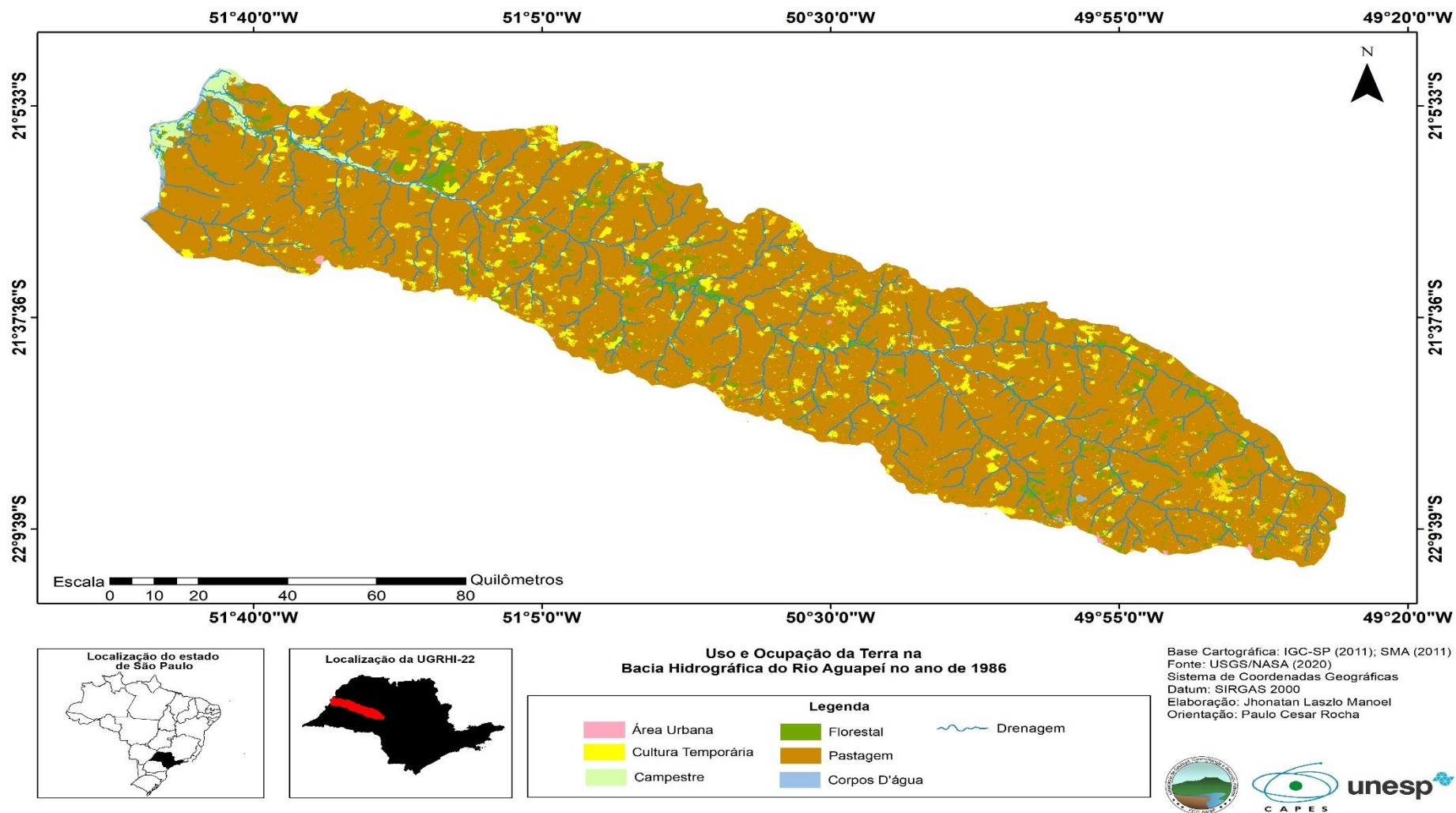
Na margem esquerda da área aluvial, as pastagens também predominavam (51%), mas havia uma maior diversidade de usos, com 29,95% destinados ao cultivo de café e 18,53% à vegetação nativa.

A montante da área aluvial, a vegetação nativa era ainda menos expressiva, com menos de 1% de cobertura florestal. As atividades agropecuárias predominavam, com cerca de 65% da área ocupada por pastagens e 30% pelo cultivo de café.

4.3. Uso e ocupação da terra no ano de 1986

Em 1986, segundo período analisado, observa-se uma mudança significativa no uso e ocupação da terra (Figura 23), caracterizada por um aumento substancial das áreas de pastagem e uma redução drástica das áreas de cultivo de café, que foram substituídas por citricultura. Além disso, houve um crescimento das áreas de vegetação florestal, expandindo-se para além da área aluvial do Rio Aguapeí.

Os mapas (Figura 24), os gráficos de distribuição por setores (Figura 25) e o gráfico da distribuição total na bacia (Figura 6) complementam a análise. Em 1986, aproximadamente 10.120 km² (85% da bacia) estavam ocupados por pastagens, representando um aumento de cerca de 2.300 km² (35%) em relação ao período anterior. O surgimento de culturas temporárias, como algodão e cana-de-açúcar, ocupando cerca de 752 km² (6,35% da área), foi impulsionado pela intensificação do uso de maquinário agrícola, conforme indica o Relatório Zero (1997). As áreas urbanas também apresentaram crescimento, ocupando cerca de 39 km² (aumento de aproximadamente 30%).



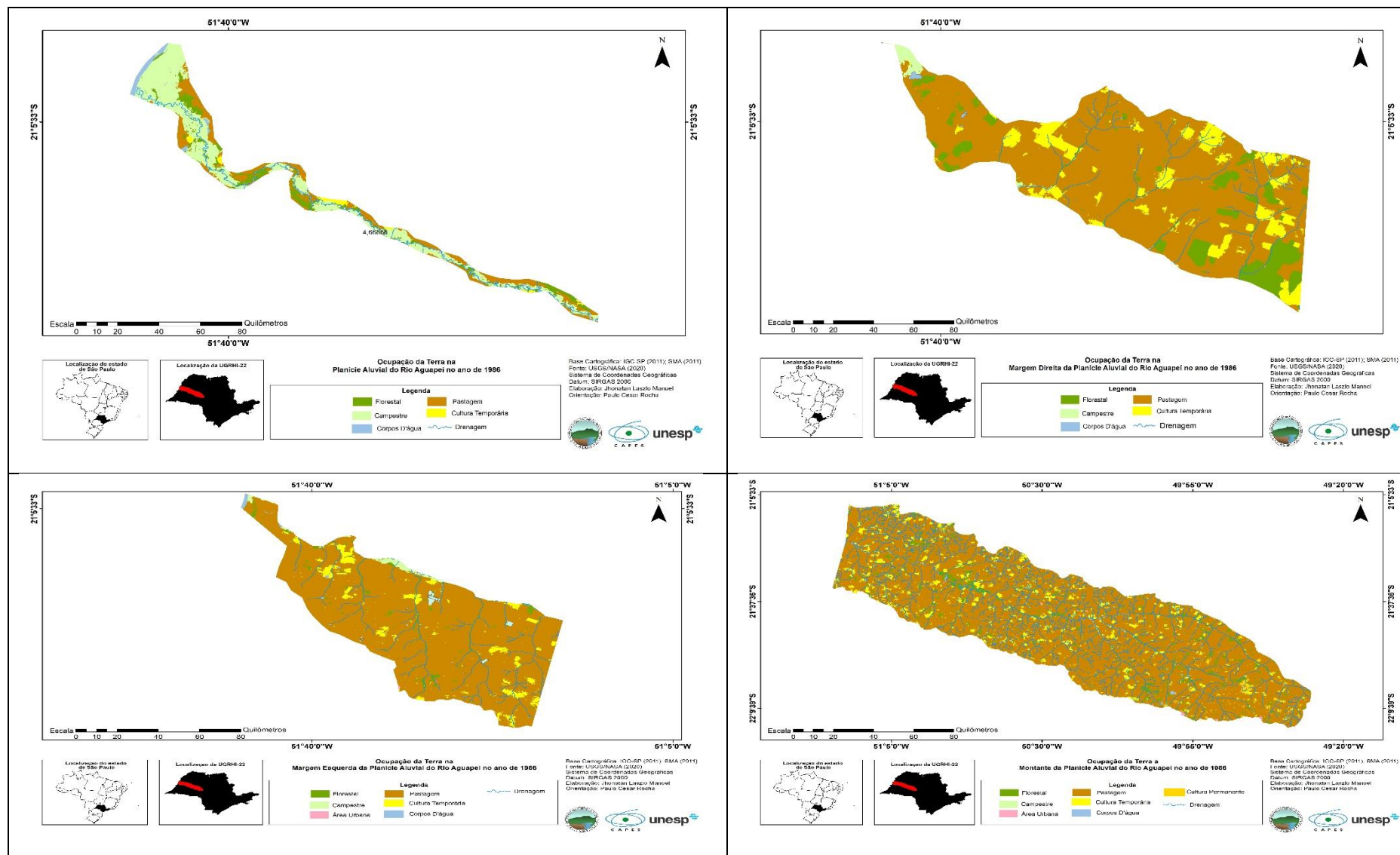


Figura 22 – Mosaico da divisão dos quatro setores estipulados para a área de estudo no ano de 1986.

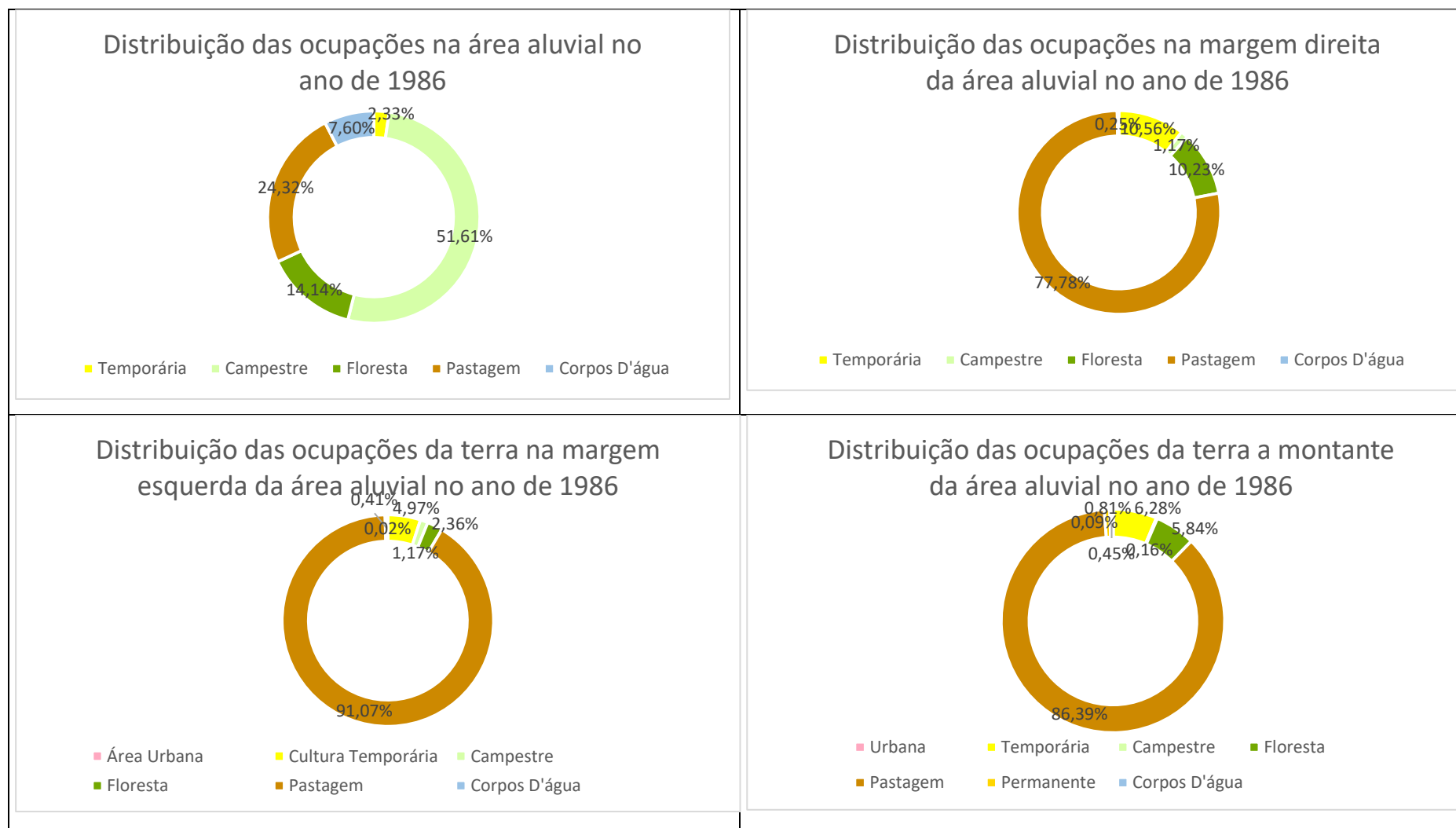


Figura 23 – Mosaico de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatros setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 1986.

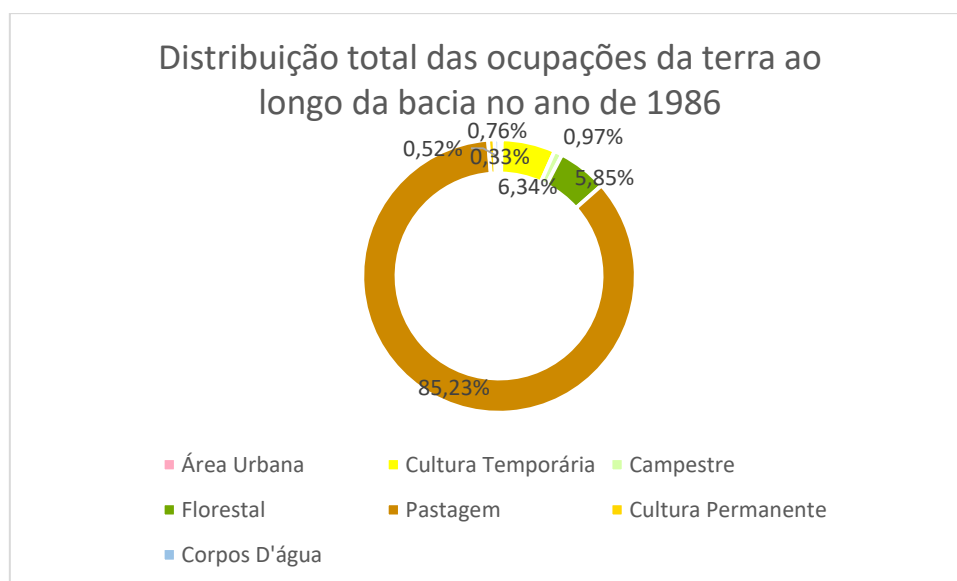


Gráfico 6 – Distribuição total dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no período de 1986.

Sobre as áreas de vegetação natural, a soma total entre as vegetações campestres e florestais tiveram um declínio de 0,5 % em relação as áreas ocupadas em relação ao período anterior. A vegetação campestre ocupou cerca de 114 km² (0,76% da área), porém a vegetação florestal mais do que dobrou, ocupando uma área de 695 km² (5,87% da área), praticamente a mesma área em relação as culturas temporárias.

Ao se analisar somente os dados da área aluvial, esta mostra um predomínio da vegetação campestre (51,65% da área), porém registrando um declínio de cerca de 10% em sua área comparada ao ano de 1964 e diminuição das áreas de pastagem (24,32% da área), em relação ao período de 1964 com regressão de sua área em aproximadamente 30% que resultou em um aumento das áreas de vegetação florestal (14,14% da área) em quase 60%, mostrando uma intensificação nas matas ciliares ao longo do canal do Rio Aguapeí.

Com relação ao uso e ocupação da terra da margem direita da área aluvial do Rio Aguapeí, quase 543km² do uso era constituído por pastagens, uma diminuição em quase 10% se comparada ao período anterior e, tendo em segundo lugar as culturas temporárias com 73km² da área ocupadas por este tipo de uso, percentual aproximado das áreas de vegetação florestal, com uma área ocupada de 71km², um aumento relativo em quase 200%, em relação ao ano de 1964.

Já para margem esquerda, os dados representativos relacionados ao uso da terra destinado a pastagem, ocupam aproximadamente 1000km², um aumento superior a 80% ao ano de 1964. As culturas temporárias ocupam cerca de 4,97% de desta área, e a vegetação florestal e campestre tiveram redução em cerca de mais de 200% de suas áreas em comparação ao ano de 1964.

Por fim, os usos representativos a montante da área aluvial, ainda se mostra mais do que absoluto das pastagens, com ocupando mais de 8500km², um acréscimo de cerca de 50% em relação ao período anterior, tendo com pouca expressividade as áreas de cultura temporária ocupando 618km² de área e a vegetação florestal com 575km² de área ocupada, registrando um aumento relativo expressivo superior aos 550%.

4.4. Uso e ocupação da terra no ano de 1996

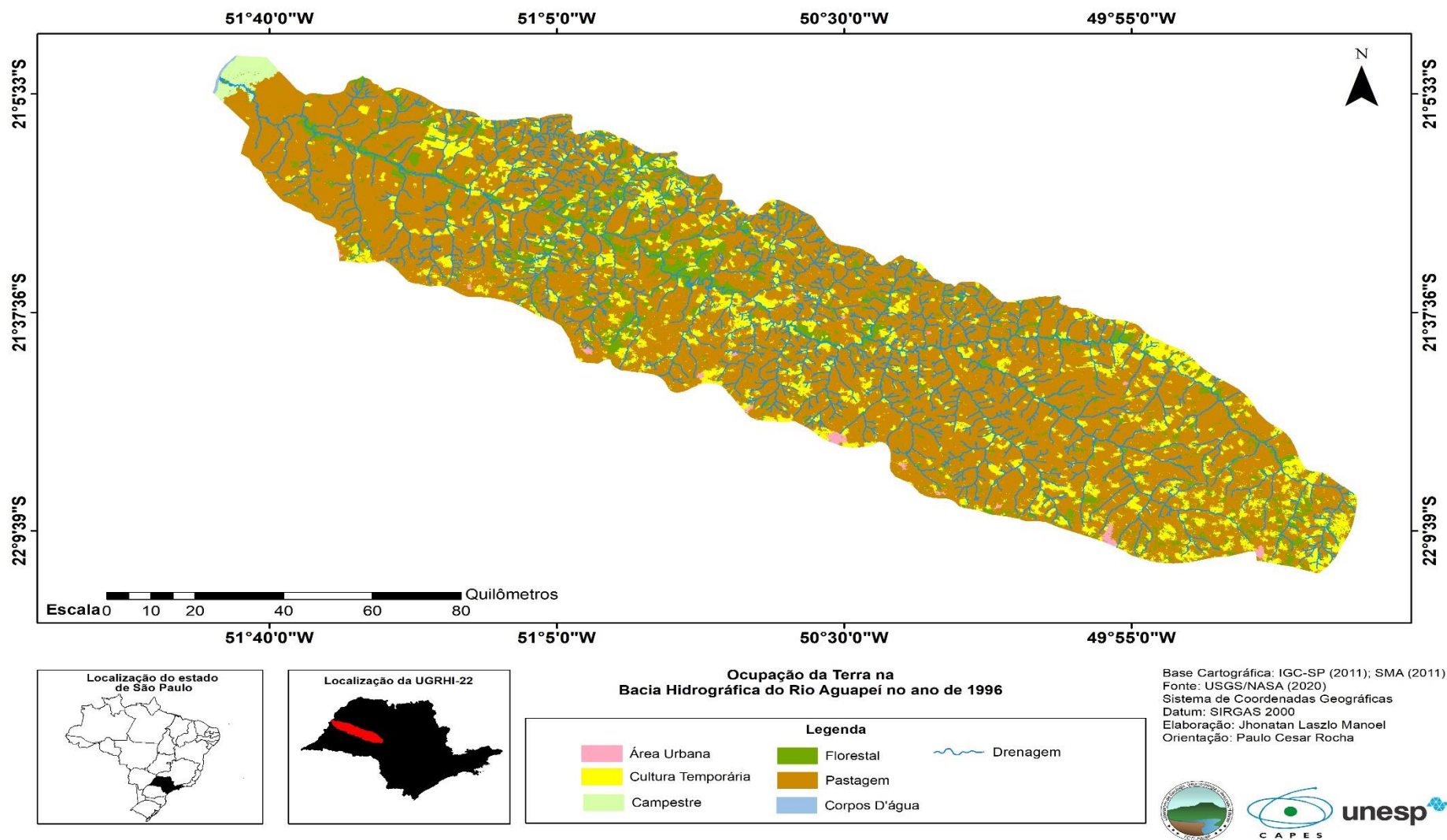
Durante o terceiro período que é registrado no de 1996, é percebido um aumento significativo nas áreas cultura temporária (figura 26), registrando um acréscimo de mais de 100% em suas áreas de plantio, ocupando cerca de 1,563 km² (corresponde a 12,20% da área da bacia hidrográfica). Entretanto, o domínio da terra ainda se dá pelas áreas destinadas a pastagens com aproximadamente 8,900 km², totalizando 73,78% da área, diminuição de aproximadamente 20% em relação ao período de 1986. Por fim, as áreas ocupadas por cidades se mantiveram praticamente estáveis em seus dados relativos, mantendo o seu uso entorno de 41 km².

Já os levantamentos de uso e ocupação da terra para a vegetação natural, tiveram um aumento expressivo na área ocupada pelas florestas, aumentando em 100% a sua quantidade ocupada com mais de 1,400 km² de área (cerca de 11,89% da área) e uma diminuição que tange as áreas de vegetação campestre, que ocuparam apenas 90 km², regredindo sua área em 10% se comparado ao ano de 1986 (0,75% da área total).

Ao analisarmos os dados de uso e ocupação da terra setorizados (figura 27) e os gráficos destes setores (figura 28), a área aluvial teve um aumento em sua área florestal, superior aos 100% no ano de 1996 em relação ao seu período anterior, ocupando 31,34%, todavia as pastagens aparecem em primeiro lugar com um total de 51 km² da área, apresentando um aumento próximo aos 40% e, as áreas de vegetação campestre apresentam cerca 42km², uma diminuição próxima aos 80%.

A margem direita da área aluvial, apresenta domínio da ocupação das áreas de pastagem com 540km², de uso, diminuindo apenas 1%. As culturas temporárias apresentam cerca de 70km² de ocupação da área, tendo uma diminuição aproximada de 5%. As vegetações naturais constam com 1,40km² e 76km² de uso para a vegetação campestre e florestal respectivamente, assim as áreas campestres tiveram um decréscimo de cerca de 600% e as floresta um aumento em quase 10% de suas áreas.

Já a margem esquerda da área aluvial, cerca de 1000km² foram ocupados por pastagens, mantendo suas áreas praticamente estáticas, e as outras classes de usos como culturas temporárias ocuparam 69km², um acréscimo de cerca de 30%, as vegetações florestais ocuparam 68km², aumentando em mais de 100% de sua área e vegetação campestre pouco se alterou, mantendo sua ocupação na casa dos 13km².



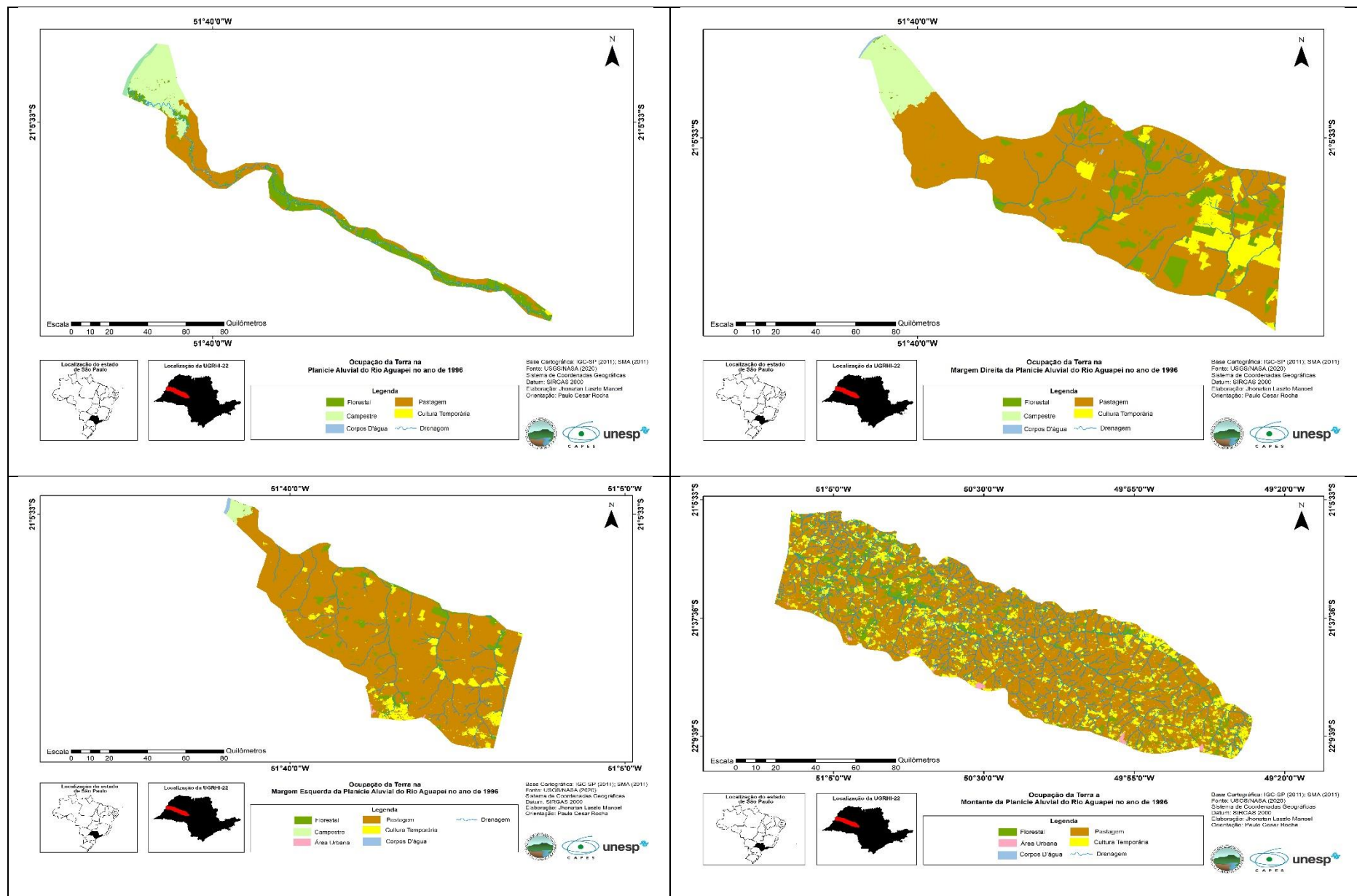


Figura 25 – Mosaico da divisão dos quatro setores estipulados para a área de estudo no ano de 1996.

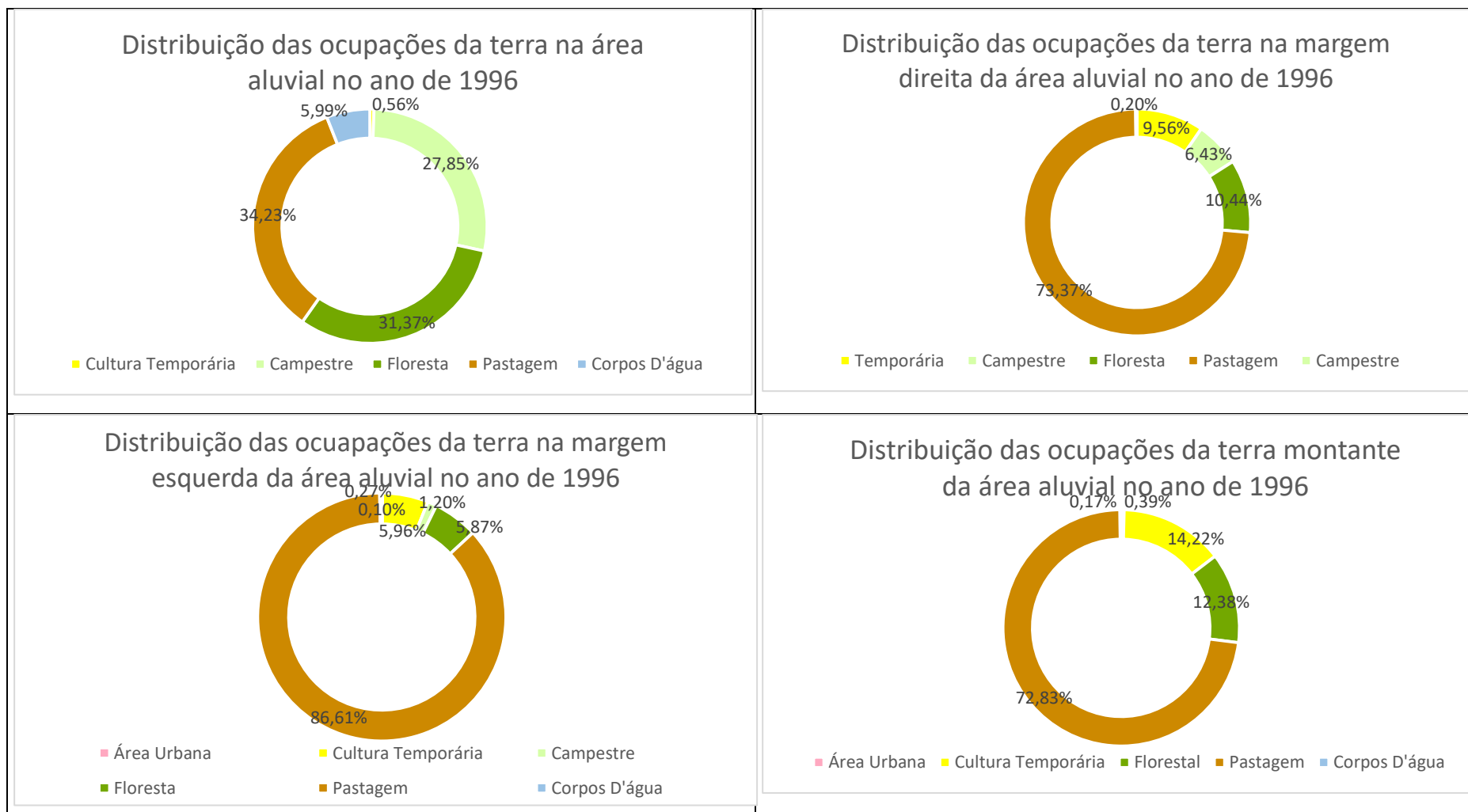


Figura 26 – Mosaico de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatros setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 1996.

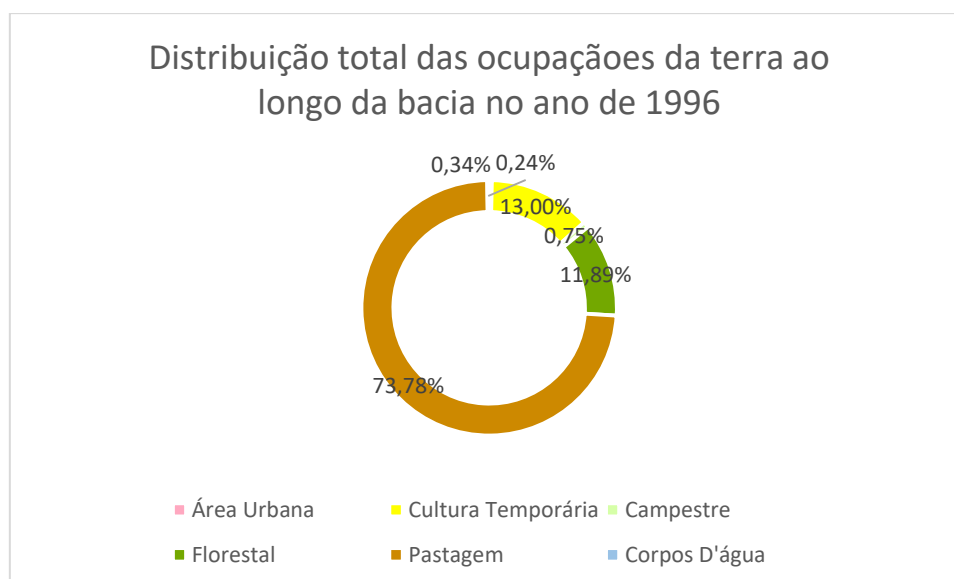


Gráfico 7 – Distribuição total dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no período de 1996.

Por último, a área a montante da área aluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, mantém a predominância das pastagens, que ocupam cerca de 7340km² desta área, tendo uma diminuição de cerca de 10% e os outras classes de usos que apresentam porções de ocupação mais relevantes, é dado pelas culturas temporárias com 1434km², um aumento superior aos 120% de ocupação e a vegetação florestal com 1248km² de ocupação, também apresentando um acréscimo de cerca de 120%.

4.5. Uso e ocupação da terra no ano de 2010

Partindo para os dados de uso e ocupação da terra do quarto período representado pelo ano de 2010 e dos setores estipulados (figura 29 e figura 30) o mesmo é marcado pelo fim do predomínio das pastagens dentro da área da bacia hidrográfica e um aumento expressivo das culturas temporárias representado predominantemente do plantio intensivo da cana-de-açúcar.

Desta forma, as áreas de cultura temporária tiveram um aumento superior no ano de 2010 de praticamente 400% em relação ao ano de 1996, passando a ocupar 5600 km² (cerca de 47% da área da bacia). As áreas de pastagens que tiveram suas áreas reduzidas em cerca de 50%, passando a ocupar cerca de 5,200 km² (43,79% do total da bacia).

Também foram constadas áreas de culturas permanentes, mais precisamente plantio de café próximo a área do município de Marília com apenas 6,5 km² de ocupação

e, as áreas urbanas tiveram um crescimento de cerca de 20% em relação ao ano analisado anteriormente, ocupando cerca de 50 km², mas com pouquíssima expressão em relação ao total da área da bacia.

Já a respeito das vegetações naturais, estas sofreram diminuição em seus dados relativos no que tange a respeito das áreas ocupadas se comparamos com os dados do ano de 1996, sofrendo um declínio de quase 100% na vegetação florestal que ocuparam cerca de 837 km² (7,07% do total da área) e a vegetação campestre foi teve um aumento relativo em quase 15%, tendo 117 km² de área (1,00%).

No diz respeito aos dados de uso e ocupação da terra setorizados e os gráficos destes setores (figura 31), verifica-se um predomínio da vegetação campestre na área aluvial, com 79km² um aumento de quase 100% em relação ao ano de 1996, em contrapartida, a vegetação florestal diminuiu aproximadamente 100% de sua área ocupando 26km² de vegetação florestal, contudo quase 24km² da área foi averiguado a existência de culturas temporárias, tendo um aumento super expressivo de quase 2400% e de pastagens que apresentam um pouco mais de 11km² da área, sendo um diminuição em cerca de 500%.

A margem direita da área aluvial apresenta predomínio do setor agropecuário, na qual 356km² tem seu uso destinado a culturas temporárias, registrando um acréscimo próximo aos 500% e cerca de 274km² ocupadas por pastagens, na qual foram reduzidas em 50%. A cobertura vegetal mais expressiva, fica por conta da vegetação florestal que ocupa cerca de 58km², tendo uma redução próxima aos 30% e a vegetação campestre com um pouca mais de 8,1km² desta área, um aumento próximo da casa dos 800%.

Sobre as classes de uso dominante na margem esquerda da área aluvial é ocupada por 631km² de culturas temporárias, tendo assim suas áreas aumentadas em cerca 900%. As pastagens apresentam cerca de 447km² de uso da terra, em que foram reduzidas em quase 110%. As vegetações florestais ocuparam 41km² e 12,5km² para cobertura campestre, na qual tiveram diminuições de 40% nas áreas de florestas e 10% para as áreas campestres.

Enfim, o setor a montante da área aluvial tem o domínio de seu uso e ocupação praticamente dividido entre as culturas temporárias e pastagens, do modo que, as culturas temporárias apresentam uma ocupação de cerca de 4,500km² desta área, sendo aumentadas em quase 200% e as pastagens com 4440km² de uso e ocupação da

terra, em que foram reduzidas em quase 100% de sua área. A vegetação florestal apresenta cerca de 712km², um decréscimo de 50% de área de uso e a vegetação campestre tem sua ocupação em 17km².

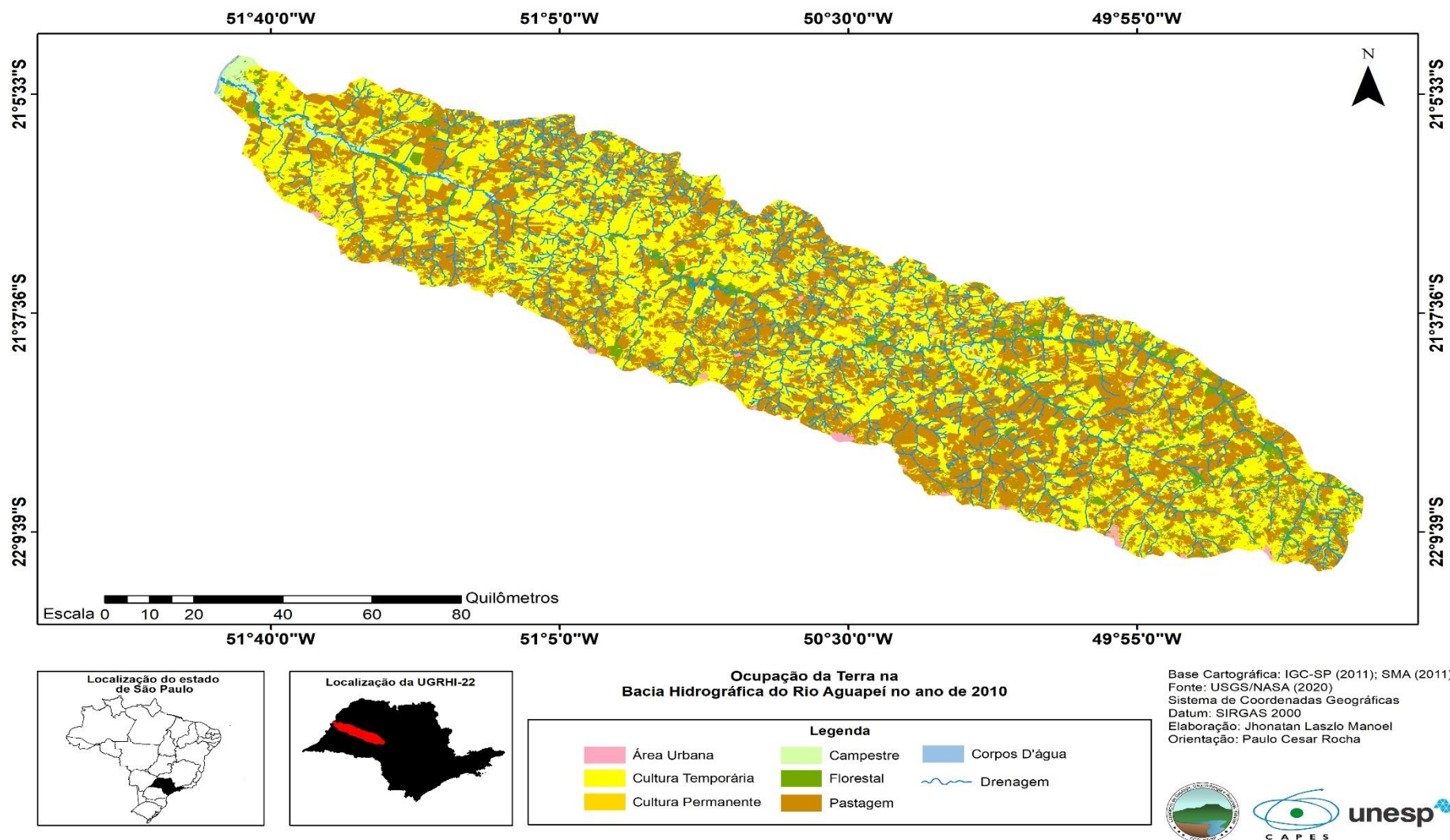


Figura 27 – Carta temática do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2010.

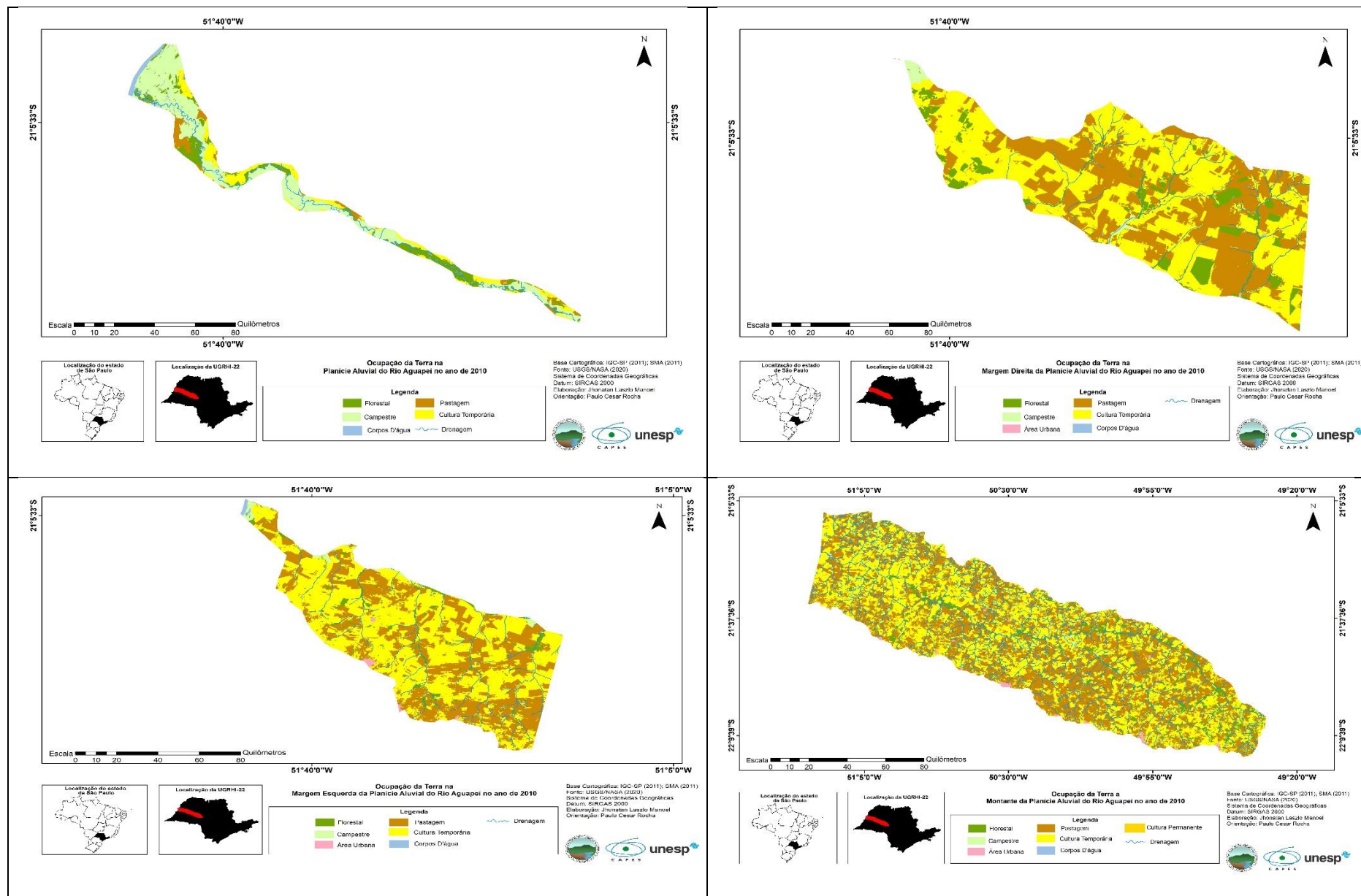
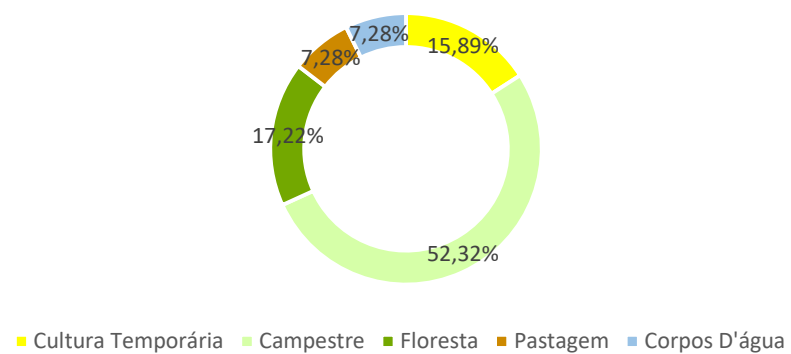
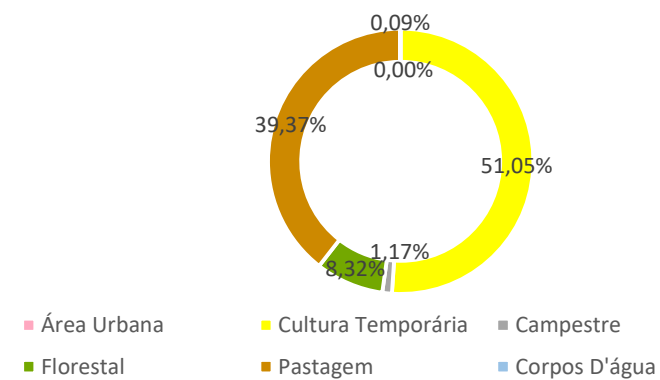


Figura 28 – Mosaico da divisão dos quatro setores estipulados para a área de estudo no ano de 2010.

Distribuição das ocupações da terra na área aluvial no ano de 2010



Distribuição das ocupações da terra na margem direita da área aluvial no ano de 2010



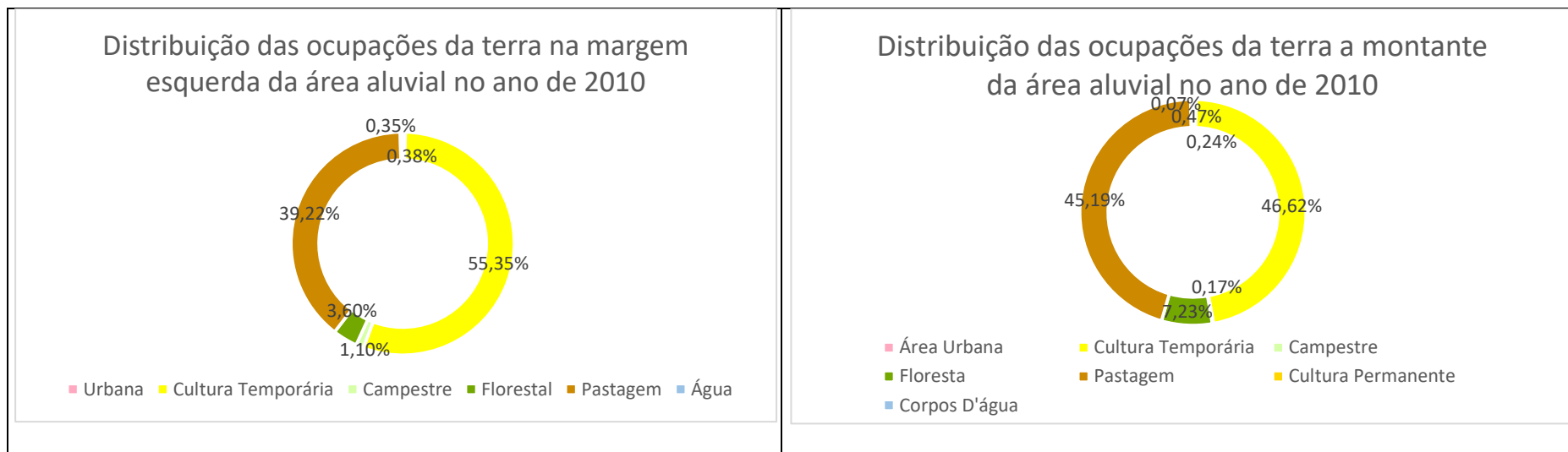


Figura 29 – Mosáicos de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatros setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 2010.

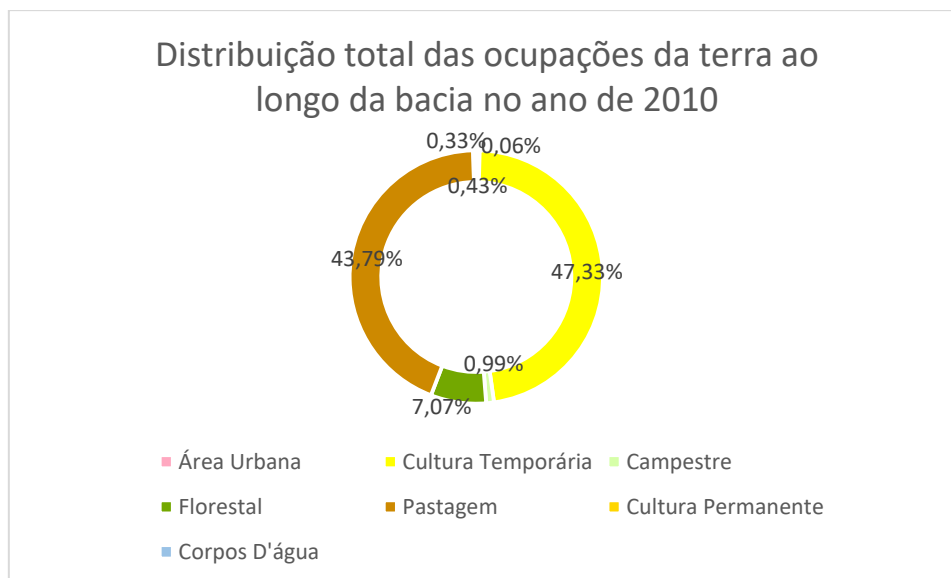


Gráfico 8 – Distribuição total dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no período de 2010.

5.6 Uso e ocupação da terra no ano de 2019

Por fim, o ano de 2019 apresenta a consolidação das culturas temporais sendo representada em sua enorme e massiva expressão pelo cultivo intensivo da cana-de-açúcar na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí (figuras 32).

Ocupando cerca de mais de 8,800 km² (74,60% da área) as culturas temporais representadas pela cana-de-açúcar estão muito bem distribuídas ao longo de toda a bacia hidrográfica, assim apresentando um acréscimo em cerca de 65%, sobrepondo diversas áreas que antes eram ocupadas por pastagens, estas quais tiveram uma diminuição drástica de mais 100% em relação ao ano de 2010, na qual passaram a ocupar apenas 1,900 km² (16,67% da área total).

A respeito de outros usos antrópicos, ocuparam pouco mais de 1% da área da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, apesar do aumento das áreas de culturas permanentes que tiveram seu crescimento em quase 5 vezes em relação ao ano de 2010, ocupando 35 km². As áreas urbanas, tiveram um ligeiro crescimento, passando a ocupar no ano de 2019 56 km².

Com relação aos setores estipulados para a área de estudo e seus dados de uso e ocupação da terra (figuras 33 e 34), a área aluvial apresentou domínio majoritário da vegetação campestre com quase 94km² ocupado, aumentando em quase 20% sua área e a vegetação florestal 21km² de área, sendo diminuída em cerca de 30%. As culturas

temporárias ocuparam 12km² em que foram reduzidas em mais de 100% em relação ao ano de 2010, e as pastagens se mantiveram com praticamente a mesma área do período anterior com cerca de 11km²

A margem direita da área aluvial consta com cerca 496km² de seu uso e ocupação constituído por culturas temporárias sendo aumentadas em quase 40% e cerca de 133km² cobertas por pastagens, em que foram diminuídas em mais de 100%. As áreas de vegetação tiveram suas parcelas mantidas em relação ao ano de 2010.

Na margem esquerda da área aluvial, as culturas temporárias ocuparam 817km², aumentando em cerca de 25% de sua área, já as pastagens tiveram uma redução em aproximadamente 150% ocupando 187km². As áreas de floresta ocuparam 100km², registrando um aumento de mais de 100%, ritmo acompanhado pela vegetação campestre em mais do que dobraram em relação ao ano de 2010, ocupando 25km².

As culturas temporárias tiveram um aumento de sua ocupação superior aos 80%, passando a ocupar cerca de 7,500km², as pastagens tiveram uma redução em 200% de sua área neste setor, ocupando no ano de 2019 cerca de 1450km². Por fim, as florestas foram diminuídas em quase 20%, apresentando 574km² de áreas ocupadas e as vegetações campestres, um acréscimo de quase 20% ocupando cerca 25 km².

Por fim, nas tabelas 8, 9, 10 e 11, é mostrado a distribuição evolutiva das diferentes ocupações da terra ao longa da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, na margem esquerda da área aluvial, margem direita da área aluvial e montante da área aluvial.

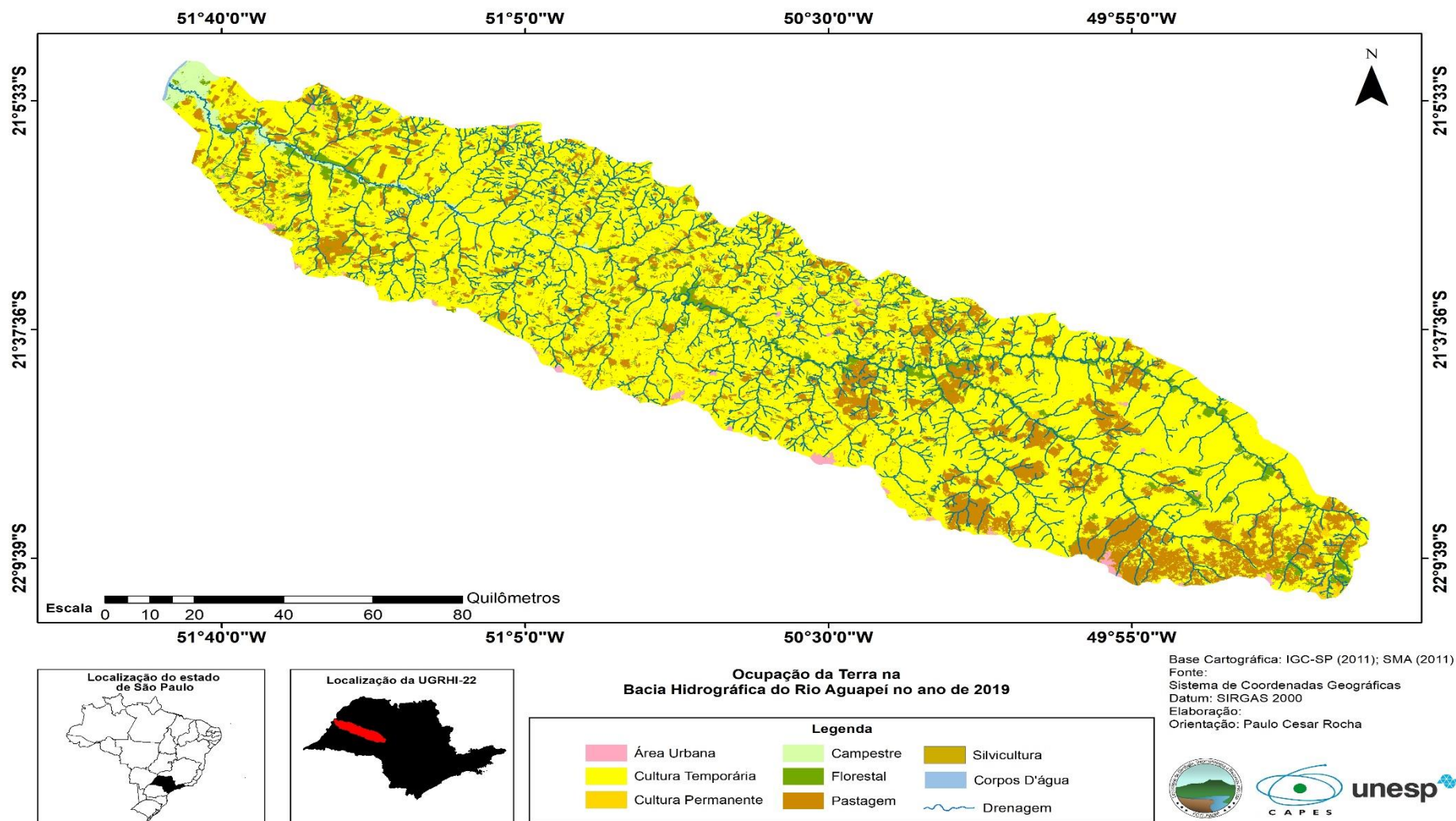


Figura 30 – Carta temática do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2019.

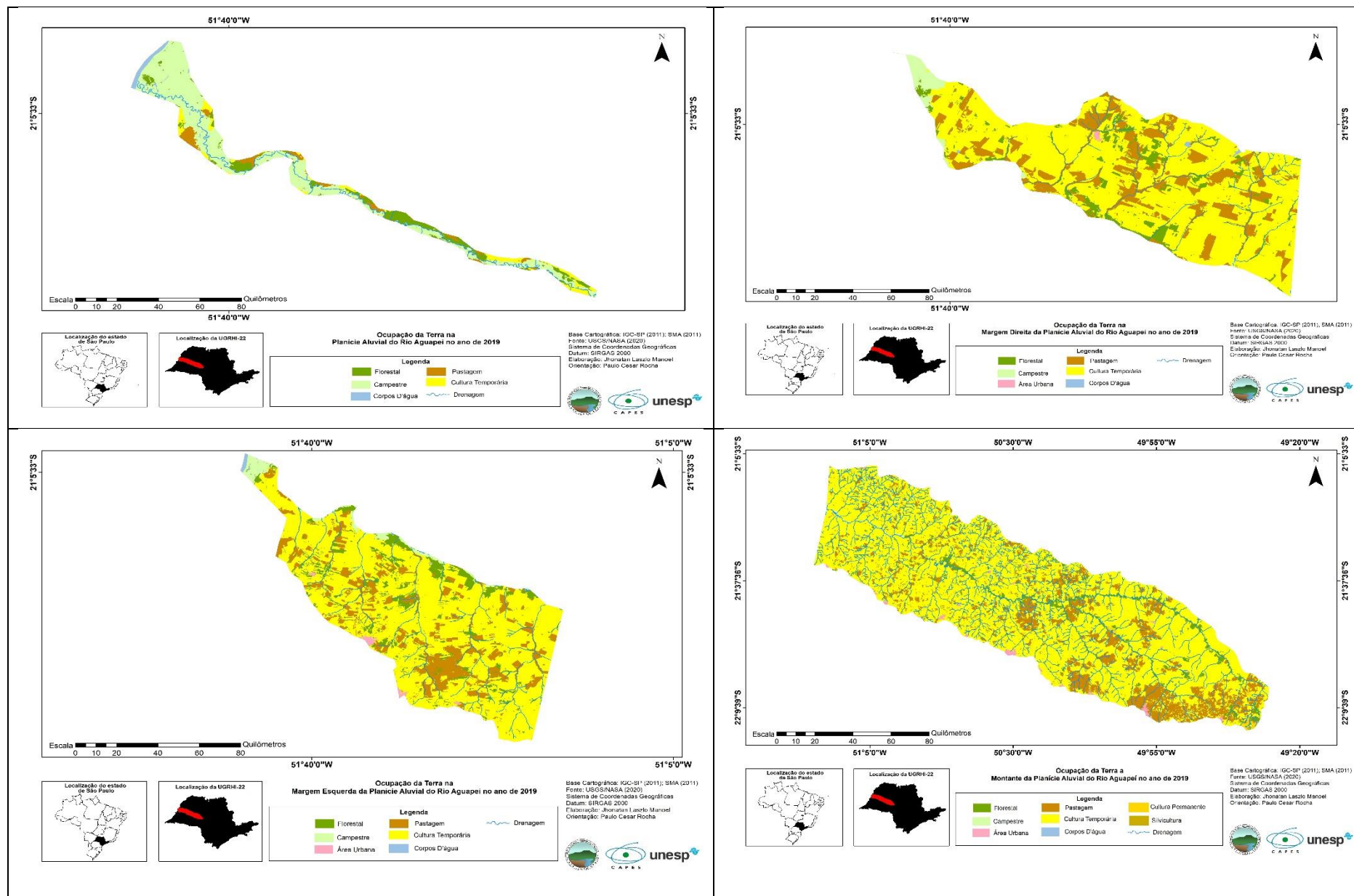
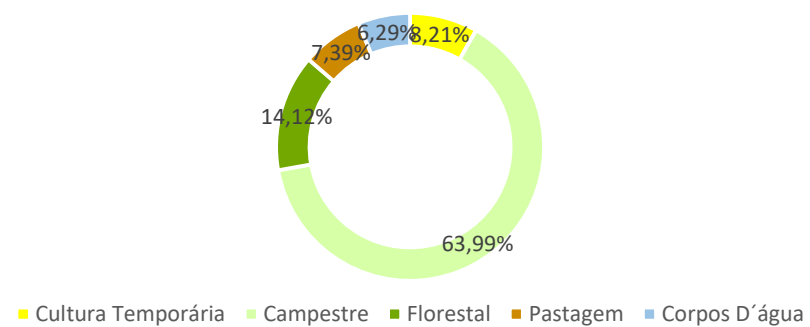
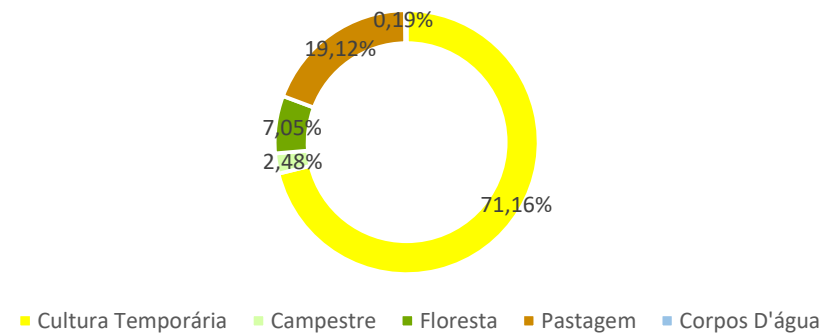


Figura 31 – Mosaico da divisão dos quatro setores estipulados para a área de estudo no ano de 2019.

Distribuição das ocupações da terra na área aluvial no ano de 2019



Distribuição das ocupações da terra na margem direita da área aluvial no ano de 2019



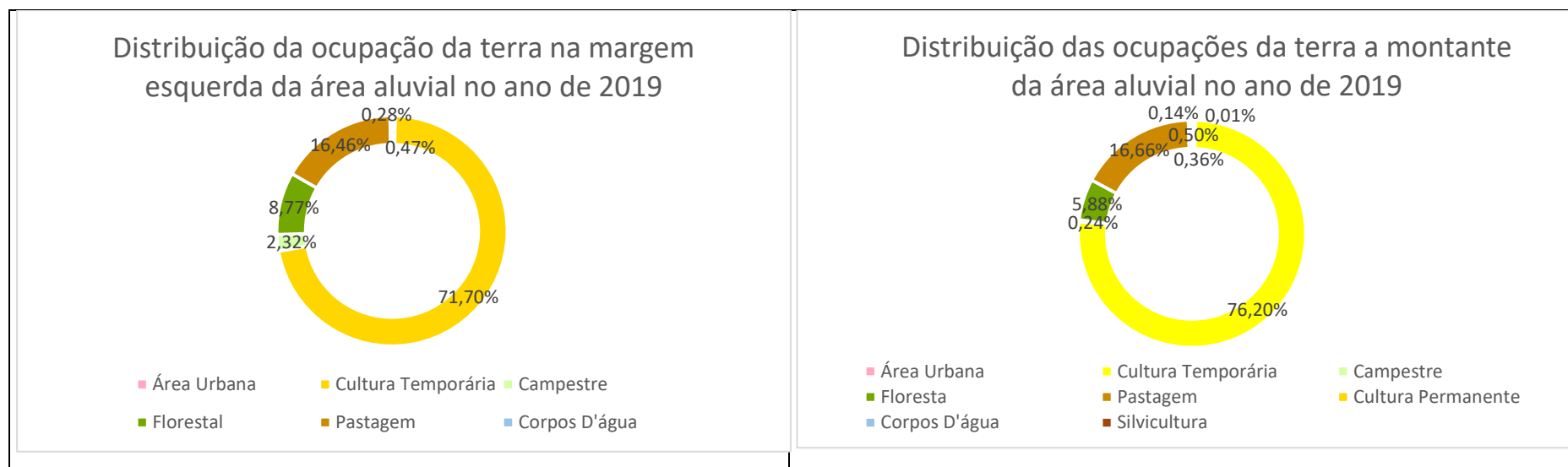


Figura 32 – Mosaico de gráficos representativos das distribuições dos usos da terra em porcentagem dos quatros setores estipulados da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, no período de 2019.

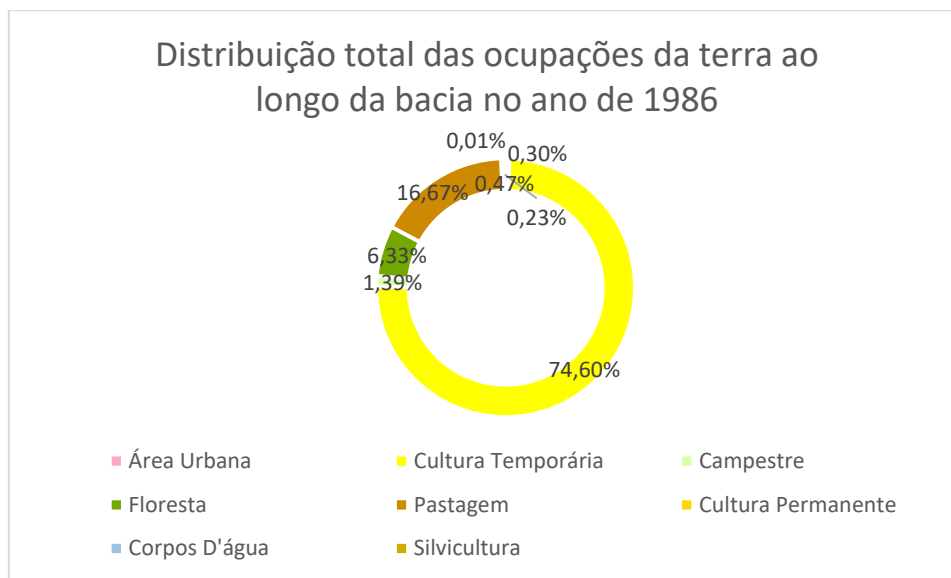


Gráfico 9 – Distribuição total dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no período de 2019.

Tabela 10 – Distribuição evolutiva das diferentes ocupações da terra ao longo de toda a Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí

	1964	1986	1996	2010	2019
Área Urbana	29 km ²	39 km ²	41 km ²	51 km ²	56 km ²
Cult. Temporária	-----	752 km ²	1600 km ²	5600 km ²	8900 km ²
Campestre	597 km ²	114 km ²	90 km ²	117 km ²	164 km ²
Florestal	247 km ²	695 km ²	1450 km ²	837 km ²	750 km ²
Pastagem	7800 km ²	10120 km ²	8930 km ²	5200 km ²	1970 km ²
Cult. Permanente	3420 km ²	90 km ²	-----	6,7 km ²	35 km ²
Corpos D'água	7,5 km ²	61,5 km ²	29,5 km ²	39,5 km ²	27,5 km ²
Silvicultura	-----	-----	-----	-----	0,7 km ²

Tabela 9 – Distribuição evolutiva das diferentes ocupações da terra ao longo da planície aluvial do baixo curso do Rio Aguapeí

	1964	1986	1996	2010	2019
Área Urbana	-----	-----	-----	0,03 km ²	0,9 km ²
Cult. Temporária	-----	3,5 km ²	0,85 km ²	24 km ²	12,4 km ²
Campestre	86 km ²	78 km ²	42 km ²	79 km ²	96,8 km ²
Florestal	3,2 km ²	21 km ²	47 km ²	26 km ²	21,3 km ²
Pastagem	57 km ²	36 km ²	51 km ²	11 km ²	11 km ²
Cult. Permanente	-----	-----	-----	-----	-----
Corpos D'água	4,2 km ²	11,5 km ²	9,2 km ²	11 km ²	9,5 km ²
Silvicultura	-----	-----	-----	-----	-----

Tabela 10 – Distribuição evolutiva das diferentes ocupações da terra na margem direita da área aluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí

	1964	1986	1996	2010	2019
Área Urbana	-----	-----	-----	0,03 km ²	0,9 km ²
Cult. Temporária	-----	73 km ²	69 km ²	356 km ²	496 km ²
Campestre	120 km ²	8,1 km ²	46 km ²	8,1 km ²	17 km ²
Florestal	25 km ²	71 km ²	76 km ²	58 km ²	49 km ²
Pastagem	581 km ²	543 km ²	534 km ²	274 km ²	133 km ²
Cult. Permanente	-----	-----	-----	-----	-----
Corpos D'água	1,2 km ²	1,7 km ²	1,4 km ²	0,61 km ²	1,3 km ²
Silvicultura	-----	-----	-----	-----	-----

Tabela 11 – Distribuição evolutiva das diferentes ocupações da terra na margem esquerda da área aluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí

	1964	1986	1996	2010	2019
Área Urbana	3,57 km ²	0,26 km ²	1,2 km ²	4,3 km ²	5,3 km ²
Cult. Temporária	-----	56 km ²	69 km ²	631 km ²	817 km ²
Campestre	82 km ²	13 km ²	13 km ²	12 km ²	26 km ²
Florestal	131 km ²	26 km ²	67 km ²	41 km ²	100 km ²
Pastagem	590 km ²	1033 km ²	1002 km ²	447 km ²	187 km ²
Cult. Permanente	346 km ²	-----	-----	-----	-----
Corpos D'água	2,7 km ²	4,6 km ²	3,02 km ²	3,9 km ²	3,14 km ²
Silvicultura	-----	-----	-----	-----	-----

Tabela 12 - Distribuição evolutiva das diferentes ocupações da terra a montante da área aluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí

	1964	1986	1996	2010	2019
Área Urbana	26 km ²	30 km ²	39 km ²	46 km ²	49 km ²
Cult. Temporária	-----	618 km ²	1434 km ²	4593 km ²	7508 km ²
Campestre	316 km ²	15 km ²	-----	17 km ²	23 km ²
Florestal	86 km ²	575 km ²	1248 km ²	712 km ²	579 km ²
Pastagem	6580 km ²	8512 km ²	7343 km ²	4453 km ²	1642 km ²
Cult. Permanente	3074 km ²	79 km ²	-----	6,7 km ²	35 km ²
Corpos D'água	-----	3,03 km ²	16 km ²	24 km ²	13 km ²
Silvicultura	-----	-----	-----	-----	0,7 km ²

CAPÍTULO 5 – LEVANTAMENTO E ANÁLISE DO APORTE DE SEDIMENTO EXPORTADO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AGUAPEÍ

5.1 Considerações Iniciais

Como elucidado na literatura, sistemas fluviais são altamente dinâmicos e podem experimentar mudanças significativas em sua morfologia ao longo do tempo. Segundo Hooke (2003), a sedimentação desempenha um papel crucial nesse processo, influenciando diretamente a forma do canal. A interação entre a produção de sedimentos e a morfologia do canal é evidente, especialmente em canais meandrantos.

Nesse contexto, o aporte de sedimentos exerce um papel fundamental na dinâmica fluvial. A quantidade e a taxa de deposição de sedimentos podem alterar a morfologia do canal, influenciando processos como a migração lateral. Zancopé (2009) destaca que a mobilização de sedimentos é um dos principais fatores que promovem a migração do canal.

Stevaux e Latrubesse (2017) acrescentam que as oscilações do fluxo hídrico e as diferentes formas de uso da terra ao longo da bacia hidrográfica podem modificar os processos deposicionais e, conseqüentemente, a forma do canal fluvial.

Assim, este capítulo tem como objetivo analisar a mudança do aporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí ao longo do tempo, com foco nos quatro setores definidos para esta pesquisa. Essa análise contribuirá para uma melhor compreensão da dinâmica fluvial da planície aluvial do rio.

5.1. Aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1964.

Como realizado nas análises descritivas a respeito do uso da terra no capítulo anterior, em que a Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí foi dividida em 4 setores diferentes, a análise para o aporte de sedimento também seguiu a mesma lógica.

Dessa forma, o aporte de sedimento exportado para o ano de 1964 na bacia analisada foi o mais baixo entre os 5 períodos analisados de acordo com a aplicação da metodologia proposta.

Assim, os documentos cartográficos produzidos para este ano, praticamente estabeleceram mapas monocromáticos (figuras 35 e 36), em que praticamente toda a bacia o aporte de sedimento exportado ficou dentro da primeira classe estabelecida, sendo uma perca de solo entre <10 ton.ha/ano considerado como um grau de erosão muito baixo, apesar de apresentar todas as cinco classes estabelecidas para a análise de acordo com o *software* de mapeamento.

Com isto, tanto a área aluvial como a margem direita da planície aluvial somente constaram dados de aporte de sedimento exportado dentro de <10 ton.ha/ano, sendo assim, apresentando um grau de erosão muito baixo em ambos os setores.

Já na margem esquerda da área aluvial, o aporte de sedimento exportado neste setor, apresentou desde a primeira classe de aporte de sedimento (<10 ton.ha/ano, com grau muito baixo de erosão) até a classe mais alta (> 100 ton.ha/ano, com grau muito alto de erosão), porém com um predomínio de praticamente 100% deste setor com menor grau de erosão e aporte de sedimento.

Por fim, na área a montante da planície aluvial a situação é praticamente a mesma que se repete na margem esquerda da planície, um predomínio total do sedimento exportado entre as <10 ton.ha/ano, mesmo apesar de existirem áreas com o maior grau de aporte de sedimento exportado na bacia.

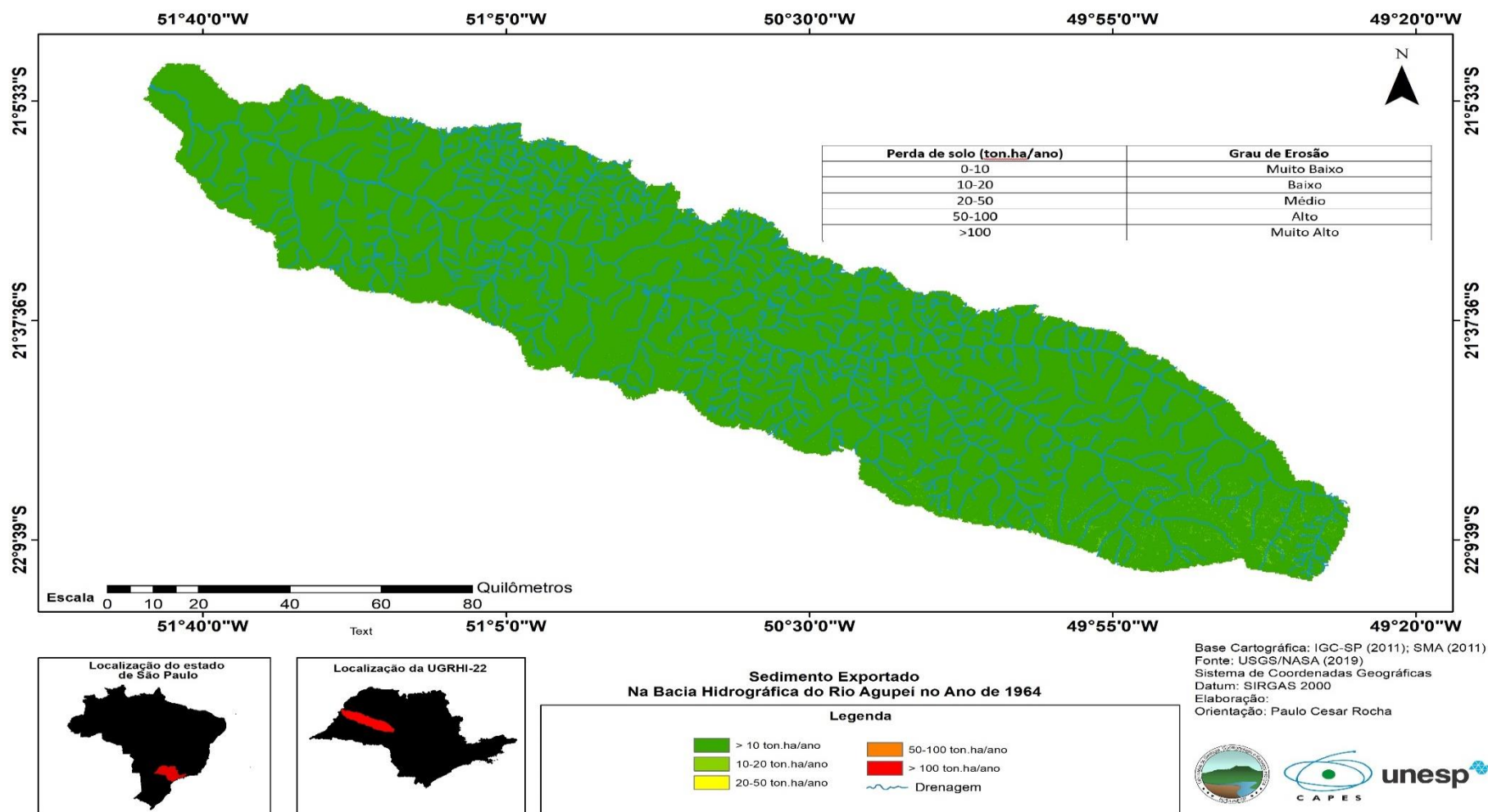


Figura 33 – Aporte de sedimento exportado ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1964.

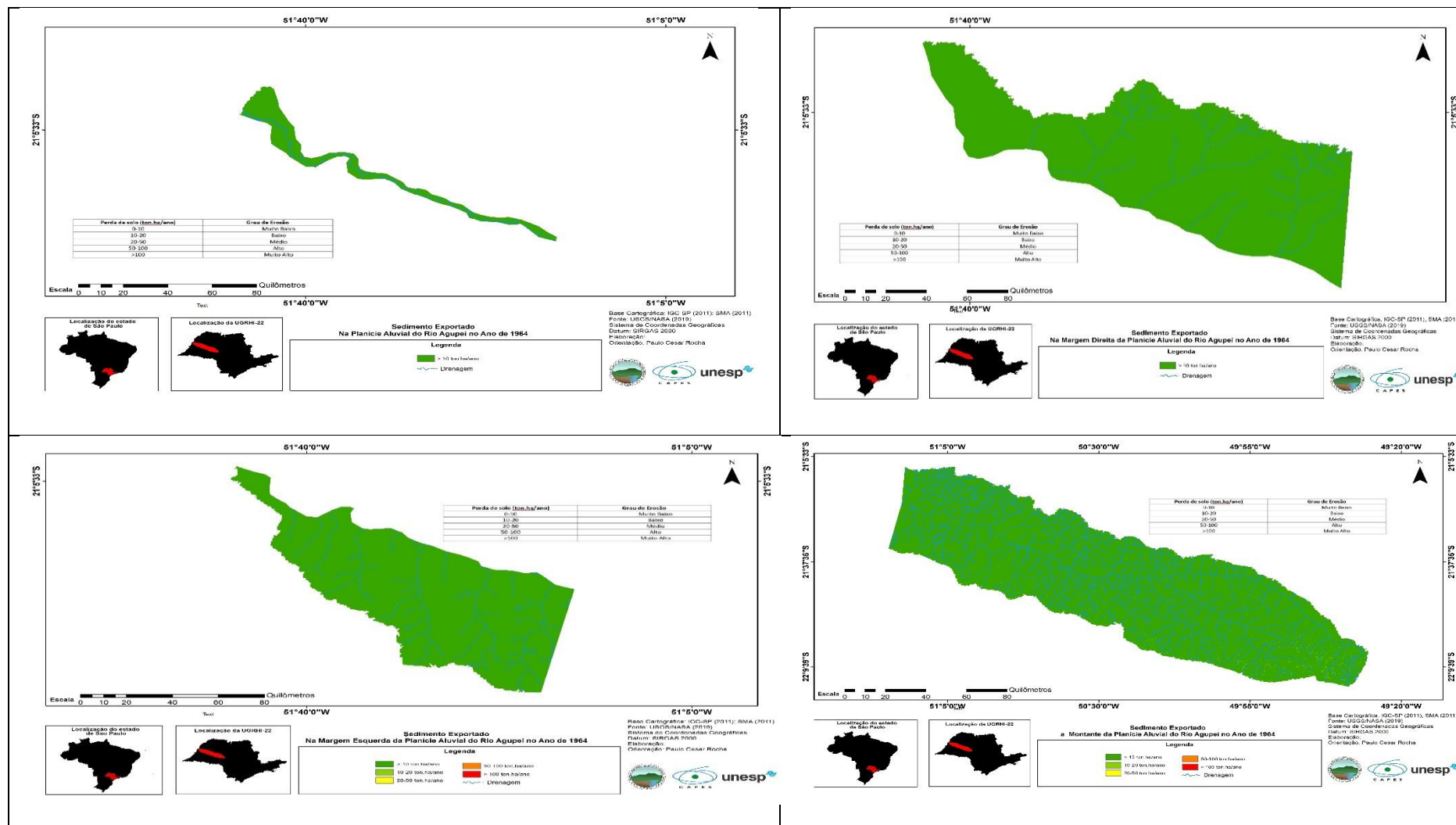


Figura 34 – Mosaico do aporte de sedimento nos quartos setores para a área de estudo no de 1964.

5.2. Aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1986.

No período subsequente, o ano de 1986 registrou um aumento na quantidade de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, porém ainda com um predomínio massivo da primeira classe de aporte de sedimento (<10 ton.ha/ano), como mostram as figuras 37 e 38.

Contudo, é importante frisar que o aumento do sedimento exportado se deu ao longo por quase toda a bacia em análise, em que o aporte de sedimento se deu entre as classes de 10-20 ton.ha/ano, com baixo grau de erosão e 20-50 ton.ha/ano, que registra médio grau de erosão, concentrando principalmente próximo as áreas de nascimento do Rio Aguapeí e em seu médio curso.

No setor da planície aluvial somente foram registrados dados de aporte de sedimento entre <10 ton.ha/ano, com grau muito baixo de erosão, mantendo a mesma tendência do período de 1964.

Porém, nas margens esquerda e direita da área da planície aluvial se há o registro de < 10 ton.ha/ano até > 100 ton.ha/ano de aporte de sedimento exportado nestas áreas. Mas vale ressaltar que o predomínio ainda consiste na classe de sedimento exportado mais baixa.

Entretanto, nas áreas de cabeceiras dos afluentes do Rio Aguapéi em ambas as margens da planície aluvial, a uma concentração da classe que varia entre as 10-20 ton.ha/ano e também 20-50 ton.ha/ano que fizeram que o grau de erosão nessas áreas aumentasse de certa forma mais considerável.

Apesar de que na área montante da planície aluvial também predominar o sedimento exportado <10 ton.ha/ano, há uma incidência maior do sedimento exportado entre 10-20 ton.ha/ano que se distribui ao longo de toda área à montante da planície aluvial. Deste modo, o aumento do grau de erosão em relação ao lapso de tempo entre o período anterior já começa a ser visto com mais clareza ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.

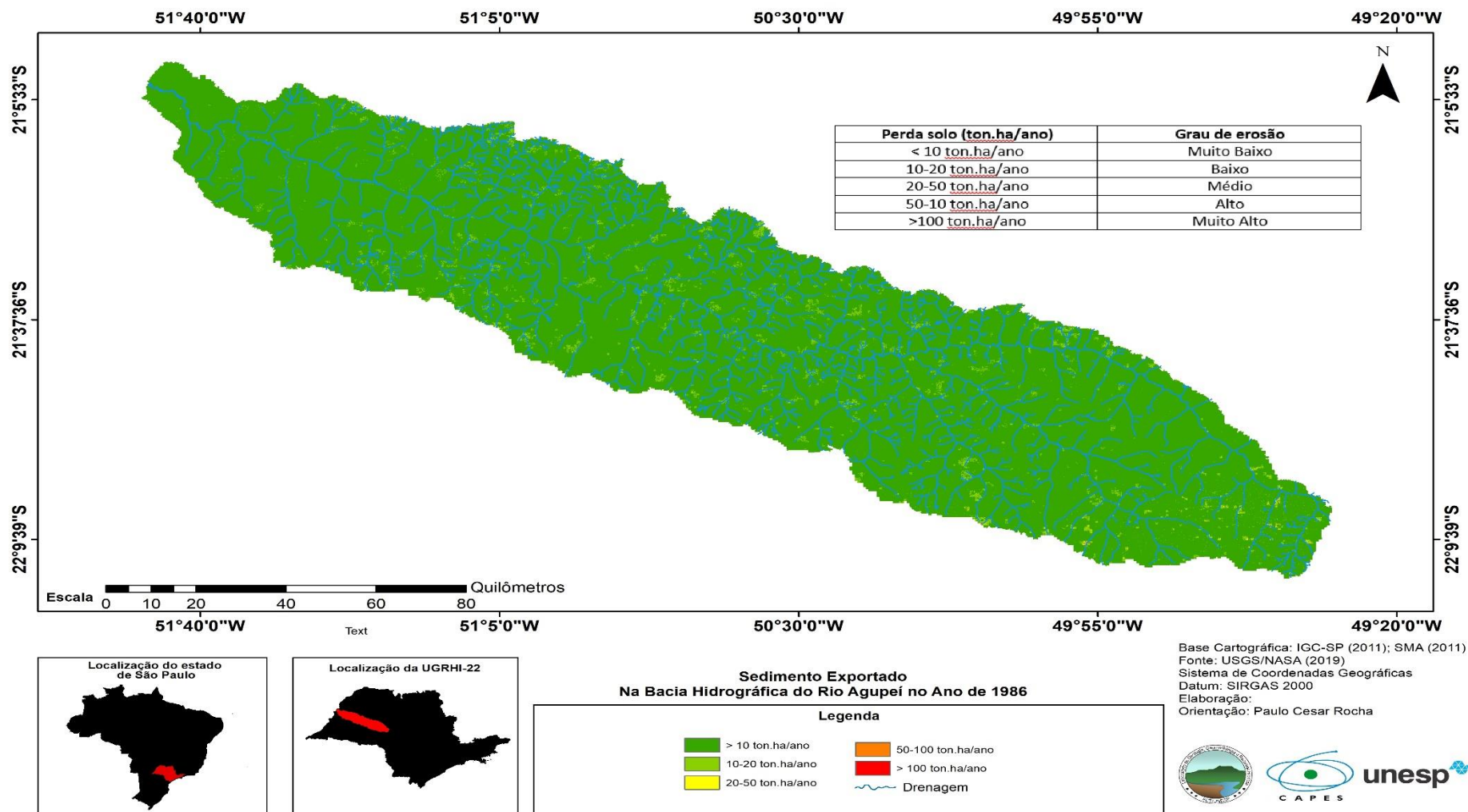


Figura 35 – Aporte de sedimento exportado ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1986.

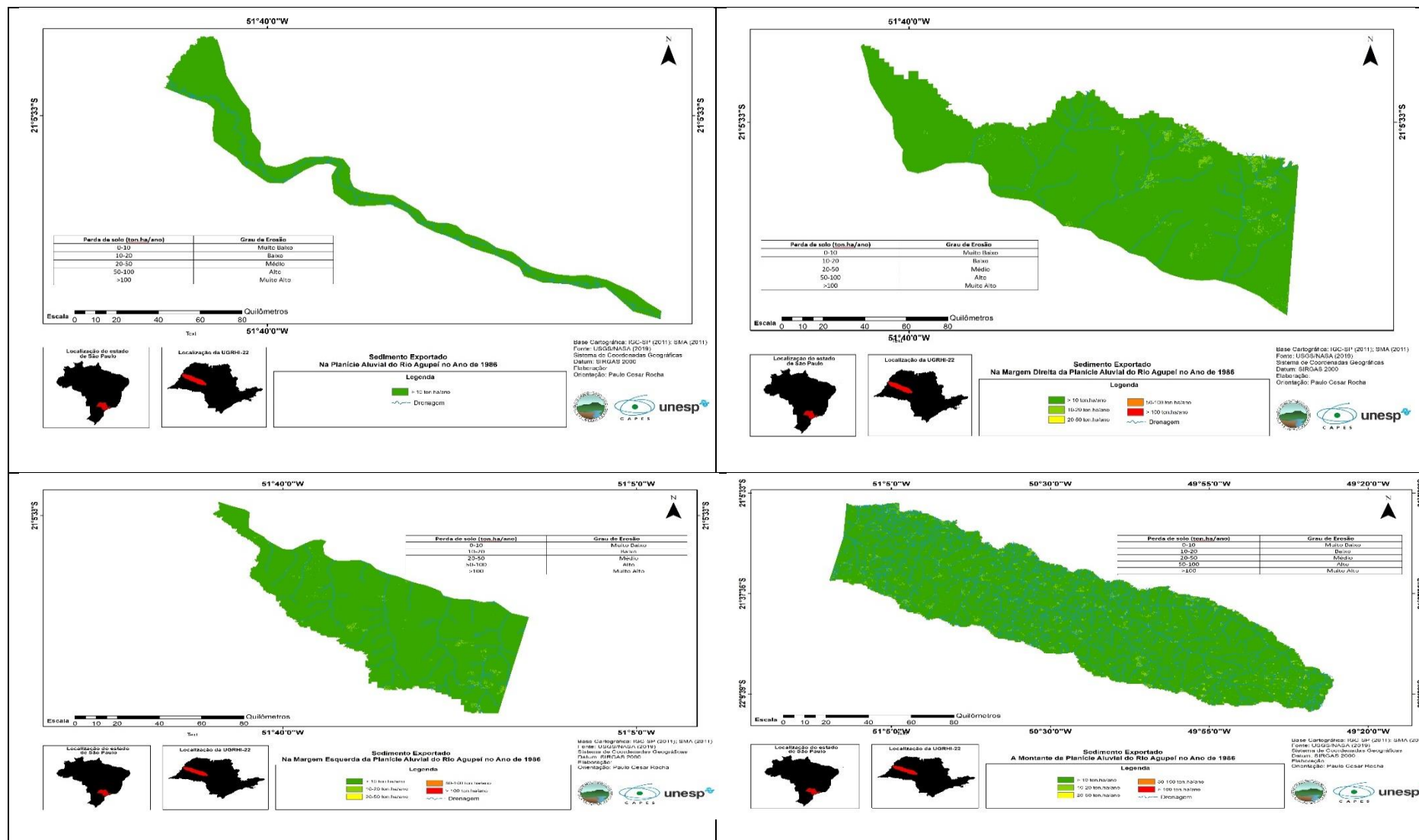


Figura 36 – Mosaico do aporte de sedimento nos quartos setores para a área de estudo no de 1986.

5.3. Aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1996.

Seguindo para o terceiro período da análise, os produtos cartográficos confeccionados para o ano de 1996 (figuras 39 e 40), ainda mostram uma enorme tendência da primeira classe de aporte sedimento exportado, em que majoritariamente a bacia encontra-se com um grau muito baixo de erosão ($< 10 \text{ ton.ha/ano}$). Contudo algumas ressalvas precisam ser feitas para esse período em três dos quatros setores.

A setor da planície aluvial da área de estudo continua com a mesma taxa de aporte de sedimento exportado dos dois últimos períodos analisados, com dados na classe de $< 10 \text{ ton.ha/ano}$ em toda a sua área.

Na margem direita da planície aluvial, apesar de não haver a ocorrência das cinco classes estipuladas nos produtos cartográficos, há uma incidência concentrada da classe de $10\text{-}20 \text{ ton.ha/ano}$ de aporte de sedimento exportado e outras em alguns cabeceiras de drenagem, porém ainda apresentam um baixo grau de erosão.

Já a margem esquerda da planície aluvial, o cenário continuar similar ao do ano de 1986, só que a concentração da classe de $10\text{-}20 \text{ ton.ha/ano}$ se deslocou ainda mais para as áreas de cabeceiras, mas também mantém os níveis de erosão baixos como visto na margem direita.

Por fim, na área à montante da planície aluvial é visto um aumento mais expressivo de todas as classes de aporte de sedimento exportado elevando o grau de erosão, principalmente próximo a área das nascentes do Rio Aguapeí, em que o sedimento exportado na classe de $20\text{-}50 \text{ ton.ha/ano}$ de começa a apresentar com mais reincidência, com áreas $> 100 \text{ ton.ha/ano}$ começam a ficar mais visíveis dentro dos produtos cartográficos.

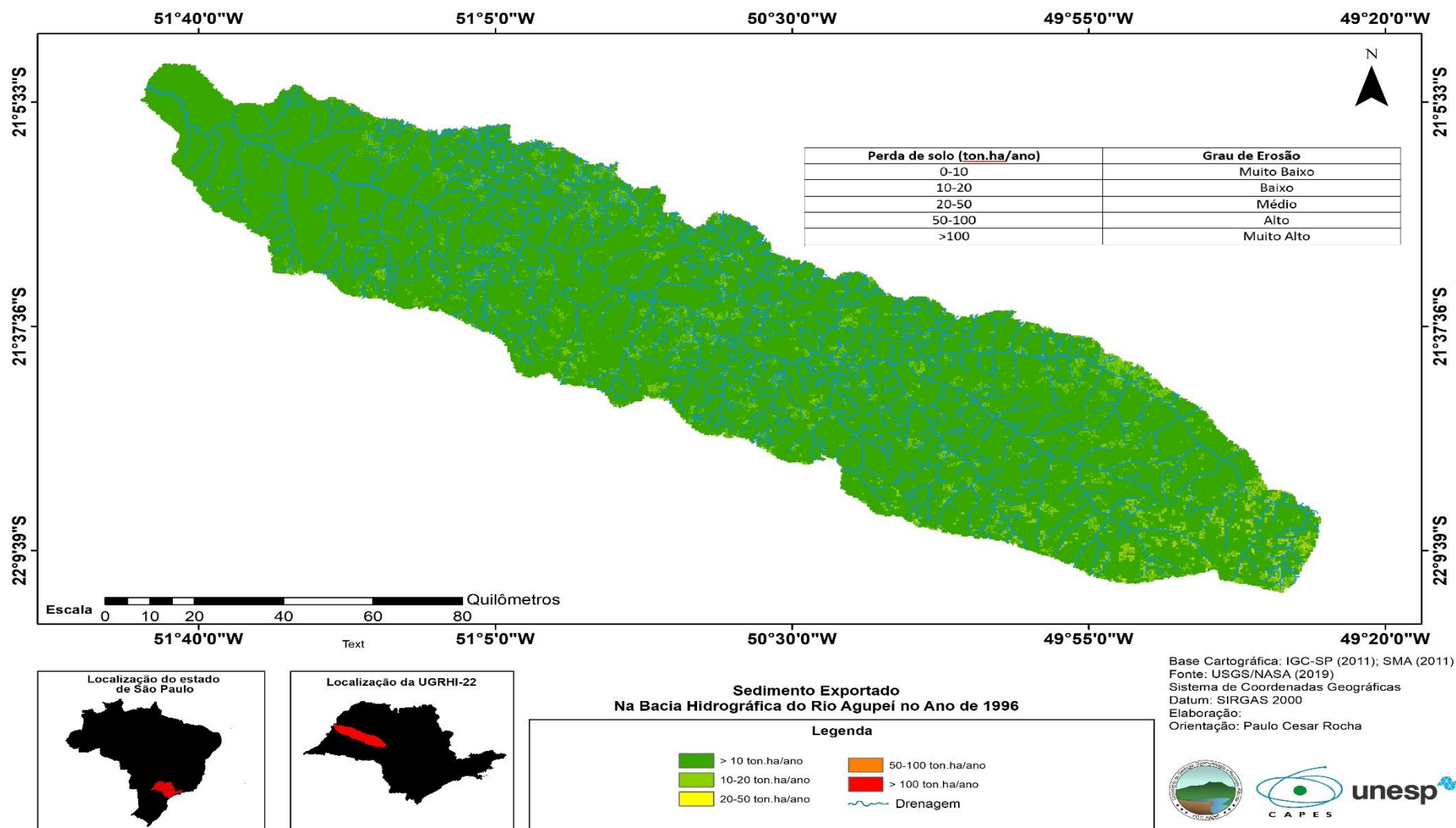


Figura 37 – Aporte de sedimento exportado ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 1986.

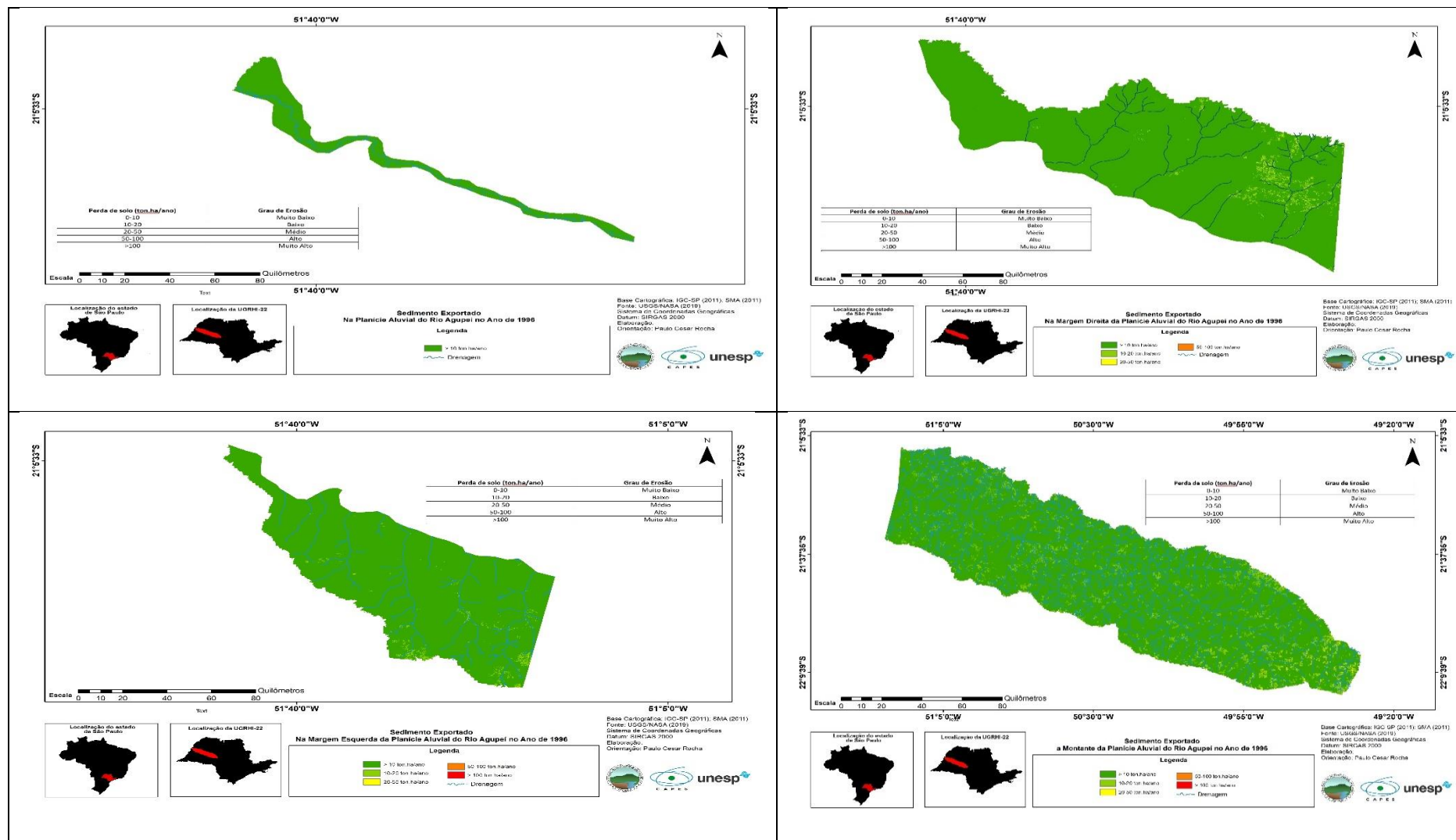


Figura 38 – Mosaico do aporte de sedimento nos quartos setores para a área de estudo no de 1996.

5.4. Aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2010.

No quarto período análise, a uma mudança considerável nas taxas de aporte de sedimento exportado ao longo de toda Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, com o aparecimento de diversas áreas com taxas de 10-20 ton.ha/ano em toda área da bacia, como pode ser visto nas figuras 41 e 42, na qual mesmo que modestas em muito dos casos, acompanhadas de áreas com taxas entre 20-50 ton.ha/ano e superiores, que acabam por elevar os níveis de erosão.

Na área da planície aluvial da área de estudo, ainda se há a enorme predominância da classe mais baixa de aporte de sedimento exportado (< 10 ton.ha/ano), contudo no de 2010 é o primeiro em que nesta área é registrado todas as cinco classes de aporte de sedimento exportado, mostrando que o aumento do grau de erosão dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí não está mais somente restrito as áreas de cabeceiras.

A respeito da margem direita da área planície aluvial, grande parte do aporte de sedimento exportado ainda consiste na menor classe de < 10 ton.ha/ano, porém a um aumento das taxas de 10-20 ton.ha/ano ao longo das cabeceiras da margem direita e principalmente próximo a área da foz do Rio Aguapeí que ainda não se havia constatado.

Na margem esquerda da área aluvial, acaba ocorrendo o mesmo processo descrito na margem direita citada no parágrafo anterior, em que há um aumento significativo das taxas de 10-20 ton.ha/ano em relação ao período anterior que se estenderam até as proximidades da foz do Rio Aguapeí, que mesmo ainda apresentem um grau baixo de erosão, já mostrando mudanças ocorridas ao longo da bacia.

Por final, na área a montante da planície aluvial a classe que representa o menor grau de erosão, com taxas < 10 ton.ha/ano começa a perder a sua predominância, da maneira que as intensidades dos processos erosivos aumentaram em toda esta área também como já dito no começo do tópico, sendo que nas proximidades da nascente do Rio Aguapeí o grau de erosão apresenta índice alto e muito alto de erosão (50-100 ton.ha/ano e > 100 ton.ha/ano respectivamente).

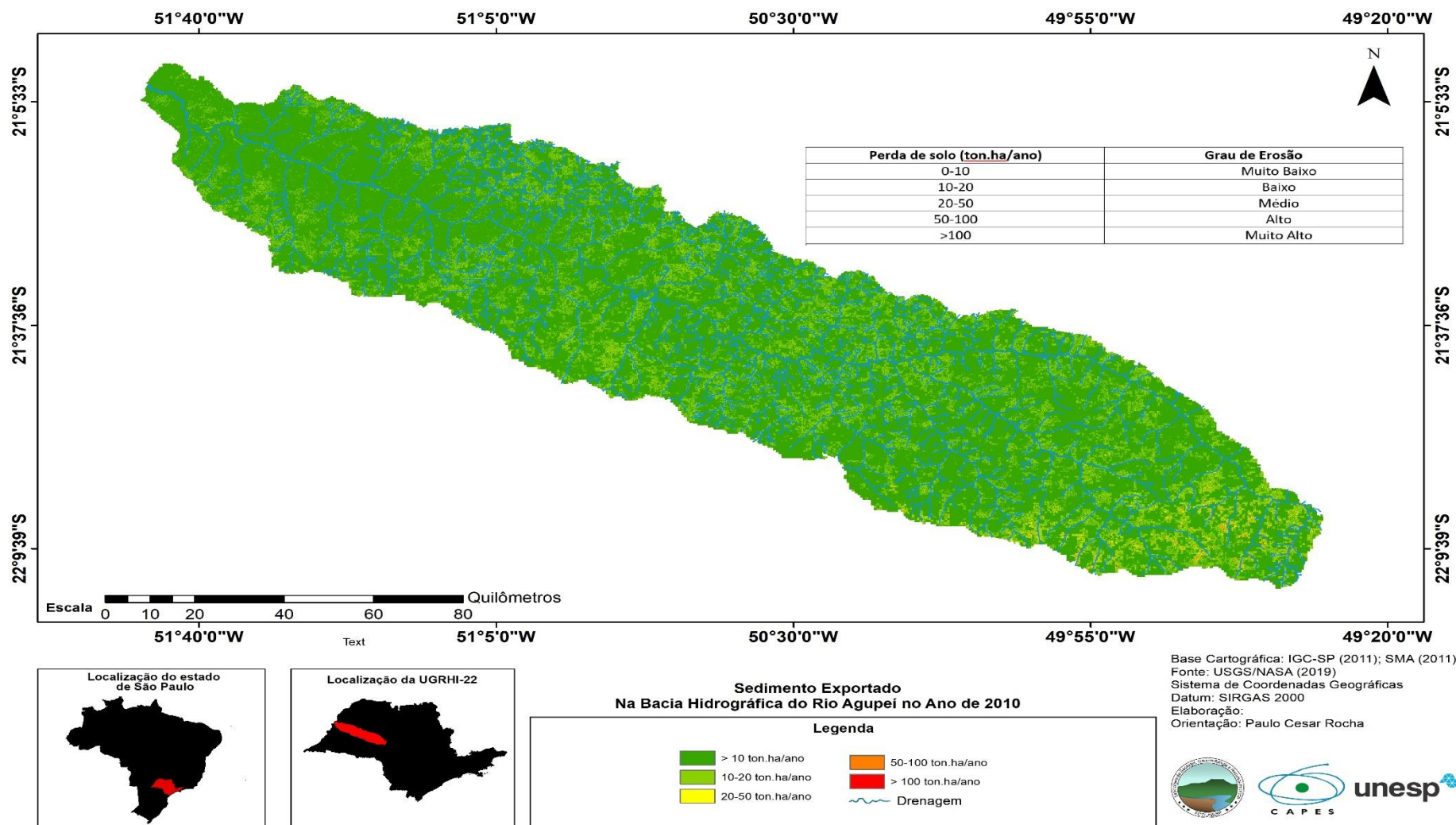


Figura 39 – Aporte de sedimento exportado ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2010.

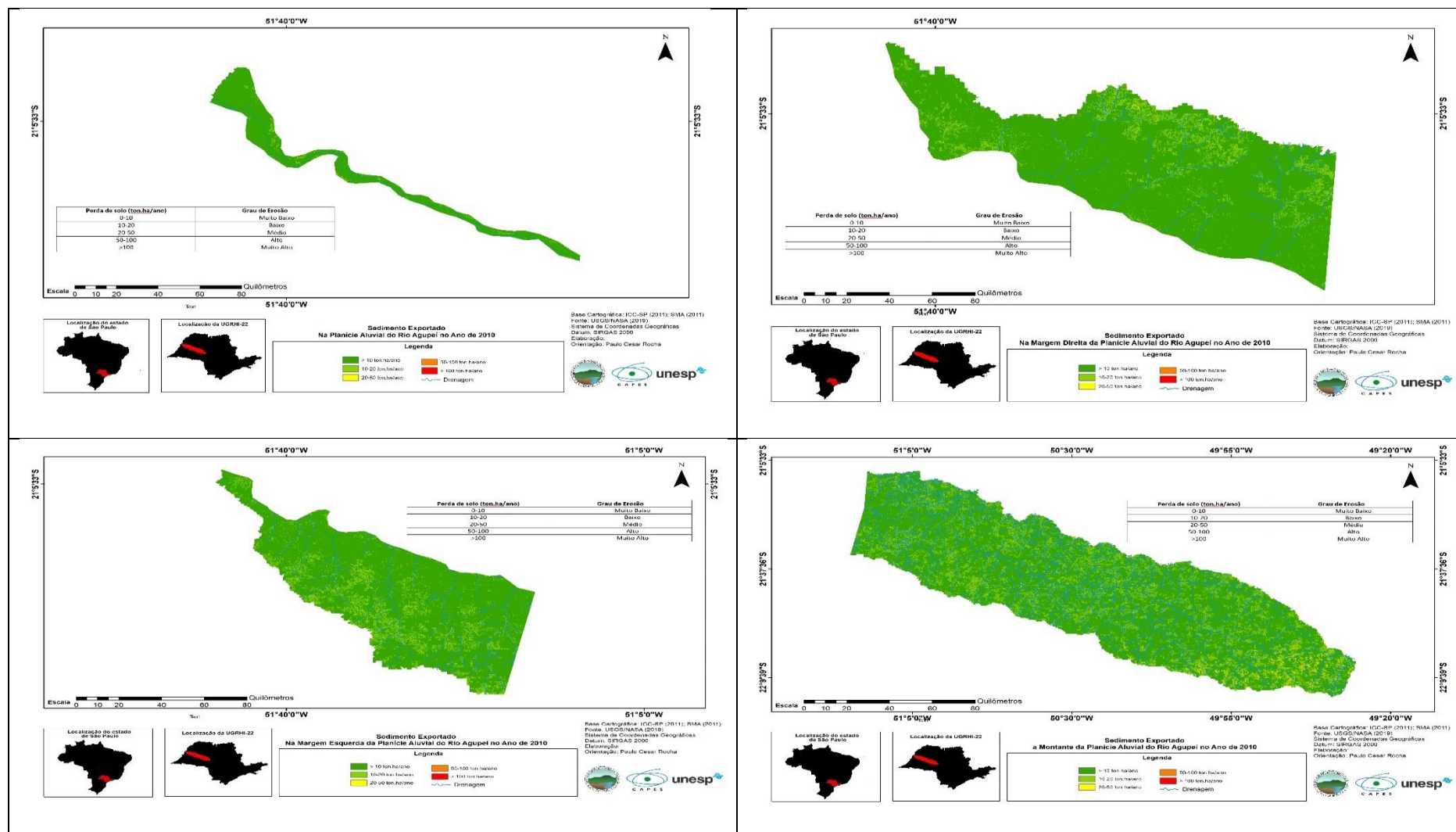


Figura 40 – Mosaico do aporte de sedimento nos quartos setores para a área de estudo no de 2010.

5.5. Aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2019.

No último período de análise de aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí (figuras 43 e 44), mostra que não há mais uma classe predominante ao longo de toda a área da bacia, com um aumento massivo nas áreas de nascente do Rio Aguapeí em comparação com o produto cartográfico do de 1964, que apesar de constar na legenda todas as classes de aporte de sedimento, praticamente apresentava uma classe visivelmente.

Assim, na área aluvial de estudo apresentou quatro das cinco classes estipuladas, variando de < 10 ton.ha/ano até 50-100 ton.ha/ano, com um predomínio da menor classe. Contudo, ocorreu o aparecimento de áreas que apesar de ainda serem de um grau de erosão baixo (10-20 ton.ha/ano), já começam a refletir o cenário das regiões montantes da bacia.

Na margem direita da área aluvial, o surgimento de aporte de sedimentos exportados entre 10-20 ton.ha/ano tornou-se mais recorrente ao longo deste setor, e ocupando áreas mais próximas ao canal do Rio Aguapeí, além das áreas já supracitadas, como as cabeceiras e próximas a foz do rio principal.

Em relação a margem esquerda da área fluvial, o aumento do processo erosivo é relativamente o mesmo ocorrido na margem direita da planície fluvial. Ou seja, uma intensificação da classe de 10-20 ton.ha/ano ao longo de toda área da margem esquerda e ocupando principalmente toda a área das cabeceiras deste setor.

Finalmente, a área a montante da planície aluvial, como já salientado no panorama geral da bacia, começa a apresentar áreas com níveis mais elevados médios de erosão (20-50 ton.ha/ano), principalmente nas cabeceiras dos dois principais afluentes do Rio Aguapeí, Rios Tibiriça e Caingang e também áreas bem visíveis de graus de erosão alta e muito alta nas cabeceiras de drenagem (50-100 ton.ha/ano e > 100 ton.ha/ano).

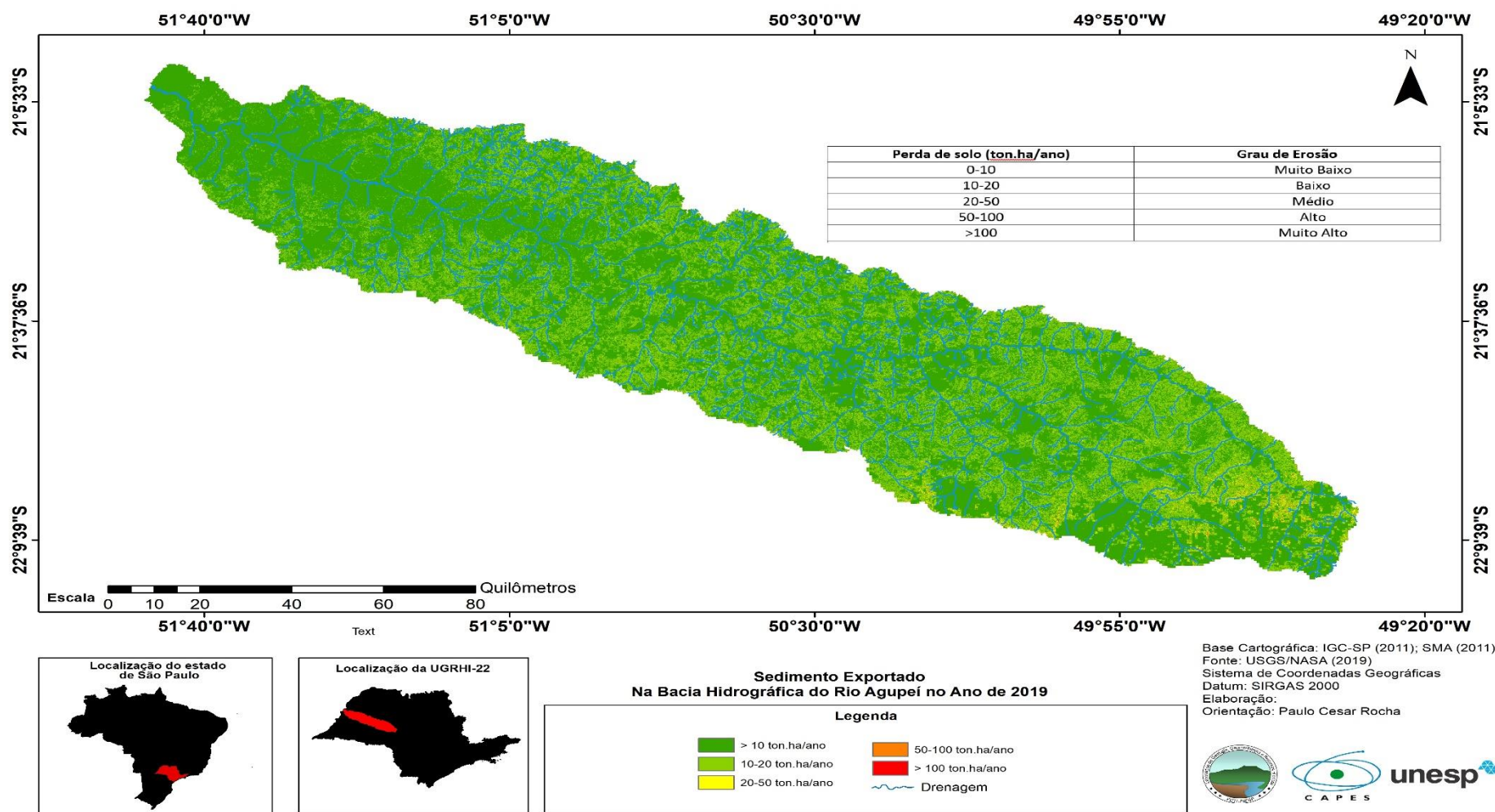


Figura 41 – Aporte de sedimento exportado ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí no de 2019.

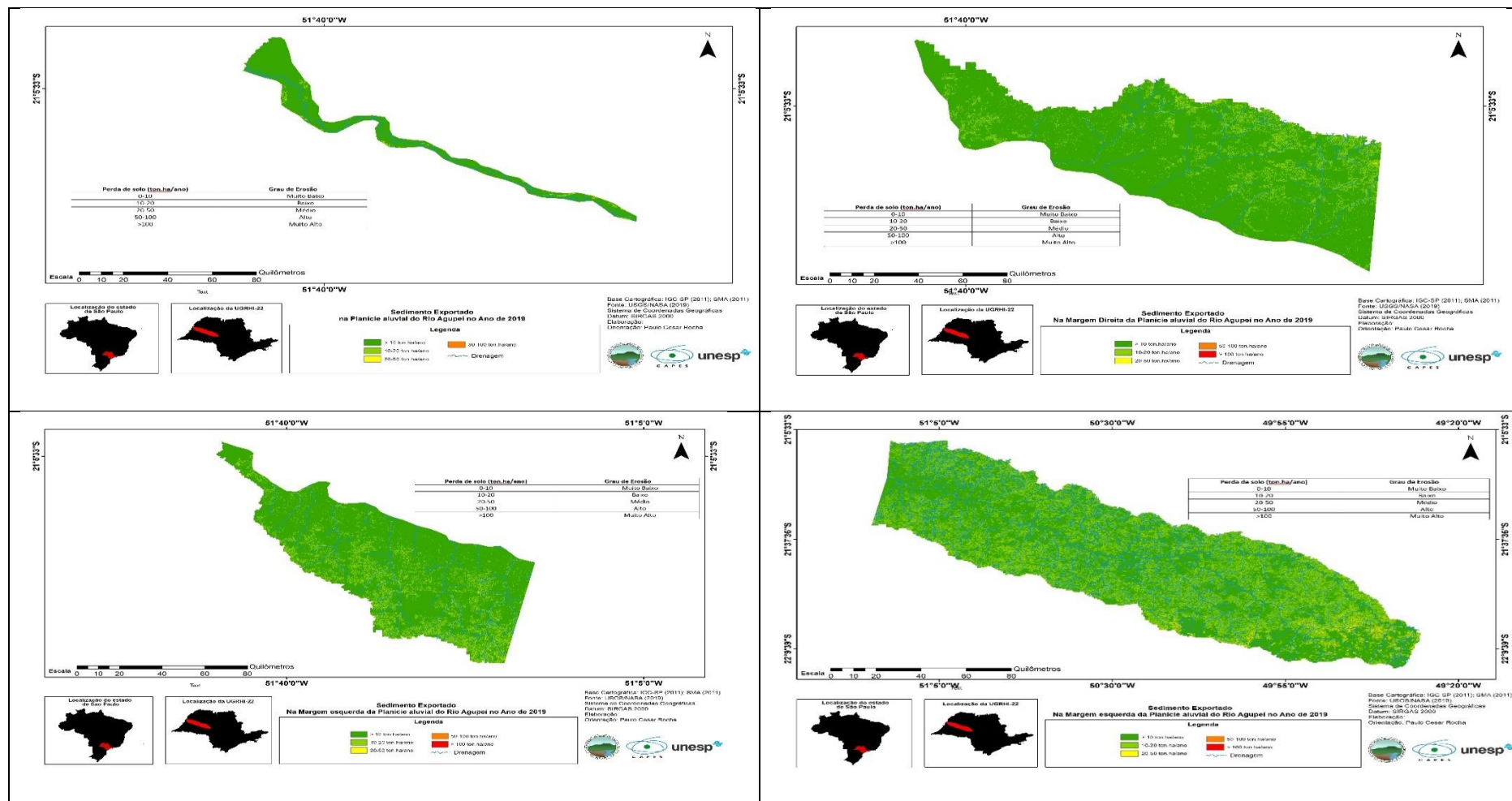


Figura 42 – Mosaico do aporte de sedimento nos quartos setores para a área de estudo no de 2019.

CAPÍTULO 6 – LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS COMPORTAMENTOS MORFOLÓGICOS DA PLANÍCIE ALUVIAL DO BAIXO CURSO DO RIO AGUAPEÍ

A compartimentação morfológica da planície aluvial do baixo Rio Aguapeí foi devidamente estipulada e determinadas em quatro trechos para o levantamento e análises morfométricas e morfológicas. Abaixo segue o gráfico (figura 33) com os valores da variação da largura da planície aluvial da área de estudo.

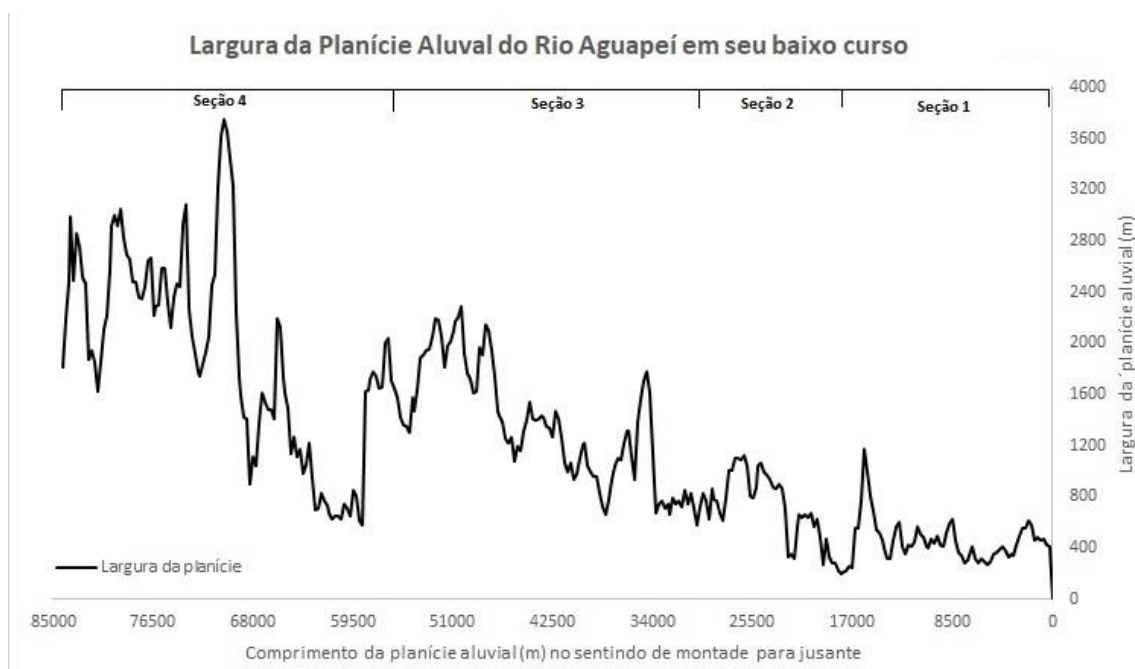


Figura 43 – Variação da largura da planície aluvial do baixo Rio Aguapeí e sua compartimentação em quatro seções morfológicas.

Inicialmente a morfologia do canal fluvial do Rio Aguapeí do trecho analisado neste primeiro capítulo, ele caracteriza-se por possuir um canal único com uma morfologia predominantemente meandrante (índice de sinuosidade acima de 1,5), na qual consta com pequenos trechos retilíneos.

Desta forma, os todos os quatro trechos analisados são caracterizados como meandrantess, na qual tem seus índices alterado ao longo dos anos de análise desta pesquisa. Sendo assim, ao decorrer das próximas páginas, os quatros trechos foram analisados ressaltando os pontos principais de sua mobilidade ao longo da planície aluvial do baixo Rio Aguapeí.

A planície aluvial do baixo curso do Rio Aguapeí próximo a sua foz, na qual desagua no alto curso do Rio Paraná, compreende a um trecho do canal que se estende por aproximadamente 85 km de extensão, em que sua planície cobre uma área com cerca de 110 km² (figura 33).



Figura 44 – Planície aluvial do Rio Aguapeí em seu baixo curso e áreas amostrais.

O estudo do levantamento e análise dos aspectos morfométricos e morfológicos do canal fluvial da planície do Rio Aguapeí em seu baixo curso, foi dividido em quatro compartimentos que contêm comprimentos em planta distintos sendo eles 9,8 km, 12 km, 19 km e 14 km aproximadamente, entre os compartimentos 1 e 4 respectivamente, para levantamento amostral da morfometria e morfologia. A compartimentação da planície aluvial do baixo curso do Rio Aguapeí se fez necessária como uma medida prévia, que auxiliaram no entendimento das mudanças morfológicas ocorridas ao longo dos períodos analisados nesta tese.

A planície aluvial do baixo curso do Rio Aguapeí foi compartimentada em quatro partes para que fossem realizados os levantamentos e análises dos dados morfológicos

e morfométricos, abaixo na figura 35 segue a divisão dos quatros compartimentos e sua variação entre os anos de 1964 e 2019, na qual a descrição destes compartimentos ao longo dos períodos é feita posteriormente a ela.

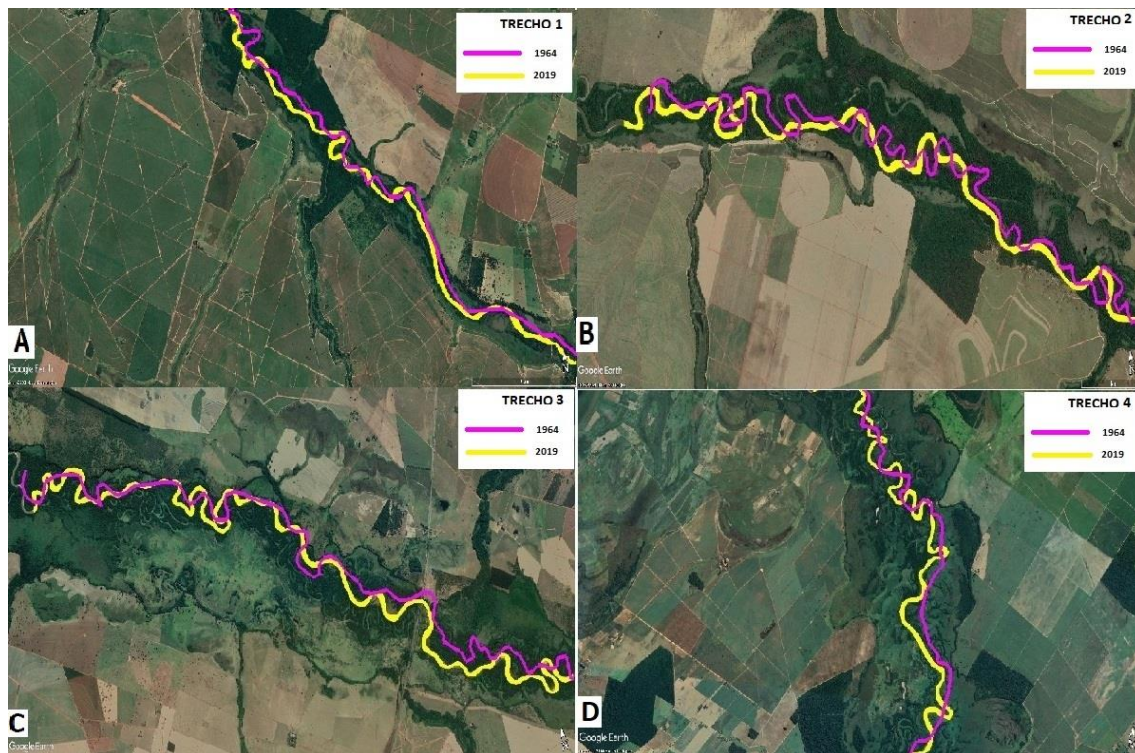


Figura 45 – Mudanças morfológicas no canal fluvial do Rio Aguapeí em seus compartimentos analisadas, ressaltando as mudanças nos trechos entre os anos de 1964 e 2019.

6.1. Trecho 1

Nos levantamentos realizados para averiguar as mudanças ocorridas nos aspectos das variações das transformações do trecho 1 (figura 36), entre o período de 1964-1986 são os que apresentam os valores mais baixos, para ambos os levantamentos realizados. Os mecanismos de mudanças encontrados ressaltam que apenas ocorreu a mobilidade lateral do canal (tabela 12), tendo como principais mecanismos de alteração meândrica, o crescimento do meandro (3), a migração (3) e migração confinada (2) dos meandros analisados neste primeiro trecho.

Tabela 11 – Levantamento dos mecanismos de mudança na morfologia de meandros do trecho 1.

Morfologia	1964-1986	1986-1996	1996-2010	2010-2019
Crescimento	3	4	5	1
Migração	3	0	0	2
Migração Confinada	2	2	2	2
Cortes de Pedúnculo	0	0	0	1
Novos Meandros	0	0	2	0
Retração	0	0	1	1
Duplo Lóbulo	3	4	4	2
Lóbulo	2	2	3	2
Mudanças Complexas	0	0	1	2

Tabela 12 – Média da variação dos parâmetros morfométricos do trecho 1.

Morfometria	1964	1986	1996	2010	2019
Comprimento de Onda	342m	423m	422m	492m	515m
Amplitude	147m	195m	196m	227m	224m
Sinuosidade	1,83	1,97	1,97	1,76	1,71

Outros mecanismos de mudanças também foram encontrados, como a ocorrência de meandros com lóbulo (2) e duplo lóbulo (3), da maneira que os processos migratórios do canal são mais evidentes nesses meandros compostos, apesar é possível constatar a mobilidade lateral do canal em partes mais retilíneas e com meandros simples.

Já os dados de morfometria (tabela 13) apresentam aumento na média do trecho 1 entre os anos de 1964-1986 para os parâmetros comprimento de onda e amplitude do meandro, e um aumento em seu índice de sinuosidade em aproximadamente 5%.

Dessa forma, os processos de mobilidade lateral causados pelo crescimento dos meandros e as migrações laterais, corroboram com os dados morfométricos, da maneira que resposta morfológica do canal neste primeiro trecho implicou no aumento dos dados de comprimento de onda e amplitude e na taxa de sinuosidade do canal.

Agora, entre os anos de 1986-1996 os mecanismos de mudanças apresentaram uma atividade um pouco maior em relação ao período anterior a respeito dos mecanismos de mudanças dos meandros, dispondo como características principais da mobilidade lateral, crescimento (4) e migração confinada (2). Em relação a demais

mudanças nas morfologias foram constatados a presença de lóbulos (2) e duplo lóbulos (4).

Com referências aos parâmetros morfométricos, a média dos valores pouco se alteram entre os anos de 1986-1996, sendo aumento em apenas 1 metro para o comprimento de onda, e decréscimo de também de 1 metro para amplitude e mantendo a taxa de sinuosidade a mesma.

Destarte, apesar de observa-se algumas alterações nos mecanismos de mudanças dos meandros entre os anos de 1986-1996, os dados morfométricos pouco se alteraram, mantendo a morfologia do canal com pouca mobilidade lateral durante este período.

Para as mudanças ocorridas no trecho 1 entre o período de 1996-2010, pode-se dizer que é o período com maior número de atividades dos mecanismos de mudanças dos meandros e ampliação desses processos morfológicos. São auferidos crescimentos (5) e migrações confinadas (2), como forma de mobilidade lateral do canal, porém a ocorrência do surgimento de novos meandros (2) e processo de retração (1) e mudanças complexas (1) do canal, além de lóbulos (3) e duplo lóbulos de meandros (4).

No que tange aos parâmetros morfométricos, houveram alterações significativas nos valores médios de comprimento de onda (aumento de 70 metros, ou quase 20%) amplitude (aumento de 31 metros, ou quase 20%) e uma diminuição de cerca de 10% em relação aos dados de sinuosidade do canal no período entre 1996-2010.

Essas alterações dos valores morfométricos pouco rebateram nas feições morfológicas do canal neste trecho durante o período de 1996-2010, apenas mostram uma certa mobilidade lateral do canal, podendo somente destacar no final do trecho analisado uma pequena parte do canal que consta com uma mudança complexa.

A respeito do último período de análise que oscila entre os anos de 2010-2019 foi constatado oito dos nove mecanismos de mudanças de meandro, que apesar de menos intensos, mostram uma variedade maior além das alterações da mobilidade lateral, crescimento (1), migração (2) e migração confinada (2), além dos mais mecanismos de mudanças de meandro, como retração (1), lóbulo (2), duplo lóbulo (2) e mudanças complexas (2), pela primeira vez foi constatado um corte de pedúnculo no último ponto de meandramento do trecho 1 no período de 2010-2019 (figura 36-D).

Moraes (2015) ressalta que cortes de pedúnculo propiciaram as transformações mais drásticas na morfologia e por si só na paisagem fluvial, entretanto ainda ficará uma incógnita de como o rebatimento desse corte de pedúnculo afetará a dinâmica deste trecho 1, por ser ter ocorrido no último período de análise.

Ao que condiz aos de morfometria do período de 2010-2019 do trecho 1, os dados apresentados mostram aumento de apenas 3% no comprimento de onda e ligeiros decréscimo nos valores de amplitude e sinuosidade do canal. Essa diminuição dos valores de amplitude e sinuosidade mesmo que baixas, podem ser reflexos do corte de pedúnculo ocorrido no final do trecho aqui em destaque.

Este primeiro trecho destaque-se por apresentar menor intensidade dos mecanismos de mudanças de meandro e pelos valores encontrado nos parâmetros morfométricos levantados e analisado, apresentado poucos meandros em processo de estrangulamento e nem mesmo meandros abandonados, com alguns pontos próximo ao padrão retilíneo.

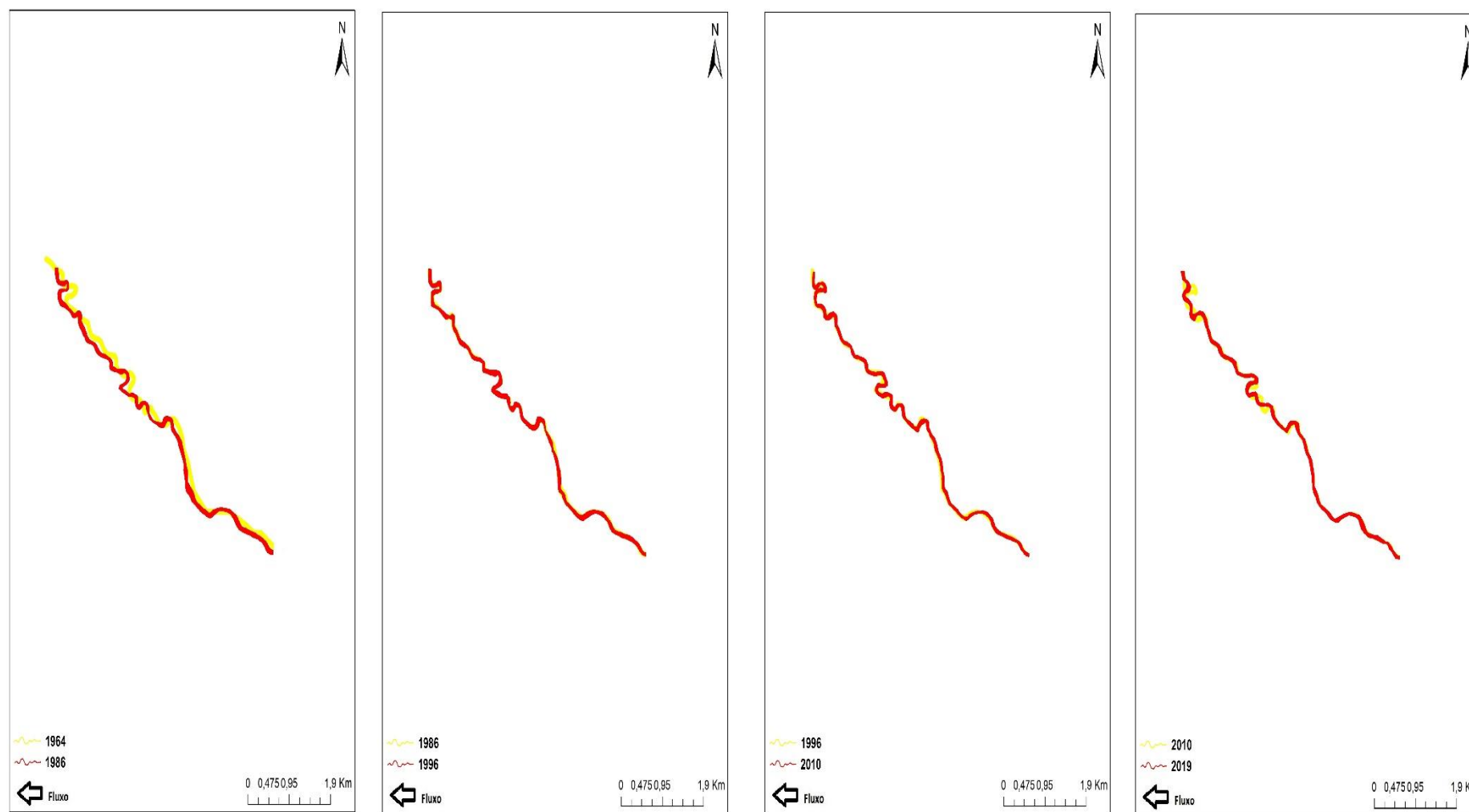


Figura 46 – Mosaíco representativo do trecho 1.

6.2. Trecho 2

Para os levantamentos realizados para a respeito das mudanças ocorridas nos aspectos das variações das transformações do trecho 2 (tabela 14 e 15) para o período de 1964-1986, mostram um trecho do canal da área de estudo com muito mais atividade dos mecanismos de mudanças, com bastante ocorrências de mobilidade lateral, com a verificação de crescimentos (2), migração (4) e migração confinada (3). Há a verificação de bastante meandros compostos, com lóbulos (5) e duplo lóbulos (8) e a ocorrência de retrações (3) do canal no período supracitado. O destaque para esse período fica por dos cortes de pedúnculos (3), no início de seu trecho (figura 37).

Tabela 13 – Levantamento dos mecanismos de mudança na morfologia de meandros do trecho 2.

Morfologia	1964-1986	1986-1996	1996-2010	2010-2019
Crescimento	2	3	10	3
Migração	4	0	2	2
Migração Confinada	3	1	4	3
Cortes de Pedúnculo	3	0	3	3
Novos Meandros	0	0	0	1
Retração	3	2	2	0
Duplo Lóbulo	8	8	7	4
Lóbulo	5	6	5	3
Mudanças Complexas	0	0	0	0

Tabela 13 – Média da variação dos parâmetros morfométricos do trecho 2.

Morfometria	1964	1986	1996	2010	2019
Comprimento de Onda	274m	361m	377m	439m	467m
Amplitude	253m	299m	270m	317m	320m
Sinuosidade	2,75	2,69	2,72	2,46	2,23

Na questão dos parâmetros morfométricos do trecho 2 no período de 1964-1986, apresentam baixos valores de comprimento de onda e de amplitude, com meandros que pouco se distanciam entre si, que favorece a constatação de um índice de sinuosidade alto, tornando-se um trecho amplamente meandrante.

Assim sendo, com os episódios de cortes de pedúnculos registrados entre o período de 1964-1986, há um aumento nos valores de comprimento de onda e amplitude dos meandros, que corroboram para uma ligeira diminuição no índice de sinuosidade do trecho 2 no período citado anteriormente.

Os mecanismos de mudanças levantados para o trecho 2 durante o período de 1986-1996, verifica-se uma diminuição na ocorrência na mobilidade lateral do canal, principalmente no tange a respeito na migração dele, sendo encontrados crescimentos (3), e migração confinada (1), contudo os valores dos outros mecanismos de mudanças de meandros pouco se alteraram em relação ao período anterior, em que houveram a ocorrência de retrações (2) no canal e lóbulos (6) e duplo lóbulos (8).

Os parâmetros morfométricos também pouco se alteraram, com decréscimos de aproximadamente 5% nos valores de comprimento de onda e amplitude e um ligeiro aumento no índice de sinuosidade do trecho no período de 1986-1996.

Desta forma, com base nos dados apresentados até agora, tanto o trecho 1 quanto o trecho 2, mostram poucas variações em ambos os dados analisados, sejam elas para os mecanismos de mudanças dos meandros ou para os parâmetros morfométricos do canal no período de 1986-1996, mantendo sua morfologia quase inalterada.

Entre o período de 1996-2010 voltam a ocorrer mudanças significativas no trecho 2 da área de estudo com um aumento na mobilidade lateral do canal, principalmente no médio trecho 2, registrando bastantes eventos de crescimento (10), migrações (2) e migrações confinadas (4), em que são notados a retração dos meandros (2) lóbulos (5) e duplo lóbulos (7). A principal alteração morfológica ocorrida no canal neste período fica por conta dos episódios de cortes de pedúnculo (3), concentrados em meandros que se encontravam visualmente estrangulados.

Acerca dos parâmetros morfométricos do trecho 2 para o período de 1996-2010, averiguou-se aumentos nos valores de comprimento de onda e de amplitude, com um total de aproximadamente cerca de 20% para ambos os parâmetros e uma diminuição de 15% aproximadamente, no que condiz com o índice de sinuosidade.

Isto pode ser explicado pelos cortes de pedúnculo realizados pelo canal no trecho 2 neste período, que se concentraram em meandros compostos de alta amplitude e comprimento de onda para o trecho 2, logo propiciando a diminuição no índice de sinuosidade deste trecho.

Por fim, os dados para o período de 2010-2019, mostram uma mobilidade lateral do canal um pouco menor em relação ao período analisado anteriormente, contudo são visíveis as transformações neste trecho pelos mecanismos de crescimento (3) migração (2) e migração confinada (3) e retração (2). Entretanto a ocorrência de cortes de pedúnculo (3) acarreta na diminuição em quase 50% na verificação de lóbulos e duplos, no período citado anteriormente.

Em relação aos levantamentos morfométricos, revelaram aumento em pouco menos de 5% para o comprimento de onda e um pouquíssimo aumento na amplitude do meandro, rebatendo na diminuição de cerca de 10% para o índice de sinuosidade do trecho 2 no período de 2010-2019.

Com isto, é assistido um aumento dos dados morfométricos no trecho 2 como visto no período de 1996-2010, alavancados pelas três cortes de pedúnculo ocorridos no período de 2010-2019, sendo dois deles consecutivos, diminuindo o índice de sinuosidade do trecho.

De modo geral, o trecho 2 da planície aluvial do baixo curso do Rio Aguapeí, apresenta uma dinâmica mais intensa em comparação ao trecho 1, com uma mobilidade lateral do canal bem mais brusca e mais acentuada, no qual o índice de sinuosidade mais baixo ainda é superior ao mais alto encontrado no trecho 1. Com uma sinuosidade que apresenta valores mais extremos, foi comum ocorrerem eventos de corte de pedúnculo, que propiciaram maiores mudanças na morfologia do trecho 2, nota-se a presença de meandro abandonados e lagos em ferradura ao longo de sua planície aluvial.

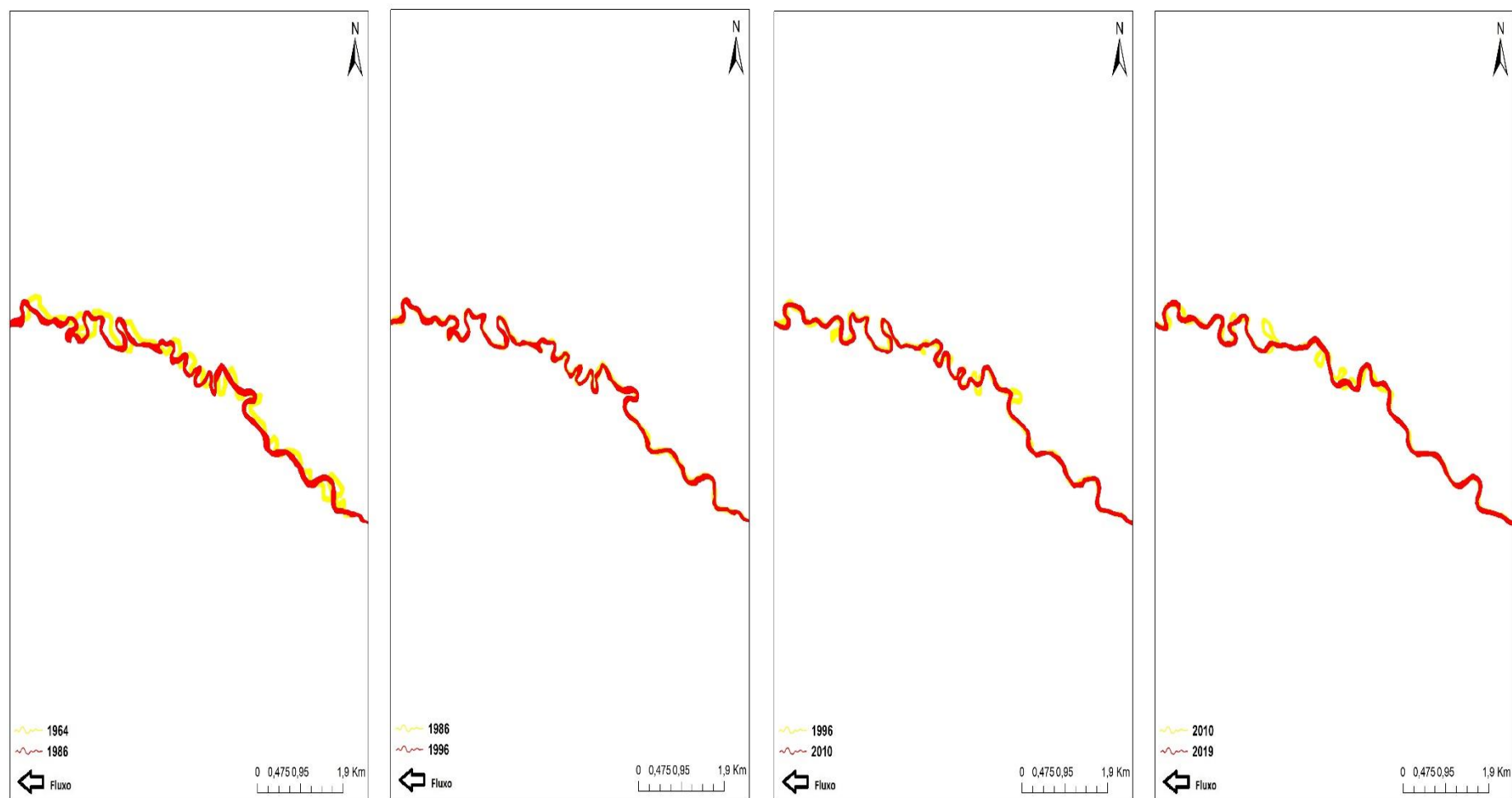


Figura 47 – Mosaico representativo do trecho 2.

6.3. Trecho 3

O período entre 1964-1986 apresentando no trecho 3 (figura 38), além de ser o maior trecho, no quais foram feitos os levantamentos análises, também apresentam sa ocorrências mais intensas a respeito dos mecanismos de mudanças dos meandros, com uma acentuada mobilidade lateral do canal, com crescimento (5), migração (3) e migração confinada, mostrando o surgimento de novos meandros (7) neste trecho. Também foram encontrados retrações (2) e diversos lóbulos (7) e duplo lóbulos (15) (tabela 15).

Tabela 14 – Levantamento dos mecanismos de mudança na morfologia de meandros do trecho 3

Morfologia	1964-1986	1986-1996	1996-2010	2010-2019
Crescimento	5	5	10	2
Migração	2	1	2	0
Migração Confinada	5	4	4	5
Cortes de Pedúnculo	0	0	2	0
Novos Meandros	7	0	0	0
Retração	2	1	0	2
Duplo Lóbulo	15	15	7	7
Lóbulo	7	7	5	5
Mudanças Complexas	0	0	3	0

Tabela 15 – Média da variação dos parâmetros morfométricos do trecho 3.

Morfometria	1964	1986	1996	2010	2019
Comprimento de Onda	228m	275m	292m	448m	469m
Amplitude	173m	201m	214m	322m	344m
Sinuosidade	2,14	2,49	2,67	2,36	2,41

Sobre os dados morfométricos levantados no período de 1964-1986 para o trecho 3, ocorreu o aumento em todos os três parâmetros nos quais foram feitos levantamentos, sendo de cerca de um pouco mais de 20% para comprimento de onda e amplitude dos meandros e do índice de sinuosidade (tabela 16).

Com isto, o trecho 3 no período de 1964-1986, observa-se um ajustamento de seu canal com o surgimento de novos meandros, para um adensamento maior a respeito dos processos de meandramento ratificados pelos mecanismos de mudanças e dos parâmetros morfométricos levantados.

No que tange aos levantamentos e análises para o trecho 3 no período entre 1986-1996, apresentam dados relativamente expressivos sobre os mecanismos de mudanças dos meandros com crescimentos (5), migração (1) e migração confinada (4) e retração (1). Como dito anteriormente, por ser o trecho mais extenso, apresentam números mais expressivos para lóbulos (7) e duplo lóbulos (15), logo a concentração de meandros nesse trecho pode ser considerada a mais alta entre os trechos analisados.

Já os parâmetros morfométricos, exibem um curto aumento em seus dados com cerca de 5% para cada um dos dados levantados, pela baixa mobilidade lateral do canal neste período.

Assim, o trecho 3 no período entre os anos de 1986-1996 mantém a constante baixa mobilidade lateral do canal (sendo clara a sua visualização em planta) como ocorrido e salientado nos trechos descritos até aqui, com base no levantamento e nas análises morfológicas e morfométricas.

Em seu terceiro período que consta entre 1996-2010, mostra um intenso retrabalhamento do canal, com somente a ausência de retrações do canal, apresentando os demais mecanismos de mudanças dos meandros, registrando uma grande mobilidade lateral do canal, com crescimentos (10) migrações (2), migrações confinadas (4). Os cortes de pedúnculo (2) ficam registrados como a principal alteração deste trecho período analisado, simplificando o canal e diminuindo o meandramento.

Já os levantamentos morfométricos, apresentam os maiores valores de aumento relativo para comprimento de onda e amplitudes dos meandros, sendo de aproximadamente 50% no período de 1996-2010 e uma diminuição de cerca de 10% no índice de sinuosidade do canal entre os anos supramencionados.

Dessa forma, em relação ao ano de 1996 para o ano de 2010, este aumento drástico nos dados de comprimento de onda e amplitude pode ser justificado pela averiguação de diversos crescimentos, sendo o 10 o número mais expressivo registrado até agora para esse mecanismo de mudança de meandro. Já a diminuição do índice de sinuosidade por ser definido pela ocorrência dos cortes de pedúnculo e assim uma suavização no processo de meandramento.

No último período em análise do trecho 3, entre os anos de 2010-2019, é o período com menor atividade morfológica no canal para este trecho, contando com

crescimentos (2), migrações confinadas (5) e retrações (2) dos meandros, mostram uma baixa mobilidade do canal que pode ser vista em planta.

Os dados morfométricos mostram ligeiros aumentos em seus valores, com crescimentos em seus dados, em menos de 5% para comprimento de onda e amplitude do meandro e de somente 2% para o índice de sinuosidade do canal durante o período de 2010-2019.

Assim, no último período analisado no trecho 3, assemelha-se com o segundo período analisado, em que é notado uma baixíssima mobilidade lateral do canal fluvial, apenas com algumas alterações mais tênues que pouco modificaram a sua morfologia e a sua morfometria.

Por fim, o trecho 3 como já reforçado aqui, é o maior entre os quatros analisados nesta tese em comprimento longitudinal, e conseqüentemente apresentando os maiores valores de dados morfológicos, no diz a respeito sobre os mecanismos de mudanças dos meandros. O interessante sobre o trecho 3, é que este trecho apresentou dois períodos de com pouquíssima mobilidade lateral do canal (1986-1996 e 2010-2019), em contrapartida aos outros dois analisados anteriormente que apresentaram somente um período (1986-1996).

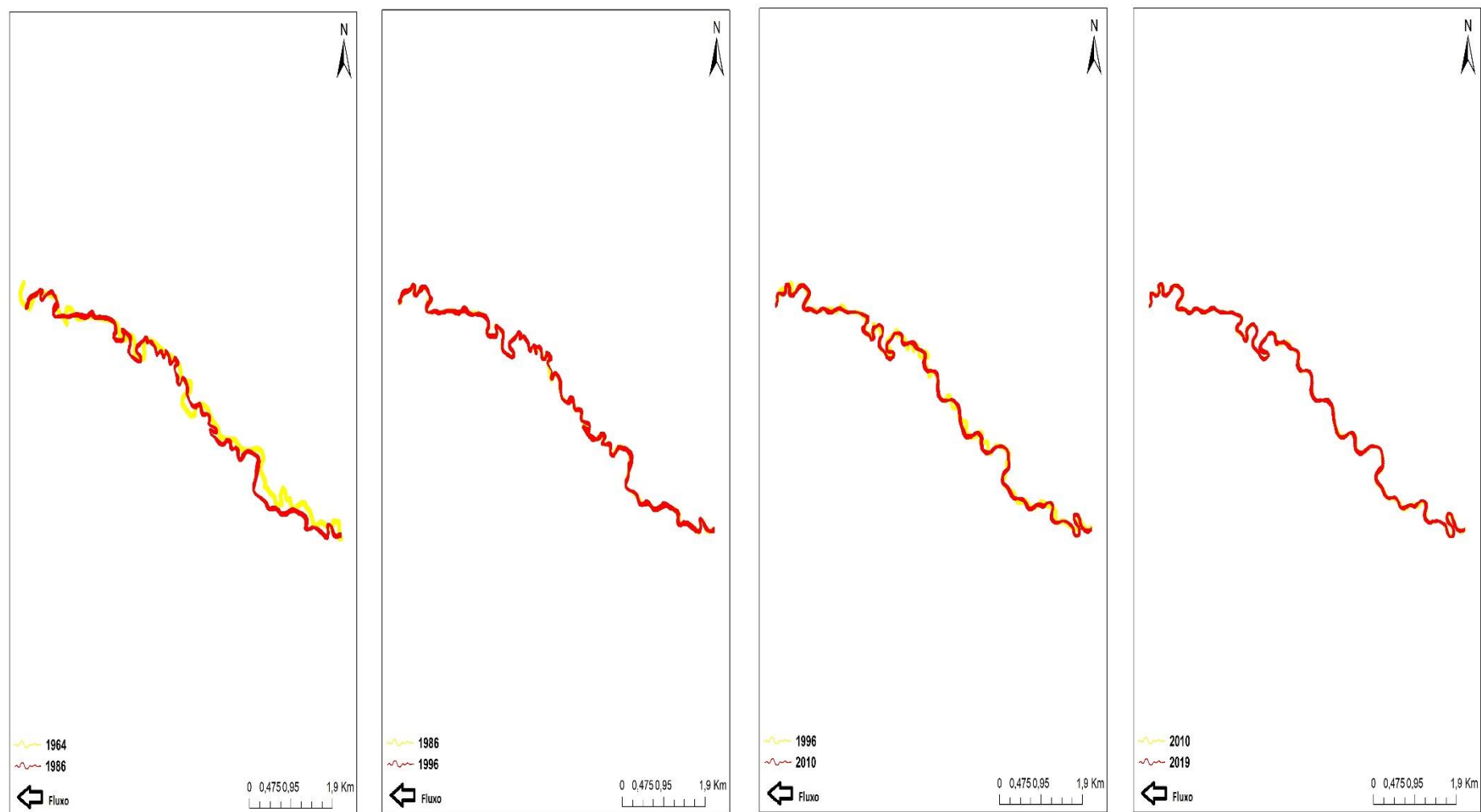


Figura 48 – Mosaíco representativo do trecho 3.

6.4. Trecho 4

Por último, o trecho 4 localizado próximo a foz de seu curso (figura39) apresenta uma mobilidade lateral do canal fluvial bem visível ao longo de seu trecho entre o período de 1964-1986, apesar dos dados levantados de mecanismos de mudanças dos meandros não serem tão expressivos (tabela 17), com os crescimentos (4), migrações (2) e migrações confinados (2), apresentados na tabela 9, com a averiguação de lóbulos (4) e duplo lóbulos (5), ao longo deste período mencionado anteriormente.

Tabela 16 – Levantamento dos mecanismos de mudança na morfologia de meandros do trecho 4.

Morfologia	1964-1986	1986-1996	1996-2010	2010-2019
Crescimento	4	4	6	2
Migração	2	0	3	0
Migração Confinada	2	1	2	5
Cortes de Pedúnculo	0	0	0	0
Novos Meandros	0	0	2	0
Retração	0	0	0	0
Duplo Lóbulo	5	5	7	7
Lóbulo	4	4	6	6
Mudanças Complexas	0	0	0	0

Tabela 17 – Média da variação dos parâmetros morfométricos do trecho 4.

Morfometria	1964	1986	1996	2010	2019
Comprimento de Onda	166m	227m	235m	286m	303m
Amplitude	251m	203m	236m	348m	364m
Sinuosidade	2,65	2,72	2,75	3,05	3,11

Com relação a morfometria do trecho 4 (tabela 18) entre os anos de 1964-1986, ocorrem aumento nos dados de comprimento de onda e amplitude em cerca de 35% em ambas as medidas e um aumento de quase 10% no índice de sinuosidade neste trecho.

Dessa forma, apesar da pouca atividade morfológica constatada no período citado anteriormente, o Rio Aguapeí teve no trecho 4 a sua planície bem mobilizada lateralmente, escavando os próprios depósitos, da maneira que a sinuosidade de seu canal neste trecho fosse mais intensa.

O trecho 4 da planície aluvial do baixo Rio Aguapeí, apresenta dados em relação aos mecanismos de mudanças dos meandros entre os anos de 1986-1996, poucos expressivos com uma atividade morfológicos que fica mais caracterizada pelos crescimentos (4) e migração confinada (1) dos meandros, registrando os mesmos dados de lóbulos e duplo lóbulos do período anterior.

Os parâmetros morfométricos do período de 1986-1996 também pouco se alteraram, apresentando elevações mínimas em seus valores, mantendo a sinuosidade do trecho durante este período praticamente inalterada.

O trecho 4 também mantém de forma estrita as mesmas características dos outros três trechos anteriormente descritos, com pouca mobilidade lateral do canal, mantendo a morfológica do canal com mudanças tímidas durante o período de 1986-1996.

No período entre 1996-2010 o trecho 4 da área de estudo começa a ser apresentar maiores modificação em sua morfologia, sendo o período com a presença de maiores dados morfológicos feitos no levantamento de deste trecho, compreendendo a crescimentos (6), migração (3) e migrações confinadas (2) e ao surgimento de novos meandros (2) em partes que se encontravam levemente retilíneos.

A morfometria do trecho 3 no período mencionado anteriormente, também ocorrem alterações significativas com um aumento de aproximadamente 30% no comprimento de onda e de quase 50% na amplitude dos meandros, na qual alavancou o índice de sinuosidade em aproximadamente 15%.

Com o surgimento de novos meandros e outros passando a uma fase de estrangulamento próximo a ocorrência de eventos de cortes de pedúnculo, os dados de amplitude dos meandros tiveram um crescimento excessivamente efetivo no período dentre 1996-2010, acarretando na elevação do índice de sinuosidade deste trecho 4.

No último período analisado para o trecho 4 entre os anos 2010-2019 o trecho 4 mostrou poucas alterações morfológicas, com pouca mobilidade lateral do canal, constatando apenas crescimentos (2) e migrações confinadas (5), com a ocorrência de lóbulos (6) e duplo lóbulos (7) de meandro.

Os parâmetros morfométricos tiveram também alterações baixas em seus valores sendo de quase 5% para comprimento de onda e amplitude dos meandros, na qual manteve o índice de sinuosidade pouco alterado.

O trecho 4 durante o período de 2010-2019 também mostra uma dinâmica pouco expressiva como mostrado anteriormente no período de entre 1986-1996, na qual os mecanismos de mudanças dos meandros ficaram praticamente por conta do crescimento dos meandros e de pequenas migrações laterais do canal.

Em suma, o trecho 4 da planície aluvial do Rio Aguapeí em seu baixo curso, apresentou 2 trechos na qual a mobilidade lateral do canal ocorreu de maneira branda em períodos analisados (sendo eles 1986-1996 e 2010-2019), em que foi o único trecho que não apresentou cortes de pedúnculo ao longo do trecho analisado. Entretanto o trecho 4 foi o que apresentou os maiores índices de sinuosidade (3,11), causado por meandros que se encontram bem estrangulados e próximos a se romperem.

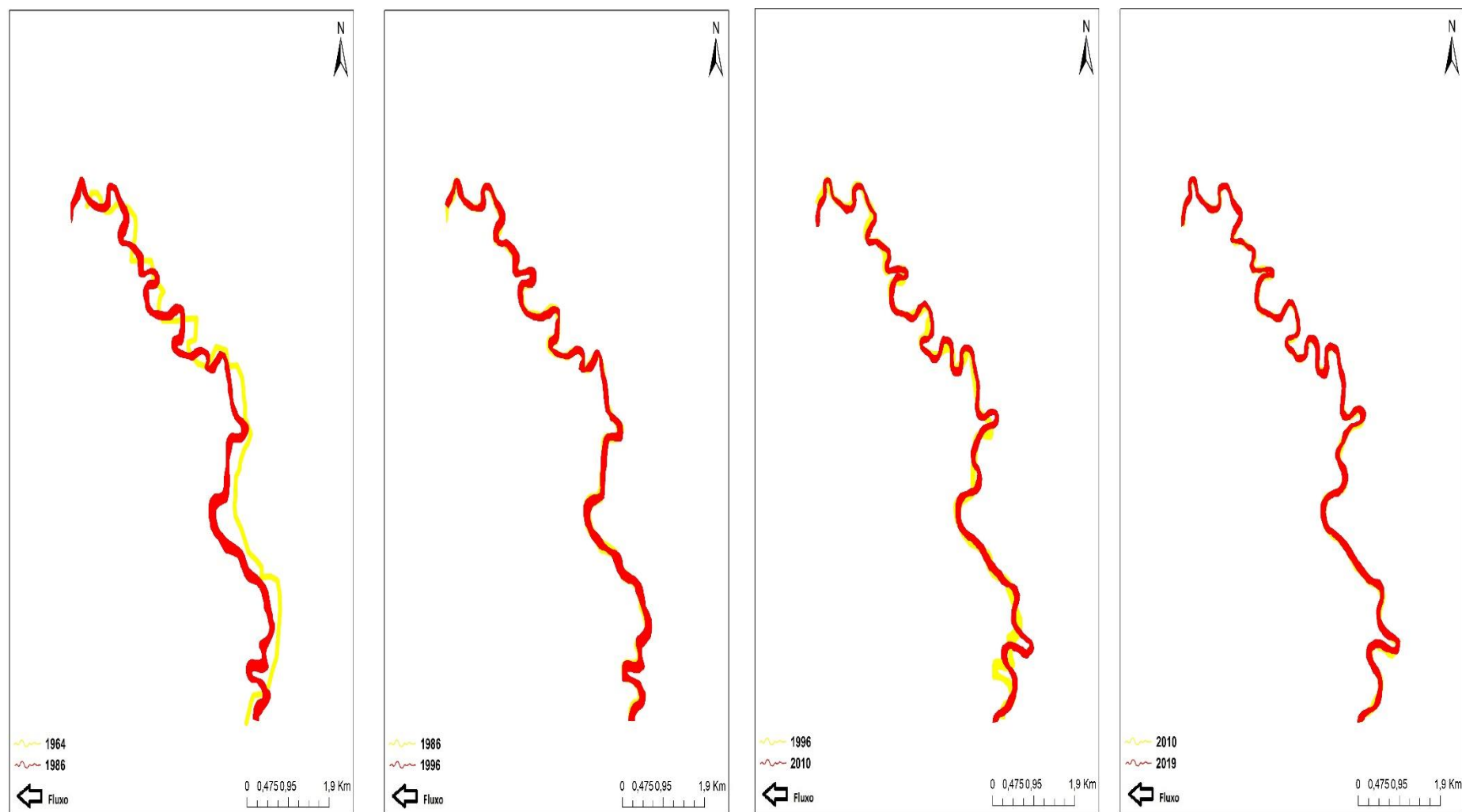


Figura 49 – Mosaíco representativo do trecho 4.

7. Análise estatística multivariada dos componentes físicos e antrópicos da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.

Este último tópico de resultados, serão expostas de forma direta as amostragens estatísticas que como todas as variáveis levantadas e analisadas até o momento na presente tese se inter-relacionam, já que os dados apresentados interagem tanto na escala espacial, quanto na escala temporal.

Ao analisar diversas variáveis em uma mesma unidade amostral como a Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, Barros (1998) aponta que uma unidade amostral localizada no espaço, torna-se um espaço euclidiano e a representação e a interação dos pontos amostrais de suas variáveis ficam impraticáveis quando o número de variáveis é maior que três.

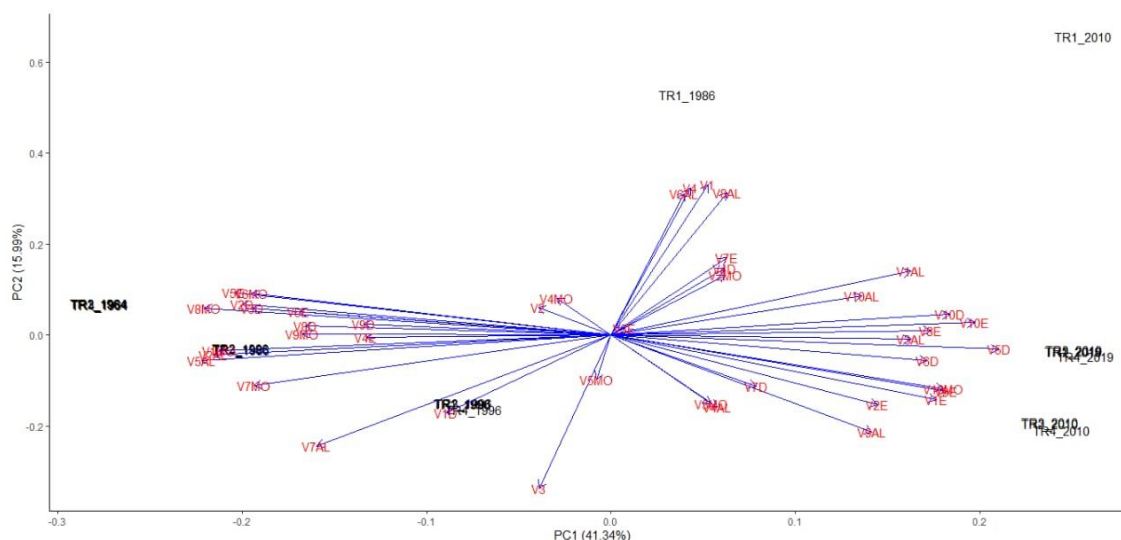


Figura 50 – Análise de Componentes Principais da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí

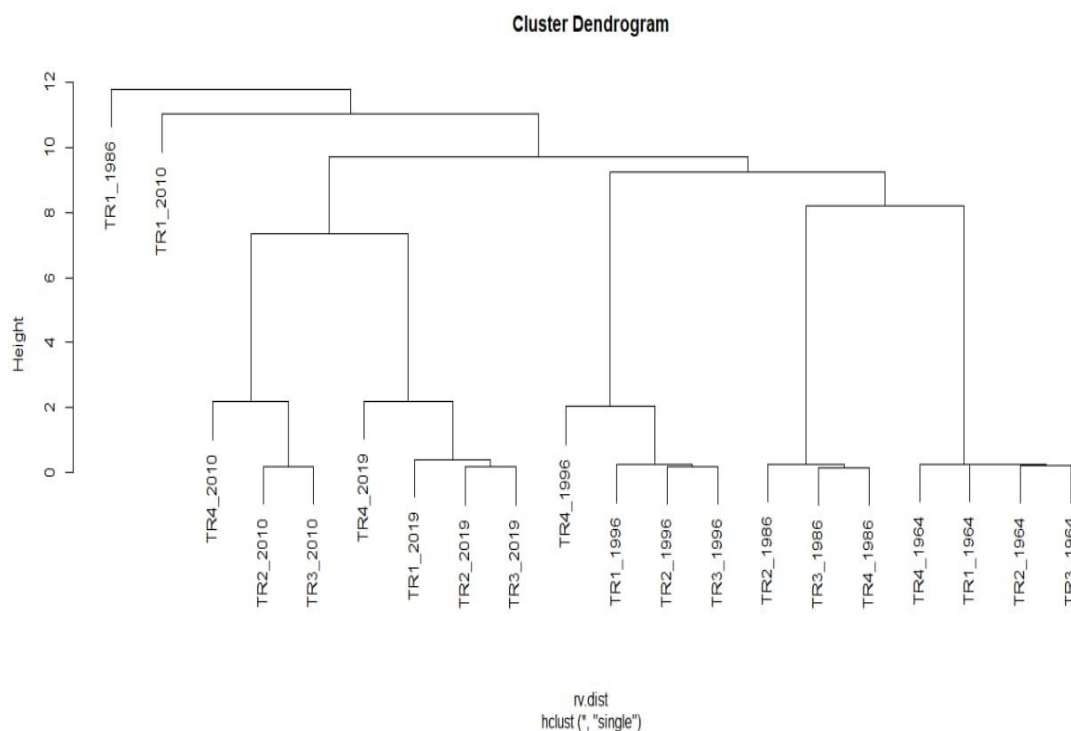


Figura 51 – Análise de Cluster da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.

Primeiramente e de forma direta sobre a Análise de Componentes Principais é notado uma maior interação das variáveis V9AL (Chuva no setor aluvial), V2E (Pastagem na margem esquerda), V1E (Cultura temporária na margem esquerda e V3MO (Mata no setor montante do trecho aluvial) nos trechos 2,3 e 4 no ano de 2010 e as variáveis V10E, (Sedimento na margem esquerda) V10D (Sedimento na margem direita) nos trechos 2, 3 e 4 do ano de 2019 que podem explicar uma maior tendência nas alterações morfológicas e morfométricas ocorridas na área de estudo.

Na análise de agrupamento de Cluster foi constatado uma variação descontinuada com grupos bem definidos que é facilitada por ser uma análise temporal separada em anos previamente fixados na metodologia de análise. Contudo é notado um *continuum* nos quatros trechos do ano de 2019, na qual as parcelas de similaridades vão sendo alteradas continuamente ao longo deste trecho.

O ano de 2010 também pode ser destacado na análise de Cluster, visto que também existe um *continuum* entre os trechos, porém é constatado uma discrepância entre trecho 2 e 3 em relação ao trecho 4, e maior ainda entre o trecho 1 em relação aos demais.

8. Discussão

8.1. *Influências da Variabilidade Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí na morfologia e morfometria.*

De acordo Ibisate *et al* (2011) ao se fazer levantamentos hidrológicos a respeito do regime pluviométrico é possível se determinar a ocorrência de eventos extremos, sejam eles de alta ou baixa magnitude, como tempestades ou secas, sendo que ambas interferem no regime fluvial, sua descarga e capacidade erosiva. Deste modo, o regime pluviométrico interage de forma estrita com a morfodinâmica do canal fluvial, acarretando em mudanças morfométricas e morfológicas do rio ao longo de todo regime fluviométrico.

Sendo assim, ao se fazer o levantamento das variáveis geométricas do canal fluvial, estas sofrem interferências de formas distintas das dinâmicas hidrológicas da bacia, que acarretam em alterações nos regimes de descargas do canal.

É necessário explicitar que a ocorrência de períodos mais extremos, sejam eles de fortes chuvas que culminam em enchentes nos canais fluviais, ou períodos menos chuvosos ou secos que propiciam períodos de vazantes no âmbito fluvial, sofrem em grande parte da influência de fenômenos globais que controlam o clima, como por exemplo as ocorrências dos *El Niños* Oscilação Sul (ENOS), descrito por Oliveira (2000) “*um fenômeno de interação atmosfera-oceano, associado a alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM)*”

Kingston *et al* (2006) diz que há muito os hidrólogos têm consciência da influência do clima em escala global e sua interferência nos fluxos e descarga dos rios ao redor do mundo, podendo assim, compreender à forças e alterações do climáticas e o que elas representam dentro do sistema fluvial, estipulando assim, uma cadeia de causalidade entre fatores atmosféricos que influenciam nas precipitações e nas vazões.

Um fato importante a se destacar dentro do âmbito da Geomorfologia Fluvial, é enfatizada por Hooke (2006), afirmando que as descargas de enchentes são de suma importância para o entendimento das dinâmicas morfológica do canal. Dessa forma, ao analisarmos o gráfico 3, responsável pela demarcação das vazões máximas, mostram picos de enchente nos anos de 1957, 1963, 1977, 1983 e 1990.

Dessa forma, de acordo com a tabela 19, é possível observar os anos de registro das ocorrências do fenômeno *el niño* é possível constatar que principalmente, no de ano 1983, foi um ano de ocorrência severa do fenômeno, desta forma, o ano que apresentou o maior pico de descarga máxima, 1983, com uma vazão de aproximadamente 484 m³/s pode ser resposta do *el niño* ocorrido em 1982-1983, considerado o mais intenso entre os registrados.

Tabela 18 – Anos de ocorrência do fenômeno *el niño*

1951 - Fraca intensidade	1953 - Fraca intensidade	1957-1959 - Forte intensidade	1963 - Fraca intensidade	1965-1966 - Intensidade moderada	1968-1970 - Intensidade moderada
1972-1973 - Forte intensidade*	1976-1977 - Fraca intensidade*	1977-1978 - Fraca intensidade	1979-1980 - Fraca intensidade	1982-1983 - Forte intensidade*	1986-1988 - Intensidade moderada
1990-1993 - Forte intensidade	1994-1995 - Intensidade moderada	1997-1998 - Forte intensidade*	2002-2003 - Intensidade moderada	2004-2005 - Fraca intensidade	2006-2007 - Forte intensidade
2009-2010 - Intensidade moderada*	2015-2016 - Forte intensidade	2018-2019 - Fraca intensidade			

* Anos correspondentes às mais elevadas descargas anuais da série histórica do Rio Aguapeí.

Fonte: CPTEC/INPE (2020).

Assim, ao abordar rios de sistemas tropicais é possível constatar mudanças nos canais relativos as sazonalidades do regime hidrológico destas regiões, principalmente rios sinuosos que são mais sensíveis a mudanças no regime hidrológico em prazos curtos ou médios (GILVEAR *et al* 2000), ou seja, sofrem influência da variabilidade climática.

Se levarmos em consideração os dados de morfologia e morfometria apresentados no capítulo anterior, é possível perceber principalmente em relação as morfologias, que o maior volume de alterações nos mecanismos de mudança morfológicas, ocorrem diretamente entre os anos de 1964-1986, conforme estão apresentados na tabela 12, estão dentro dos anos que apresentam os maiores volumes de chuvas e descargas máximas, 1977 e 1983, como já mencionados anteriormente.

Este fato não fica restrito ao primeiro período analisado nos mecanismos de mudanças morfológicas, o período entre 1996-2010 também consta a aparição em de diversas morfologias de canal em todos os trechos analisados, na qual durante este período, os anos de 1997 e 2009 são bem expressivos em relação aos dados

hidrológicos, podendo ter contribuído nas mudanças morfológicas nos trechos em análise nesta pesquisa.

No que tange a respeito dos dados morfométricos, a devida atenção merece ser dada as alterações dos dados de sinuosidade que sofreram as principais alterações entre os anos de 1964-1986, tendo a título de exemplo o trecho 3 na qual houve um acréscimo de 0,40 no índice de sinuosidade, e um decréscimo de 0,31 no período de 1997-2010. Contudo se ressaltarmos somente o período entre 1997-2010, três dos quatro trechos analisados apresentaram decréscimos significativos nos dados de sinuosidade, resultado da possibilidade de que o evento de forte intensidade do *el niño* de 1997, possa ter influenciado diretamente na morfometria do baixo curso do Rio Aguapeí, por registrar uma vazão acima dos 300 m³/, a segunda mais alta deste período.

Segundo Guerra (1993), a variação da descarga e consequentemente o nível das águas no canal durante um ciclo anual, apresentam períodos não uniformes da maneira que o comportamento do canal fluvial estabelece períodos de vazante-cheia-vazante, que contribuem para o desenvolvimento da morfologia do curso d'água ao longo de um período.

Com isto, é possível relacionar as modificações na morfologia e morfometria do canal, de acordo com aumento ou a diminuição do regime pluviométrico e consequentemente na própria descarga fluvial, pela alteração na quantidade de entrada de água da bacia hidrográfica em análise.

A dinâmica fluvial pode ser afetada por alterações na frequência e magnitude das descargas fluviais. Mudanças climáticas produzem alterações dessa natureza ao modificar a quantidade e o suprimento de matéria e energia dentro do sistema (ZANCOPÉ, 2008, p. 16).

Hannah *et al* (2006) aponta que regime de descarga dos rios, caracterizam a dinâmica do escoamento, ao longo de toda a série histórica, impulsionado por fatores climáticos em conjunto com outros fatores regulares da bacia, como o seu uso e ocupação.

8.2. Relações entre a sobreposição dos diferentes usos e ocupação da terra com as variáveis morfométricas e morfológicas.

Os estudos do meio físico requerem uma compreensão dos sistemas e fatores envolvidos que apresentam respostas aos processos e dinâmicas, não obstante ao se trabalhar com o levantamento e detalhamento de usos e ocupação da terra, traçar influências das intervenções segundo Knox (2001), é uma atividade dificultosa pelo fato de quantificar as influências que possam contribuir para alterações na paisagem, podem ser confundidas com outros processos naturais.

Porém se levarmos em consideração os dados levantados a respeito dos índices morfométricos e os mecanismos de ajustes morfológicos levantados para os quatro trechos da área aluvial do Rio Aguapeí e comparamos com as modificações nas ocorridas nos usos e ocupações da terra, algumas considerações qualitativas podem ser tecidas.

Em todos os quatros trechos da área aluvial do Rio Aguapeí, os dados numéricos de comprimento aumentaram ao longo da substituição/sobreposição dos usos e ocupação da terra em todos os períodos, apresentando maiores valores entre os períodos de 1964-1986 e 1996-2010, quando a consolidação do uso e ocupação das pastagens e o aumento significativo das culturas temporárias (em suma a cana-de-açúcar) respectivamente.

Já as sinuosidades dos meandros apresentam dados um pouco mais controversos entre os quatros analisados. No primeiro e segundo trecho, a sinuosidade oscila pouco (para cima ou para baixo) ou apresenta certa regularidade durante o domínio do uso da pastagem, mas quando ocorre uma maior inserção ou aumento das culturas temporárias, os índices de sinuosidade destes trechos decaem de uma forma mais acentuada entre os períodos de 1996-2010 e 2010-2019.

Já no terceiro trecho, a sinuosidade apresentou dados mais acentuados de aumento da sinuosidade em relação aos outros trechos no que coincide com as ocupações das pastagens que vão de 1964 até 1996, somente assistindo um declínio da sinuosidade após os anos de 2010 com o predomínio das culturas temporárias.

Já o quarto trecho, este aparentemente não sofreu nenhuma coincidência a respeito das alterações/substituição dos diferentes usos e ocupação da terra ao longo do período analisados, do modo que, em todos os períodos o índice de sinuosidade só esteve a aumentar, contudo de uma forma mais lenta enquanto a bacia era mais ocupada pelas pastagens. Com isto, entre o período de 1996-2010 quando se começa os processos de substituição no modo de uso da terra de pastagem para cultura

temporária, é quando o índice de sinuosidade tem seu maior acréscimo (de 2,75 para 3,05).

Destarte, Poff et al (2006) afirma que a sobreposição de usos e ocupações da terra e suas mudanças no modo de manejo, afetam de maneira diferente o sistema fluvial ao longo de todo o canal, do modo que os efeitos são mais percebidos nas áreas mais a jusantes do canal.

Se analisarmos os dados produzidos das morfologias e de seus mecanismos de ajustes, as alterações quantitativas mais significativas nos dados morfológicos são percebidas principalmente quando o uso e ocupação da terra está em transição para o predomínio ou consolidação das culturas temporárias.

No trecho 1 que é o trecho com os menores números de mecanismos de ajustes dos meandros, o surgimento de novos meandros só ocorreu após o crescimento mais acentuado das culturas temporários no período de 1996-2010 e, o único corte de pedúnculo ocorreu no entre o período de 2010-2019. Outros mecanismos de ajustes dos meandros só também só foram contabilizados neste trecho após o predomínio das culturas temporárias, como as retrações de meandro e as mudanças complexas.

O trecho 2 tem suas principais alterações morfológicas registradas primeiramente entre o período de 1996-2010 quando os crescimentos dos meandros mais do que triplicam, período da intensificação das culturas temporárias e depois são reduzidos na mesma proporção no período de 2010-2019, quando se há o estabelecimento das culturas temporárias na bacia.

Outro ponto interessante deste trecho 2 é que as migrações diminuem no período domínio das áreas das pastagens 1986-1996, e voltam a aumentar quando se assiste à consolidação das culturas temporárias e por fim, dos nove registros de cortes de pedúnculo, seis deles ocorrem após o uso e ocupação da terra ter seu manejo destinado as culturas temporárias.

Já o terceiro trecho foi o que mais sofreu influências após os períodos que marcaram o domínio das culturas temporárias entre 1996-2010 e 2010-2019, na qual o crescimento dos meandros dobrou entre os períodos de 1986-1996 e 1996-2010 e diminui em cinco vezes entre 1996-2010 e 2010-2019. Os únicos cortes de pedúnculos ocorridos são registrados durante o período de acentuação das culturas temporárias (1996-2010) e também os de mudanças complexas.

Ainda neste terceiro trecho, os lóbulos e duplos lóbulos tem seus dados reduzidos após o período de maior implementação das culturas temporárias (1996-2010) se mantendo os mesmos no período seguinte e, as mudanças complexas encontradas são assistidas no início do período mencionado anteriormente.

Por fim, no quarto trecho a tendência dos dados de lóbulos e duplo lóbulos é observada de forma inversa ocorrida no trecho 3, em que no caso do trecho 4, é observado um aumento nos dados numéricos de lóbulo e duplo lóbulo e, os novos meandros tem seu surgimento também no período de intensificação das culturas temporárias entre 1996-2010.

Destra forma, Hooke (2006) diz que os principais impactos humanos nos últimos anos tendem a estar relacionados a gestão das águas e de seus canais fluviais e as mudanças ocorridas no entorno das áreas e nas práticas de manejo da terra.

Assim a mesma autora supracitada, afirma que as diminuições das extensões das vegetações florestais pelo desmatamento apresentam uma relação íntima com a variabilidade climática de uma área, na qual os impactos ocorridos dentro de uma bacia permitem avaliar as mudanças ocorridas nos sistemas fluviais e identificar suas possíveis causas e efeitos.

Por fim, os impactos ocorridos através das mudanças dos usos e ocupações da terra ao longo de uma série histórica, principalmente induzida pelos seres humanos conseguem modificar fisicamente a paisagem, que alteram os fluxos de matéria e energia correspondentes.

8.3. Alterações morfológicas e morfométricas através do aporte de sedimento exportado na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí.

De acordo com os primeiros resultados obtidos a respeito do aporte de sedimento exportado na área de estudo no 1964, é evidenciado pouco fluxo de material sólido em todos os quatros setores da bacia, apesar de ao menos dois dele conter todas as classes estabelecidas para esta análise.

Contudo, no ano de 1986 ocorre uma maior dispersão e aumento dos aportes de sedimento ao longo de toda a Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí e se compararmos os todos os quatros trechos da planície aluvial do Rio Aguapeí, entre os anos de 1964-1986,

ocorrem mudanças significativas na morfologia do canal do Rio Aguapeí na área analisada, principalmente de migração lateral do canal.

Dessa forma, Zancopé (2009), sublinha que a mobilização de sedimentos ao longo da bacia hidrográfica, promove uma migração lateral do canal, que pode ser corroborada por Suizu (2017), o aumento das taxas de erosão e transporte de sedimentação, podem causar mudanças que redefinem a geomorfologia do canal fluvial.

Seguindo a diante, o segundo período de análise entre 1986-1996 também foi assistido por uma certa mudança na taxa do aporte de sedimento exportado, porém o canal fluvial do Rio Aguapeí, neste período segue com migrações tímidas como já constatado nas análises anteriores de outros fatores.

No terceiro período entre 1996-2010 já houve um aumento significativo tanto da dispersão do aporte sedimento quanto nas taxas, podem ratificar as mudanças morfológicas ocorridas nos trechos 2, 3 e 4 a respeito das migrações laterais ocorridas e de lóbulos e duplo lóbulos e também dos índices morfométricos que foram levantados.

Este período supracitado, coincide com a alteração nos padrões de uso da terra, na qual houve a substituição das pastagens pela cana-de-açúcar, da maneira que Rocha (2016) afirma que as altas nas taxas de erosão, transporte e sedimentação causados por alterações no uso da terra ao longo da bacia hidrográfica, refletem na intensidade dos processos anteriores, que vem a alterar a própria morfologia do canal.

Por fim, no quarto período em que boa parte da bacia apresenta dispersão do aporte de sedimento exportado, sendo influenciado pelo uso massivo da terra pela cultura temporária da cana-de-açúcar, podendo ser um dos principais causadores nas mudanças morfológicas ocorridas nos trechos 1 e 2 entre os anos de 2010-2019, em que ocorrem principalmente cortes de pedúnculo, diminuindo os valores morfométricos e de sinuosidade nestes trechos.

8.4 Análise multivariada de componentes principais e análise de Cluster

Na análise de Cluster, as maiores influências nas morfometrias estão correlacionadas com algumas variáveis da área aluvial. Isso pode ser explicado pela própria existência das áreas aluviais, amortecendo lateralmente os processos hidrodinâmicos rumo ao canal principal.

A forma da bacia e da rede de drenagem também é um fator importante nesse amortecimento. A bacia é retangular com canais laterais pequenos e com a planície aluvial antes do canal principal. Algumas drenagens menores nem tem sua foz bem definida no rio principal. Assim, os processos laterais na bacia são amortecidos.

Também é percebido que os dados estão ajustados no tempo e não no espaço, ou seja, ao longo do tempo eles se modificam mutuamente. A exceção do trecho 1, montante que em dois anos ficaram sem nenhum agrupamento. Como é um trecho de entrada, isso pode ser explicado pela absorção mais intensa de alterações que são amortecidas para jusante.

Análise da PCA temporal, os anos de 1964, 1986, 1996 estão mais parecidos entre si. Os anos de 2010 e 2019 se diferenciam dos 3 anteriores e por sua vez tem certa similaridade.

A análise por trecho corrobora a questão da homogeneidade temporal e que o trecho 1 é o que mais parece receber mais os impactos das alterações hidrodinâmicas temporais.

Assim, as variáveis extrínsecas que influenciam mais nas morfometrias, são as que ocorrem na área aluvial. Já as variáveis intrínsecas, da dinâmica do rio, a declividade parece ser importante na determinação das demais variáveis (sinuosidade, comprimento de onda e amplitude). A Sinuosidade também é determinante nestas duas últimas.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A planície aluvial do baixo do curso do Rio Aguapeí analisada nesta pesquisa mostra certas linearidades em uma análise visual em planta entre os trechos e os períodos, na qual esta pesquisa foi conduzida até o momento, necessitando a avaliação de outros dados que serão apresentados posteriormente na presente tese, como a variações dos dados hidrológicos e as influências antrópicas sobre a área de estudo ao longo de 55 anos.

A respeito da linearidade mencionada anteriormente, o período entre os anos de 1986-1996 observou-se pouquíssimas alterações na morfologia do canal, do modo que a mobilidade lateral do canal não sofre variações significativas, apenas podendo ser

notados crescimentos e migrações confinadas ao longo de todos os quatros trechos analisado.

Já no âmbito de cada trecho, o trecho 1 apresentou as menores variações dos mecanismos de mudanças dos meandros, registrando apenas um único corte de pedúnculo no último período de análise (2010-2019). Também apresentou os menores valores de índice de sinuosidade do canal, em que o valor mais alto registrado ficou próximo de 2, registrado entre o período de 1986-1996, por ser um trecho que ainda não está totalmente meandrado.

No trecho 2, ocorreu uma intensificação nos dados morfológicos e morfométricos apresentados, ao modo que, este trecho apresenta um canal muito mais meandrante em relação ao anterior, destacando-se como o trecho em que mais ocorreram cortes de pedúnculos, sendo o período entre 1986-1996 o único que não registrou tal mecanismo de mudança de meandro.

O trecho 3, pode ser acentuado como o trecho que mais apresentou mecanismos de mudanças dos meandros, inicialmente por ser o maior dos 4 trechos escolhidos para serem feitas os levantamentos e análises, destacando-se por ser o trecho que mais apresentou novos meandros (7 no total) somente no período entre 1964-1986.

Finalmente o trecho 4, mostrou um grande retrabalhamento de seu canal, através de uma grande mobilidade lateral entre o período de 1964-1986, escavando sua planície aluvial. Com relação aos dados levantados, foi o único trecho que não apresentou cortes de pedúnculo nos períodos em questão nesta tese, ficando a caráter da mobilidade lateral do canal, como principais alterações morfológicas e, a respeito da morfometria, constatou altos índices de sinuosidade que foram crescentes ao longo dos períodos de levantamento e análise, ultrapassando valores acima de 3.

Posteriormente, análises estatísticas irão mostrar de uma maneira mais efetiva as possíveis causas dos ajustes morfológicos e morfométricos do canal fluvial, dentro da planície aluvial do baixo curso do Rio Aguapeí, podendo elas serem autogênicas ou alogênicas ao canal fluvial da área de estudo.

A respeito da variabilidade hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapei, entre todos os dados levantados e analisados, sendo eles de precipitação média anual, vazões mínimas, máximas e médias. Em todos eles foram analisados na mesma escala de tempo de 70 anos (1950-2020) e nos períodos identificados entre quatros períodos

hidrológicos, houve a tendência de sempre a sua maior concentração de dados ser identificada no segundo período hidrológico.

A respeito dos dados de precipitação média anual, o segundo período foi o que se apresentou com a maior média de pluviosidade entre todos os quatros períodos com 1382mm de precipitação média entre o período de 1970-1984. Todavia o maior registro de precipitação média anual, ficou registrado no quarto e último período hidrológico de pluviosidade, entre 2006-2020, mais precisamente no ano de 2009 com um total de quase 1,805mm de pluviosidade.

No que tange a respeito aos dados de vazão, inicialmente os dados de vazão mínimas apresentam como já salientando também quatro períodos hidrológicos e, como se tratam de dados de mínimas, cabe destacar o primeiro período identificado que se mostrou com a menor média entre as vazões mínimas, com uma descarga de 25,48m³ no período entre 1950-1969, do modo que, o ano que encerre este período ficou registrado com a menor descarga entre todos os anos levantados, 16,65m³.

As descargas máximas apresentaram picos de descargas em três dos quatros períodos hidrológicos estipulados, sendo em ordem crescente de descarga máxima os anos de 1997, 1990, 1957, 1977, 1983. O segundo período foi o que apresentou a maior média de descarga máxima com 200,4m³, aonde o ano de 1983 apresentou uma descarga de 433m³, mais do que o dobro da média do período em que se encontra.

Em último, as vazões médias anuais apresentaram os maiores dados no segundo período e tendo novamente o ano de 1983 registrando o maior valor de vazão média, com 155,49m³, na qual a maior média entre os períodos foi de 90,68m³ registrado no segundo período das descargas médias.

É cabível destacar que numericamente a grande maioria das alterações morfológicas nos mecanismos de ajuste dos meandros ocorrem entre o final do primeiro período hidrológico e durante o segundo período (1964-1986), na qual são registrados os maiores valores pluviométricos e de descargas máximas, não ficando somente isolado a este período, sendo o final do terceiro período e começo do quarto período, apresentaram também diversas alterações nas morfologias, na qual os anos de 1997 e 2009 possam ter influência nas mudanças morfológicas.

Os dados morfométricos também refletem mudanças ocorridas em seus dados numéricos nos mesmos períodos e anos mencionados no parágrafo anterior, sendo

responsáveis pelos aumentos ou diminuições mais bruscas do índice de sinuosidade, podendo ser resultados de eventos de *el niños* de fortes intensidades ocorridos nos anos de 1983 e 1997.

Por fim, as cartas temáticas de uso e ocupação da terra ao longo dos anos propostos nesta pesquisa, mostrou cinco realidades na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, aonde o ano de 1964 apresentou uma certa divisão de usos entre as culturas permanentes do plantio de café e o uso de pastagem, em 1986 é notado o domínio quase absoluto das pastagens e os primeiros surgimentos de culturas temporárias. Em 1996 é observado um aumento significativo das culturas temporárias pelo crescimento das áreas de plantio de cana-de-açúcar, que se intensificaram mais ainda no ano de 2010 e se consolidaram totalmente no ano de 2019.

De certo modo, as mudanças e sobreposições dos usos e ocupações da terra na em conjunto com os dados de aporte de sedimento exportada na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí influenciaram as morfologias e morfometrias em um primeiro momento. Ambas as variáveis sofreram mais influência e mudanças principalmente quando se houve a troca do predomínio das pastagens para as culturas, aumentando ou diminuindo as ocorrências de mecanismos de ajustes dos meandros e, diminuindo de forma mais abruptas em todos os trechos os índices de sinuosidade, com a exceção do trecho 4, que registrou aumento da sinuosidade em todos os períodos analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, L. F. **Análise espaço-temporal do escoamento fluvial nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe, Oeste Paulista, Brasil**, 2014 138 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente.
- ANDRADE L. N. P. da S.; LEANDRO, G. S.; SOUZA, C. A. **Geoformas deposicionais e sedimentos de fundo na foz da baía Salobra confluência com o rio Paraguai Pantanal de Cáceres - Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 6, n. 2, p. 253-270. 2013.

Barros, B.; S.; X.; **Estatística multivariada e análise de contrastes ortogonais aplicadas em variáveis dimensionais de bacias hidrográficas**, Vol.1 (1), p.221-233, 1998

BAYER, M.; ZANCOPÉ, M. H. C. **Ambientes sedimentares da planície aluvial do rio Araguaia**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 203-220. 2014.

BERTONI, J.C; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. In: **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) e EDUSP, 2009. v. 1. 177-231 p.

BIGARELLA, J. J. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003. v. 3v

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Caderno de Ciências da Terra, 1971, n. 13, p. 1-27.

BRICE, J.C. **Evolution of meander loops**. Geological Society of America Bulletin, v. 85, p. 581–586, 1974.

BROOKS, K. N. I.; FFOLIOTT, P. F.; MAGNER, J. A. **Hydrology and the management of watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1991.

BÜHLER, B. F. **Qualidade da água e aspectos sedimentares da bacia hidrográfica do rio Paraguai no trecho situado entre a baía do Iate e a região do Sadao, município de Cáceres (MT), sob os enfoques quantitativos e perceptivos**. 2011. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. UNEMAT, Cáceres, MT, 2011.

CACCIA-GOUVEIA, I.C.; BARROS, R.R.F.; SILVA, I.R. **Estimativa de produção e exportação de sedimento na Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema (SP/PR)**. Anais do XII SINAGEO (Simpósio de Nacional de Geomorfologia), Crato-CE

CARVALHO, T. M. **Avaliação do transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia**. Revista Geosul, v. 24, n. 47, p.147-160. 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher; Ed. da Universidade de São Paulo, 1981.

CHORLEY, R.J.; SCHUMM, S. A.; SUGDEN, D.E. **Geomorphology**. Methuen, Inc., New York, 1985, 607 p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2ª edição, 2006, 286 p.

FERNANDES, M. R.; ARAUJO, R. R. ; RIZK, M. C. ; SANTOS, A. A. ; ROCHA, P. C. . **Análise Limnológica e a expansão da cana-de-açúcar em uma sub-bacia hidrográfica do Rio Santo Anastácio, Piquerobi/SP** In: IX Simpósio Nacional de Ciência e Meio Ambiente SNCMA, 2018, Anápolis, GO. III CIPEEX - Ciência para a redução das desigualdades, 2018. v. 2. p. 8-18.

FERNANDEZ, O.V.Q. & SOUZA FILHO, E.E. 1995. **Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no rio Paraná**. Boletim Paranaense de Geociências, ed da UFPR, Curitiba, nº 43, p161-171.

Gilvear, D.; Winterbottom, S.; Sichingabula, H.; **Character of channel planform change and meander development: Luangwa River, Zambia**. Earth Surf, Process, Landf. 25, p. 421 – 436, 2000.

GREGORY, K. J., Walling, D.E. **Drainage basin form and process: A geomorphological approach**. London: Edward Arnold Publishers Ltda, 1985, 456 p.

GRIZIO, E. V.; SOUZA FILHO, E. E. **As modificações do regime de descarga do rio Paraguai Superior**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 11, n. 2, p. 25-33. 2010. JACOMINE, P. K. T. et al. Guia para identificação dos principais tipos de solos de Mato Grosso. Cuiabá: PNUD-PRODEAGO, 1985.

HANNAH, D. M.; BOWER, D.; MCGREGOR, G. R. **Associations between Western European air-masses and river flow regimes.** Climate Variability and Change — Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006), IAHS Publ. p 344-349, 2006.

HICKIN, E. J. **The development of meanders in natural river channels.** American Journal of Science, v. 274, p. 414-442, 1974.

HICKIN, E. J.; NANSON, G. C. **The character of channel migration on the Beatton River, northeast British Columbia, Canada.** Geological Society of America Bulletin, v. 86, p. 487- 94, 1975.

HOOKE, J. M. **Human impacts on fluvial systems in the Mediterranean region.** Geomorphology V. 79 p. 311–335, 2006.

_____ **Complexity, self-organisation and variation in behaviour in meandering rivers.** v. 91, p. 236–258, 2007.

HOOKE, J. M. HARVEY, A. M. **Meander changes in relation to bend morphology and secondary flows.** In: Collinson, J., Lewin, J. (Org.), **Modern and Ancient Fluvial Systems.** International Association of Sediment Special Publication. p. 121–132, 1983.

HOOKE, J. M.; REDMOND, C. E. **Causes and nature of river planform change.** In: BILLI, P. et al. (Eds.). **Dynamics of gravel-bed rivers.** Chichester: Wiley, 1992. p. 549-563.

LABAT, D. (2008). **Wavelet analysis of the annual discharge records of the world's largest rivers.** In: Advances in Water Resources, 31, 109–117.

LANA, C. E.; CASTRO, P. T. A. **Análise sedimentológica e de proveniência de sedimentos fluviais nas cabeceiras do rio das Velhas, município de Ouro Preto.** MG. Rev. Esc., Ouro Preto, v. 61, n. 1, p. 63-68. 2008.

LANDIM, P. M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Ed. UNESP, 1998, 226 p;

LEOPOLD.; L.B., WOLMAN.; M.G.; Miller, J.P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. Freeman, San Francisco, 1964, 522 p.

LEWIN J, BRINDLE BJ. **Confined meanders**. *In River Channel Changes*, Gregory KJ (ed.). Wiley: Chichester; 221–233, 1977

KINGSTON, D. G.; MCGREGOR, G. R.; HANNAH, D. M.; LAWLER, D. M. **Large-Scale Climatic Controls on New England River Flow**. American Meteorological Society, p. 367-379, jun. 2007

KNIGHTON, A. D. **Fluvial forms and processes**. London: Edward Arnold, 1984. 454 p.

KINGSTON, D. G.; LAWLER, D. M.; MCGREGOR, G. R. **Linkages between atmospheric circulation, climate and streamflow in the northern North Atlantic: research prospects**. Progress in Physical Geography n. 30 p. 143–174, 2006.

KNOX, J. C. **Agricultural influence on landscape sensitivity in the Upper Mississippi River Valley**. Catena, n. 42 p. 193–224, 2001

KOCHEL, R. C. **Geomorphic impact of large floods: review and new perspectives on magnitude and frequency**. In: BAKER, V. R.; KOCHEL, R. C.; PATTON, P. C. (Eds.). **Flood geomorphology**. New York: Wiley, 1988. p. 169-187.

KUERTEN A. S.; SANTOS, M. L.; SILVA, A. **Variação das características hidrossedimentares e geomorfologia do leito do rio Ivaí – PR, em seu curso inferior**.

Geociências, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 143-151. 2009. LEANDRO, G. S.; SOUZA, C. A.; NASCIMENTO F. R. **Sedimentos de fundo e em suspensão no corredor fluvial do rio Paraguai, pantanal norte mato-grossense, Brasil**. Boletim Goiano, Geografi a (online), Goiânia, v. 34, n. 2, p. 195-214. 2014.

- MENDONÇA, J. L. G.; GUTIERRE, T. M. C. **O potencial hidrologico do grupo Bauru no Estado de São Paulo.** Anais do XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Capitólio-MG. p. 1-12, 2000
- MIALL, A. D. **A review of the braided river depositional environment.** Earth Science Reviews, v. 13, p. 1-62, 1977.
- MILANI E.J., & RAMOS V. **Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná.** Rev. Bras. Geoc., 28 (4): 473-484. 1998.
- MONBEIG, P. **Pioneiros e fazendeiros de São Paulo.** São Paulo: Hucitec/Polis, 1941.
- MONTEIRO, C. A. F.; **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de atlas.** São Paulo: Laboratório de Climatologia, Instituto de Geografia, 1973.
- MORAIS, R. P.; AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M. **Controles hidrogeomorfológicos nas unidades vegetacionais da planície aluvial do rio Araguaia, Brasil.** Acta Scientiarum. Biological Sciences, v. 30, n. 4, p. 411-421. 2008.
- MORAES, E. S. **Formas, processos e evolução do padrão de canal meandrante em diferentes escalas geomorfológicas: O rio do Peixe, SP.** 2015. 212 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente.
- MORAIS, E. S. de; SANTOS, M. L.; CREMON, E. H. ; STEVAUX, J. C. **Floodplain evolution in a confluence zone: Paraná and Ivaí rivers, Brazil.** Geomorphology (Amsterdam), v. 257, p. 1-9, 2016.

MORAIS, E. S.; ROCHA, P. C.; HOOKE, J. **Spatiotemporal variations in channel changes caused by cumulative factors in a meandering river: The lower Peixe River, Brazil.**

Geomorphology, n. 273, p. 348–360, 2016.

NANSON, G. C.; CROKE, J. C. **A genetic classification of floodplains.** Geomorphology, Geomorphology, v. 4, n. 6, p. 459–486, abr. 1992.

NIMER, E., 1989: **Climatologia do Brasil.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ; 421 p

OLIVEIRA, G. S. **O El Niño e Você - o fenômeno climático.** CPTEC/INPE, 116 p.

POFF, N. L.; BLEDSOE, B. P.; CUHACYAN, C. O. **Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems.** Geomorphology V. 79 p. 264–285, 2006

POFF, H.L., ALLAN, D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., & STROMBERG, J.C., 1997. **The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration.** Bioscience, vol. 47, n. 11. P. 769-784.

Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe – 1997.

ROCHA, P. C.; SANTOS, M. L.; COMUNELLO, E. **The disequilibrium stage of Upper Parana River flood system, Southern-Central Brazil.** REQUI/ I CQPLI, Lisboa, Portugal., SGP, GTPEQ, AEQUA. 137-140, Jul/2001.

ROCHA, P. C. **Dinâmica dos Canais no Sistema Rio-Planície Fluvial do Alto Rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico – PR, Maringá,** 2002, 169 p. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura, Universidade Estadual de Maringá.

ROCHA, P. C. **Os processos geomórficos e o estado de equilíbrio fluvial no alto rio Paraná, centro-sul do Brasil.** Geosul (UFSC), v. 24, p. 153-176, 2009.

ROCHA, P. C.; SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo climático e dinâmica limnológica na planície fluvial do alto Rio Paraná, Centro-Sul do Brasil.** Revista brasileira de climatologia, v. vol 6, p. 169-188, 2010.

ROCHA, P. C.; Tommaselli, J. T. G. **Variabilidade hidrológica nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe, Região Oeste Paulista.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 10, p. 69 – 84, 2012.

ROCHA, P. C. **Geomorfologia e Conectividade hidrodinâmica em sistemas fluviais: Uma revisão conceitual.** Relatório de Estágio de Pós-Doutoramento, 2015. Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA) – Universidade Estadual de Maringá / School of Environmental Science – University of Liverpool (UK).

SANTOS, M.L., ROCHA, P.C. & COMUNELLO, E. (2001), **Sistema Fluvial do Rio Paraná (Brasil) em seu Curso Superior: Um Exemplo de Planície Aluvial em Desequilíbrio.** V REQUI/ I CQPLI, Lisboa, Portugal. Jul/2001. 145 – 148 p.

SANTOS, A.P. **Estimativa de escoamento superficial no Pontal do Paranapanema-SP e sua relação com a cobertura e uso da terra.** 2018, 98 f. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

SCHÖNGART, J.; JUNK, W. J. **Forecasting the flood-pulse in Central Amazonia by ENSO-index.** Journal of Hydrology, p. 124-132, 2007.

SCHUMM, S. A. **The fluvial system.** New York: Willey-Interscience, 1977. 424 p.

SNEATH, P.H.; SOKAL, R.R. (1973) **Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification.** 1st Edition, W. H. Freeman, San Francisco.

SILVA, A.; SOUZA FILHO, E. E.; CUNHA, S. B. **Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres (MT).** Revista Brasileira de Geociências, v. 38, n. 1, p. 167-177. 2008.

SILVA, F. C., FREITAS, I. J.; CRUZ, J. S. B.; OLIVEIRA, M. A. P.; ANDRADE, L. N. P. da S.; SOUZA, C. A. **Rio Paraguai no Pantanal de Cáceres, Mato Grosso: feições morfológicas e deposição de sedimentos**. Revista Mato-Grossense de Geografia, Cuiabá, n. 16, p. 39-60. 2013.

SOUZA FILHO, E.E. & STEVAUX, J.C. 1997., **Geologia e Geomorfologia do Complexo Rio Baía, Curutuba, Ivinheima**. In: Vazzoler, A.E.A.M., Agostinho, A.A. and Hahnn, N.S. (eds), **A PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO RIO PARANÁ**. UEM-Nupelia, Maringá-PR.

SOUZA FILHO, E.E., ROCHA, P.C., CORREA, G.T. & COMUNELLO, E., 2001. **O Ajuste Fluvial e a Erosão das Margens do Rio Paraná em Porto Rico (Brasil)**. V REQUI/ I CQPLI, Lisboa, Portugal. Jul/2001. 37 – 40 p.

SOUZA, C. A. **Dinâmica do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiamã-MT**. 2004. 173 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SOUZA, C. A. SOUSA, J. B.; FERREIRA, E.; ANDRADE, L. N. P. S. **Sistema hidrográfico do rio Paraguai, MT**. In: SOUZA, C. A. (Org.) **Bacia hidrográfica do rio Paraguai, MT: dinâmica das águas, uso e ocupação e degradação ambiental**. São Carlos: Editora Cubo, 2012.

SOUZA, C. A.; CUNHA, S. B. **Mudanças na calha fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiamã, Mato Grosso**. Revista GeoPantanal, Corumbá, v. 8, n. 14, p. 9-26. 2013.

STÉVAUX, J. C; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos 2017 336 p.

STØLUM, H. H. **Planform geometry and dynamics of meandering rivers**. *Geology*, n. 11, p. 1485–1498, 1998.

- SUIZU, T. M. **Morfodinâmica do rio Aguapeí: processos e formas resultantes**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretora-técnica, SUPREN, 1977.
- VICTOR, M. A. M. et al. **Cem anos de devastação: revisitada 30 anos depois**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.
- ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; APPI, V. T.; NETO, E. V. S.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES, A. **The Paraná Basin, Brazil**. In : LEIGHTON, M. W.; KOLATA, D. R.; OLTZ, D. F.; EIDEL, J. J. **Interior cratonic basins**. Tulsa, Okla.: American Association of Petroleum Geologists, 1990. p. 681-708. (American Association of Petroleum Geologists. Memoir, 51).
- ZANCOPÉ, M. H. C. **Análise morfodinâmica do Rio Mogi Guaçu**. 2008. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- ZILIANI, L; SURIAN, N. **Evolutionary trajectory of channel morphology and controlling factors in a large gravel-bed river**. Geomorphology, v. 173-174, p. 104-107, nov. 2012.
- White, I.C. 1908. **Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. DNPM , Rio de Janeiro, Parte I, p.1-300 ; Parte II p. 301-617. (ed. Fac-similar de 1988).