

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**BRENO SCHMIDTKE RODRIGUES**

**Mudanças Antropogênicas em Planícies Fluviais Urbanizadas: o caso da Planície do  
rio Baquirivu-Guaçu (RMSP)**

**Versão Final**

São Paulo  
2021

BRENO SCHMIDTKE RODRIGUES

**Mudanças Antropogênicas em Planícies Fluviais Urbanizadas: o caso da Planície do  
rio Baquirivu-Guaçu (RMSP)**

**Versão Final**

Monografia apresentada a banca examinadora do  
Departamento de Geografia da Universidade de  
São Paulo como parte dos pré-requisitos para  
obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cleide Rodrigues

São Paulo

2021

Mas poucos sabem qual é o rio da minha aldeia

E para onde ele vai

E donde ele vem

E por isso, porque pertence a menos gente,

É mais livre e maior o rio da minha aldeia.

(F. PESSOA/ ALBERTO CAEIRO)

## **Agradecimentos**

Agradeço, em primeiro lugar, à professora Cleide Rodrigues pela orientação, confiança e trocas que possibilitaram meu amadurecimento científico em quase 3 anos da graduação trabalhando nesta pesquisa e em outras pesquisas relacionados a Geomorfologia;

a minha família, principalmente minha mãe, irmã e tia Magda que estiveram presente dando apoio no meu percurso desde meu ingresso na Geografia, em 2017;

a minhas amigas Ana Beatriz Shimabuko, Camila da Cunha e Jéssica Sales que durante toda a graduação estiveram presentes em diversos momentos, possibilitando trocas incríveis que contribuíram para este trabalho;

ao professor Fernando Nadal pelos valiosos ensinamentos e trocas na disciplina de Geomorfologia II e durante as reuniões do GET Águas;

aos colegas Pamela e Iury pelas dicas valiosas principalmente em relação a cartografia geomorfológica e SIG;

ao CNPq pela concessão da bolsa PIBIC para execução da pesquisa entre 2019 e 2020;

aos funcionários da biblioteca do DAEE e Arquivo Histórico Municipal de Guarulhos pelo auxílio com documentos históricos;

a Professora Ivanete, que desde o ensino médio têm sido uma inspiração para o meu espírito de investigação geográfico e desde muito tempo contribuiu com este trabalho;

a Ifá, Oxum e Xangô pela força e inspiração.

## RESUMO

A urbanização em planícies fluviais gera mudanças no conjunto de formas e materiais superficiais que, por sua vez, implicam em efeitos relevantes sobre os processos hidromorfológicos originais desses sistemas, os quais podem desencadear quadros de degradação da qualidade ambiental e originar situações de risco. Neste contexto, o presente estudo aborda o dimensionamento do impacto humano sobre planícies fluviais urbanizadas a partir do escopo da geomorfologia fluvial e antropogeomorfologia, objetivando avaliar as mudanças nos atributos das formas, processos e materiais superficiais da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu, área representativa no conjunto de planícies fluviais meândricas do Alto Tietê (SP). Para tal, realizou-se a análise evolutiva do avanço da urbanização e mudanças em atributos geomorfológicos, pautando-se na abordagem histórica em geomorfologia, uso de geoindicadores e da cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva. Verificou-se que em cerca de meio século, as intervenções humanas vinculadas a urbanização causaram mudanças de alta magnitude na morfologia do canal fluvial, com mudança de padrão meândrico para retilíneo, aumento de declividade e redução da extensão total, além da supressão de cerca de 91,40% da área total de planície de inundação e ampliação de áreas impermeabilizadas, com indicativos de efeitos sobre as tendências espaciais de processos hidromorfodinâmicos originais.

**Palavras-Chave:** Planícies Fluviais Urbanizadas; Geomorfologia Antropogênica; Geoindicadores; Mudanças Ambientais; Rio Baquirivu-Guaçu.

## ABSTRACT

Urbanization in river plains generates changes in the set of forms and surface materials that, in turn, imply relevant effects on the original hydromorphological processes of these systems, which can trigger scenarios of degradation of environmental quality and lead to risk situations. In this context, this study addresses the dimensioning of the human impact on urbanized river plains from the scope of fluvial geomorphology and anthropogeomorphology, aiming to assess changes in the attributes of forms, processes and surface materials of the Baquirivu-Guaçu river fluvial plain, representative area in the set of meandric fluvial plains of Alto Tietê (SP). To this end, an evolutionary analysis of the advance of urbanization and changes in geomorphological attributes was carried out, based on the historical approach in geomorphology, use of geoindicators and retrospective and evolutionary geomorphological cartography. It was found that in about half a century, human interventions linked to urbanization caused high magnitude changes in the morphology of the river channel, with a change from a meandering to a straight pattern, an increase in slope and a reduction in the total extension, in addition to the suppression of approximately 91.40% of the total floodplain area and expansion of impermeable areas, with indications of effects on the spatial trends of original hydromorphodynamic processes.

**Key words:** Urbanized Fluvial Plains; Anthropogenic geomorphology; Geoindicators; Environmental changes; Baquirivu-Guaçu River

## Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo: Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu..	16
Figura 2: Tipologias de Morfologia Meândrica.....	21
Figura 3: Parâmetros morfométricos de canais meândricos.....	22
Figura 4: Bloco diagrama com setores, formas e materiais típicos de uma Planície Fluvial Meândrica.....	24
Figura 5: Transectos de realização de trabalho de campo.....	37
Figura 6: Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB).....	41
Figura 7: Mapa Geológico da Bacia do Alto Tietê com destaque para a área de estudo. Fonte: IGC/USP.....	46
Figura 8: Sistematização da Morfologia Original da Região Metropolitana de São Paulo com destaque para a área e estudo.....	50
Figura 9: Carta Hipsométrica da área de estudo.....	52
Figura 10: Gráfico das Médias Mensais de Precipitação na área de estudo.....	54
Figura 11: Esboço Geomorfológico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período pré-pertubação (1962).....	56
Figura 12: Perfil de Sinuosidade do Canal Fluvial ativo original do rio Baquirivu-Guaçu com marcação do limiar de Sinuosidade 1,5.....	58
Figura 13: Trechos amostrais para mensuração de comprimento de onda ( $\lambda$ ).....	59
Figura 14: Perfil Longitudinal original do rio Baquirivu-Guaçu.....	61
Figura 15: Perfil Sedimentar descrito em campo, localizado na Rua Jamil João Zarif.....	63
Figura 16: Fotografia do trecho jusante da Planície do rio Baquirivu-Guaçu, a partir do bairro do Taboão, com destaques para as Planícies de Inundação no início da década de 1970.....	64
Figura 17: Fotografia da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu no trecho jusante na altura do bairro Pq. São Luís em 1973.....	65
Figura 18: Carta de Uso do Solo da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu (1962).....	70
Figura 19: Carta de Uso do Solo da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu (1981).....	76
Figura 20: Carta de Uso do Solo da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu (2011).....	78
Figura 21: Gráfico evolutivo da área total de tipologias de classe de uso do solo no período entre 1962 e 2011.....	79
Figura 22: Esboço Geomorfológico Antropogênico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período perturbação ativa (1981).....	82
Figura 23: Esboço Geomorfológico Antropogênico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período pós-perturbação (2011).....	84
Figura 24: Perfil de Sinuosidade do Canal Fluvial Retificado do rio Baquirivu-Guaçu em 1981.....	86
Figura 25: Perfil Longitudinal do rio Baquirivu-Guaçu em 1981.....	87
Figura 26: Perfil de Sinuosidade do Canal Fluvial Retificado do rio Baquirivu-Guaçu em 2011.....	88
Figura 27: Perfil Longitudinal do rio Baquirivu-Guaçu em 2011.....	89
Figura 28: Trecho semi-preservedo de morfologia de planície de inundação indiferenciada..	89
Figura 29: Solapamento na margem do canal fluvial antropogênico do rio Baquirivu-Guaçu no trecho da rua Jamil João Zarif, com indicação de ampliação da largura do canal.....	91
Figura 30: Depósito sedimentar no canal fluvial antropogênico na Rua Jamil João Zarif.....	92
Figura 31: Gráfico correlativo do comportamento temporal de geoindicadores.....	94

Figura 32: Mapa de casos reportados de inundação levantados em veículos de mídia entre 2010 e 2020 na Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu.....	95
Figura 33: Mapas de Logradouros considerados de risco para ocorrência de inundações pela Defesa Civil de Guarulhos (2014).....	96
Figura 34: Mapa de densidade de Kernel dos casos reportados de inundação em veículos de mídia entre 2010 e 2020 na Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu.....	97
Figura 35: Sobreposição temática de layers: morfologia original, morfologia antropogênica e inundações.....	98



## Lista de Tabelas

Tabela 1: Geoindicadores de Mudanças em Sistemas Hidrogeomorfológicos Urbanizados selecionados para a Pesquisa.....	33
Tabela 2: Inventário de documentos técnicos levantados na pesquisa documental.....	34
Tabela 3: Bases cartográficas levantadas para a pesquisa.....	35
Tabela 4: Síntese de veículos de mídia consultados para levantamento de relatos de inundação.....	39
Tabela 5: Taxonomia Geomorfológica da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu baseado em Ross (1992) e Ross e Moroz (1996).....	48
Tabela 6: Síntese dos subsistemas e morfologias originais identificadas na Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu.....	55
Tabela 7: Legenda do Esboço Geomorfológico Original: cenário pré-intervenção (1962).....	57
Tabela 8: Comparação de valores de comprimento de onda por trecho amostral no canal fluvial original do rio Baquirivu-Guaçu.....	60
Tabela 9: Relação de padrões de apropriação, uso do solo e efeitos hidromorfológicos: período de pré-pertubação (1962).....	71
Tabela 10: Comparativo das vazões de pico simuladas por trecho do canal fluvial do rio Baquirivu-Guaçu por trecho de área de drenagem.....	74
Tabela 11: Vazões de Projeto por trecho do canal retilíneo artificial do rio Baquirivu-Guaçu.....	74
Tabela 12: Parâmetros hidráulicos estabelecidos para o canal artificial do rio Baquirivu-Guaçu.....	74
Tabela 13: Relação de padrões de apropriação, uso do solo e efeitos hidromorfológicos: período de perturbação ativa (1981).....	77
Tabela 14: Relação de padrões de apropriação, uso do solo e efeitos hidromorfológicos: período de pós-perturbação (2011).....	80
Tabela 15: Legenda do Esboço Geomorfológico Antropogênico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período perturbação ativa (1981).....	83
Tabela 16: Legenda do Esboço Geomorfológico Antropogênico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período pós-perturbação (2011). ....	85
Tabela 17: Comparação temporal de parâmetros de geindicadores de canal fluvial.....	90
Tabela 18: Comparação temporal de parâmetros de geindicadores de planície de inundação. ....	93
Tabela 19: Comparação temporal de parâmetros de geindicadores de materiais superficiais antropogênicos.....	93



## Sumário

1	Introdução.....	14
1.1	Objetivo, Área de Estudo e Justificativas.....	15
2	Referencial Teórico.....	17
2.1	Geomorfologia.....	17
2.2	Geomorfologia Fluvial.....	18
2.3	Geomorfologia Antropogênica.....	27
2.4	Cartografia Geomorfológica.....	31
3	Metodologia.....	33
3.1	Etapas I: Coleta e sistematização de dados.....	34
3.1.1	Pesquisa documental.....	34
3.1.2	Levantamento de bases cartográficas.....	35
3.1.3	Cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva da área de estudo.....	35
3.1.4	Trabalhos de campo.....	37
3.1.5	Levantamento e sistematização de casos de inundação.....	38
3.1.6	Sistematização de geoindicadores.....	39
3.2	Etapas II: Organização e interpretação de dados e indicadores.....	40
3.2.1	Organização de dados e indicadores.....	40
3.2.2	Interpretações.....	40
4	Caracterização física da área de Estudo.....	41
4.1	Contexto Geológico.....	41
4.1.1	Contexto Geológico Regional.....	41
4.1.2	Contexto Geológico Local.....	44
4.2	Contexto Geomorfológico.....	47
4.2.1	Contexto Geomorfológico Regional e Taxonomia Geomorfológica.....	47
4.2.2	Contexto Geomorfológico Local.....	49
4.3	Contexto Pedológico.....	52
4.4	Contexto Climático.....	53
5	Resultados e Discussão.....	55
5.1	Reconstituição da geomorfologia original da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu	55
5.1.1	Descrição da morfologia e materiais superficiais originais.....	58
5.1.2	Interpretações Geomorfológicas: aspectos morfogenéticos e tendências espaciais de processos hidrogeomorfológicos.....	66
5.2	Histórico de intervenções humanas na planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: padrões de apropriação,.....	69
5.2.1	Período de Pré-perturbação.....	69
5.2.2	Período de Perturbação ativa.....	71
5.2.3	Período de pós-perturbação.....	77
5.3	Mudanças Antropogênicas: formas, materiais e tendências de processos.....	81
5.3.1	Descrições da morfologia antropogênica.....	81
5.3.2	Mudanças nas formas e materiais superficiais e tendências espaciais de processos hidrogeomorfológicos.....	91
5.3.2.1	Subsistema canal fluvial.....	91
5.3.2.2	Subsistema Planície de Inundação.....	95
5.3.3	Dimensões de mudanças: escalas, magnitudes e efeitos no sistema hidrogeomorfológico da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu.....	101

5.4 Avaliação de geomorfologia aplicada: breves apontamentos.....	101
5.4.1 Inundações.....	102
5.4.2 Restauração fluvial.....	102
6 Conclusões.....	104
7 Referências Bibliográficas.....	106
8 Anexos.....	113
MODELO DE FICHA DE LEITURA DA PESQUISA DOCUMENTAL.....	113



## 1 Introdução

A partir da década de 1950 observa-se, em escala mundial, o avanço significativo da urbanização, sobretudo nos países de economia emergente. Conforme Santos (1981) a urbanização nos países subdesenvolvidos é marcada por uma pretérita industrialização, intenso êxodo rural e expansão significativa de pequenas aglomerações urbanas e crescimento polarizado de grandes centros urbanos a partir de uma cidade matriz. No âmbito do Brasil, verifica-se que entre as décadas de 1940 e 1980 a população urbana no Brasil cresceu cerca de 7,5% ao passo que o crescimento populacional total foi de cerca de 3% conforme indica Santos (1993). Neste contexto, verifica-se no Brasil, a expansão geográfica de áreas urbanas em diversos estados e municípios e também a consolidação de áreas e regiões metropolitanas, caracterizadas pela conurbação entre diversos municípios.

Como formas espaciais resultantes da urbanização, as cidades são, conforme Custódio (2012), caracterizadas pela aglomeração de edificações, infraestruturas e populações não-agrícolas organizados em uma base físico-ambiental específica, o chamado sítio urbano. As cidades demandam, portanto, uma série de intervenções e modificações do meio físico e seus respectivos componentes. Neste sentido, Chin (2006) destaca que na atualidade, as cidades são umas das principais indutoras de mudanças na superfície terrestre e seus respectivos processos.

No contexto brasileiro, observa-se na última metade do século XX que a urbanização causou significativas mudanças em sistemas fluviais, os quais. Rodrigues et. al. (2019), por exemplo, indica que no âmbito da metrópole paulista, a urbanização no período de cerca de um século causou mudanças de alta magnitude nos atributos de bacias hidrográficas e planícies fluviais.

Especificamente, no âmbito de planícies fluviais, caracterizadas grosso modo como sistemas geomorfológicos cuja dinâmica é vinculada ao regime fluvial, as intervenções humanas, de natureza direta ou indireta, podem gerar mudanças no conjunto de formas e materiais superficiais característicos e efeitos significativos na magnitude, frequência e ocorrência de processos característicos (Rodrigues, 2015). O histórico cumulativo de intervenções humanas nestes sistemas pode ocasionar a degradação da qualidade ambiental e situações de risco, que podem implicar em perdas e danos as populações locais.

Emerge, nesta perspectiva, a necessidade de reconhecimento sistemático do histórico de apropriação humana destes sistemas, com destaque para as modalidades de perturbação sobre seus subsistemas originais e suas respectivas espacialidades, temporalidades e efeitos hidromorfodinâmicos (Rodrigues, 2004, 2010). À vista disso, identificar e dimensionar o peso da variável antrópica sobre sistemas de planície fluvial é fundamental, sobretudo no bojo de discussões

sobre o período de dominância da influência humana nas mudanças dos sistemas físico-ambientais terrestres, o chamado Antropoceno (Pellogia, 2019; Rodrigues et. al., 2019).

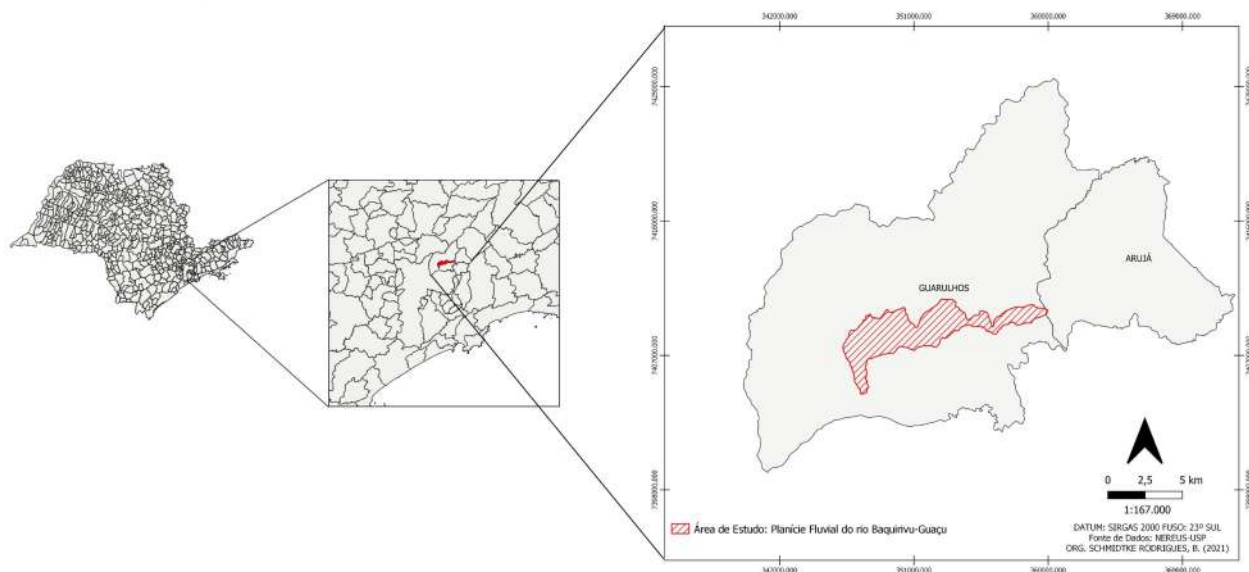
O conjunto de planícies fluviais meândricas do alto Tietê (SP) destaca-se no contexto brasileiro, como um dos casos mais representativos das mudanças e impacto do processo de urbanização sobre sistemas fluviais. Tal conjunto de planícies, grosso modo, apresentava originalmente canais fluviais predominantemente meândricos com desenvolvimento de planícies de inundação características. Ao longo do último século, tais sistemas foram sendo submetidas, em muitos casos, à intervenções por obras hidráulicas e intenso processo de ocupação que resultaram não apenas em sua descaracterização morfológica, mas também uma série de efeitos em suas tendências de processos. Se demanda, assim, reconhecer a situação pré-intervenção e o peso histórico da ação humana, para a adequada gestão e planejamento físico-territorial destes sistemas, que apresentam problemáticas significativas vinculadas a essa sequência de fatos, tal como a qualidade ambiental e inundações/enchentes (Luz, 2015, Rodrigues, 2005, 2010, 2015).

É neste contexto que o presente trabalho se insere: trata-se de o esforço sistemático de identificação e reconhecimento cartográfico da sequência histórica de intervenções diretas e de mudanças ou efeitos em características morfológicas, morfométricas e de tendências espaciais de processos hidrogeomorfológicos da urbanização de em sistemas de planície fluvial meândrica do rio Baquirivu-Guaçu, localizada na porção leste da Região Metropolitana de São Paulo. Para isso, este estudo assenta-se em dois campos principais da geomorfologia: geomorfologia fluvial (Christofoletti 1980, 1981; Knighton, 1996; Stevaux e Latrubesse, 2017 entre outros) e a antropogeomorfologia (Nir, 1983; Goudie, 1997; Rodrigues 2004, 2005, 2010, 2015), valorizando-se a cartografia geomorfológica retrospectiva, a abordagem histórica em geomorfologia e o uso dos geoindicadores.

## **1.1 Objetivo, Área de Estudo e Justificativas**

A partir do exposto acima, elencou-se como objetivo da pesquisa avaliar as mudanças antropogênicas nos atributos das formas, materiais superficiais e tendências espaciais de processos a partir da fase de pré-perturbação na Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu nos municípios de Guarulhos e Arujá na Região Metropolitana de São Paulo. A seleção da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu e o respectivo recorte espacial como área de estudo (Figura 1) se dá em função (I) da representatividade em relação aos aspectos e contextos físicos e processo histórico de apropriação em relação ao conjunto de Planícies do Alto Tietê (II) da disponibilidade relativamente adequada de dados espaciais e documentos históricos vinculados aos processos de intervenção no meio físico e (III) acessibilidade para realização de trabalhos de campo.

## Localização da área de estudo: Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu



**Figura 1:** Mapa de Localização da área de estudo: Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

Para além dos critérios citados acima, a seleção da área de estudo se dá também em função de problemáticas similares em relação a ocupação de áreas de planície fluvial, sobretudo em relação a ocorrência de inundações e quadros de degradação da qualidade ambiental.



## 2 Referencial Teórico

### 2.1 Geomorfologia

A Geomorfologia é um ramo das ciências da Terra e da geografia física que preocupa-se com o estudo do modelado terrestre, investigando a gênese, dinâmica e aspectos evolutivos das formas da superfície da Terra. Hart (1986) destaca que os estudos em geomorfologia devem abranger o chamado tripé geomorfológico, o qual inclui as formas, os materiais e os processos:

- **Formas:** as formas se referem a dimensão física do relevo e incluem seu tamanho e geometria. As formas podem ter diferentes ordens de grandeza, desde escala continentais até microescalas de alguns centímetros. A morfometria, conforme Hart (1986) é um dos elementos centrais no estudo da forma, uma vez que a partir da mensuração de parâmetros das formas (como altura, comprimento, ângulos etc) e suas correlações é possível obter, de fato, o estudo das formas e dos sistemas morfológicos;
- **Materiais:** os materiais superficiais correspondem a base física na qual as formas de relevo são esculpidas, e neste aspecto, Hart (1986) enfatiza que o estudo das propriedades destes materiais torna-se importante para a geomorfologia, principalmente no que se refere ao comportamento mecânico e geoquímico dos materiais em relação aos processos geomorfológicos. As relações entre rocha e relevo, o estudo de processos, intemperismo, desenvolvimento de solos, vertentes e aplicações são algumas das áreas da geomorfologia onde o estudo de propriedades de materiais são importantes;
- **Processos:** os processos são ações contínuas executados por um agente natural (rios, geleiras, chuva, ventos etc). Como indica Hart (1986), os processos constituem aplicações de energia sobre um determinado tipo de material superficial que geram as formas; no entanto, destaca que a forma e o processo nem sempre é óbvia e a forma, muitas vezes, pode influenciar o processo. O seu estudo não envolve apenas processos de natureza mecânica como erosão, transporte, deposição e movimentos de massa mas também processos geoquímicos e biológicos, com o intemperismo e formação de solos. A avaliação dos processos inclui a mensuração dos balanços e taxas a partir de experimento em campo e laboratório, além das correlações com as formas e propriedades de materiais.

A pesquisa em geomorfologia, portanto, envolve dois níveis de raciocínio que permitem consolidar o conhecimento sobre o modelado terrestre: o nível descritivo, que envolve a mensurações e descrições geométricas das formas, estudo de propriedades de materiais superficiais e monitoramento de taxas e tendências de processos. O nível interpretativo, por sua vez, abarca a

interpretação sobre os aspectos genéticos, evolutivo e morfodinâmicos do modelado a partir dos dados obtidos no nível descritivo e referenciais teóricos.

A partir da década de 1950, a Teoria Geral dos Sistemas passou a ser aplicada aos estudos geomorfológicos e constituiu uma base teórica significativa para a definição mais precisa do campo científico da geomorfologia conforme Christofolletti (1980). Chorley (1962) define o sistema geomorfológico como um sistema aberto mantido constantemente por fluxos de matérias e energia, que possuem rotas de entrada (*in put*), circulação e saída (*out put*). O autor destaca que nos sistemas geomorfológicos há uma tendência universal de ajuste mútuo entre as formas e processos, relacionando as oscilações das entradas de matéria e energia, o que constitui o chamado equilíbrio dinâmico. Os estudos em geomorfologia de processos, principalmente em relação a geomorfologia fluvial enfatizam a abordagem sistêmica como um dos principais fundamentos para o estudo de sistemas fluviais.

Christofolletti (1980) destaca que esse equilíbrio representa o ajuste completo das variáveis do sistema geomorfológico às condições ambientais externas. Mattos e Perez Filho (2010) afirmam que o estado de equilíbrio nos sistemas geomorfológicos também pode ser interpretado como a possibilidade de manutenção do sistema, vinculada ao seu padrão de organização particular. Neste sentido, a manutenção do conjunto de formas e processos característicos de cada sistema geomorfológico indicaria um estado de equilíbrio. Os autores destacam assim, que o equilíbrio no sistema geomorfológico pode ser avaliado em dois aspectos: o equilíbrio entre os elementos do sistema (formas, processos e materiais) relacionado sobretudo aos seus aspectos funcionais e o equilíbrio evolutivo, que refere-se às mudanças externas e internas que ocorrem ao longo do tempo geológico. Por fim, os autores destacam três considerações fundamentais na discussão do equilíbrio em sistemas geomorfológicos: estados de estabilidade se intercalam com estados de instabilidade ao longo do tempo geológico; o equilíbrio ocorre mesmo com elementos instáveis ou em não-equilíbrio dentro do sistema e alterações e/ou perturbações ambientais não devem ser vistos como ruídos externos, mas sim como fatores fundamentais na evolução e equilíbrio do sistema.

## **2.2 Geomorfologia Fluvial**

A geomorfologia fluvial é o campo da geomorfologia focado as formas, processos e materiais relacionados à dinâmica de canais fluviais, planícies e terraços fluviais, bacias hidrográficas, vales fluviais dentre outros subsistemas e sistemas fluviais. Planícies Fluviais, principal interesse desta pesquisa, segundo Rodrigues (2015), são sistemas geomorfológicos típicos de fundo de vale formados por canal fluvial, planície de inundação (e seus subcompartimentos como backswamps,

diques marginais etc) e eventualmente terraços fluviais. Esses sistemas são caracterizados por dois conjuntos de processos hidrológicos, sedimentológicos e geomorfológicos: os processos de canal e os processos de extravasamento. É importante salientar que as características hidrodinâmicas, morfológicas e sedimentológicas das Planícies Fluviais como um todo relacionam-se ao padrão de canal fluvial principal.

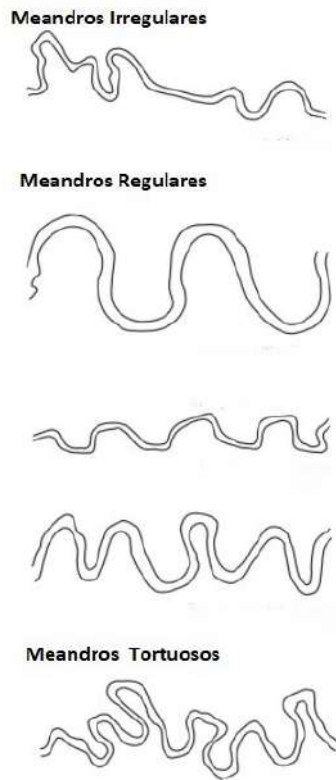
O Canal Fluvial é definido por Stevaux e Latrubesse (2017) como a estrutura por um rio para escoar com maior eficiência água e material sedimentar de acordo com as condições ambientais existentes. A esculturação do canal fluvial se dá a partir da ação do fluxo fluvial sobre materiais do leito e margens; o fluxo fluvial, conforme Christofolletti (1980, 1981), é um fluxo acanalado turbulento caracterizado por uma série de movimentos caóticos sendo controlado essencialmente pelo balanço entre as forças de gravidade e atrito, relacionados respectivamente, ao declive do perfil longitudinal do canal e a superfície limitante e rugosidades do canal. Os processos dinamizados a partir do fluxo fluvial são a erosão, transporte e deposição, sendo controlados essencialmente pela velocidade do escoamento fluvial e as características do material envolvido, sobretudo sua granulometria e friabilidade. Magalhães Jr. e. al. (2020) indicam que o balanço entre a aceleração gravitacional e a vazão é fundamental na ocorrência dos processos que ocorrem no canal fluvial, visto que são grandezas que interferem diretamente na velocidade do escoamento.

A erosão que ocorre em canais aluvionares remoção pela ação mecânica do fluxo fluvial de partículas das margens e leito fluvial, sendo geralmente mais eficaz em condições de maior carga cisalhante, maiores velocidades, maiores vazões e potência de fluxo e em materiais mais friáveis. O transporte no canal consiste na movimentação longitudinal, lateral e transversal de material erodido pelo próprio canal e principalmente aquele fornecido ao canal pelas vertentes via escoamento superficial. Christofolletti (1980, 1981) destaca que no canal ocorrem diferentes modalidades de transporte fluvial de acordo com a granulometria do material sedimentar e características do fluxo: suspensão (material fino como argila, silte e areia fina), rolamento, arraste e saltação (material grosseiro como areia grossa, seixos e cascalhos). A deposição consiste na sedimentação do material transportado e ocorre quando o fluxo fluvial perde velocidade e torna-se incapaz de transportar sedimentos de determinada granulometria.

Os canais fluviais apresentam diversos aspectos morfológicos das quais destacam-se a geometria hidráulica e o padrão de canal. Christofolletti (1981) afirma que a geometria hidráulica refere-se às características geométricas da seção transversal dos canais fluviais (como largura, profundidade, forma da seção etc) sendo constantemente ajustados em função da variabilidade das vazões no ano hidrológico. O padrão de canal refere-se a sua morfologia planar e, conforme Christofolletti, relacionam-se com aspectos de geometria hidráulica e perfil longitudinal dos canais.

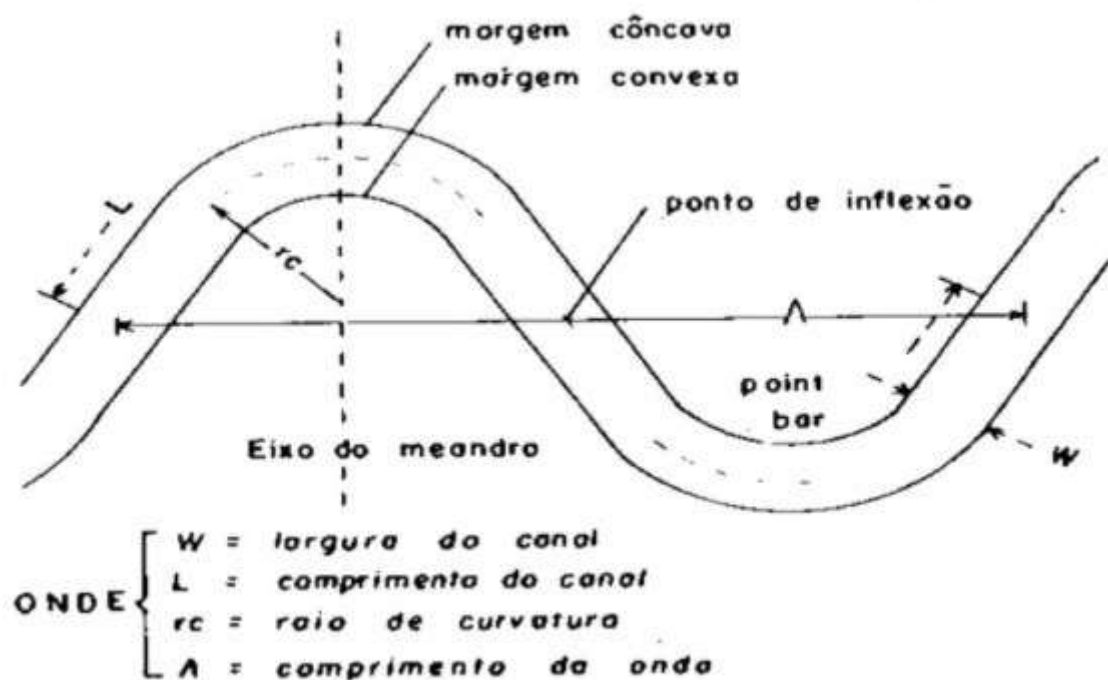
A morfologia planar do canal fluvial ajusta-se as variáveis ambientais da bacia hidrográfica que localiza-se, sobretudo em função do substrato de desenvolvimento, regime fluvial e carga sedimentar fornecida pelas vertentes. Knighton (1998) destaca três tipos fundamentais de padrão canal fluvial: retilíneos, entrelaçados e meândricos.

Os canais meândricos são o tipo de canal mais abordado na geomorfologia segundo Christofolletti (1980) em função de suas características geométricas, que conforme o autor são canais que descrevem curvas sinuosas, largas e harmoniosas através da continuidade de erosão na margem côncava e deposição na margem convexa. Knighton (1998) diferencia três tipos básicos de morfologia meândrica ajustadas em função das condições ambientais em que inserem, conforme a figura 2: **irregular** com meandros com diferentes formas e tamanhos, **regular** com relativa homogeneidade morfométrica dos meandros e **tortuosos** com alterações de morfologia (trechos meândricos e retilíneos). Um critério morfométrico de canal amplamente utilizado para identificar canais meândricos é o índice de Sinuosidade (S), destacado em Christofolletti (1980, 1981), Knighton (1988) e Stevaux e Latrubesse (2017) como a razão entre o comprimento do canal fluvial e o eixo principal do vale fluvial. Apartir desse critério, considera-se um canal como meândrico aquele que apresenta S igual ou superior a 1,5. É importante salientar que muitos rios podem apresentar variações de sinuosidade ao longo de sua extensão total, e assim com a morfologia dos meandros, sendo possível distinguir trechos meândricos e trechos não meândricos ou trechos mais ou menos sinuosos.



**Figura 2:** Tipologias de Morfologia Meândrica. Fonte: Knighton (1998). **Adaptado por:** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

Christofolletti (1980, 1981) apresenta alguns parâmetros morfométricos significativos para a descrição de canais meândricos, e que podem contribuir em sua caracterização morfológica conforme mostra a figura 3. Os parâmetros ou atributos são relacionados tanto a seções do canal, como à geometria dos meandros tomados em planta. No primeiro caso podem ser citados: largura do canal (distância entre duas margens de modo perpendicular), e comprimento (distância que acompanha o lineamento do canal), profundidade (espessura média entre o fundo de canal e superfície da água), dentre outros. No segundo caso podem ser citados, como dos meandros que constituem o canal como o comprimento de onda (distância entre dois pontos de inflexão ou arcos de curvas meândricas consecutivas) e amplitude de meandro, dentre outros.



**Figura 3:** Parâmetros morfométricos de canais meândricos. **Fonte:** Christofolletti (1981).  
**Adaptado por:** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

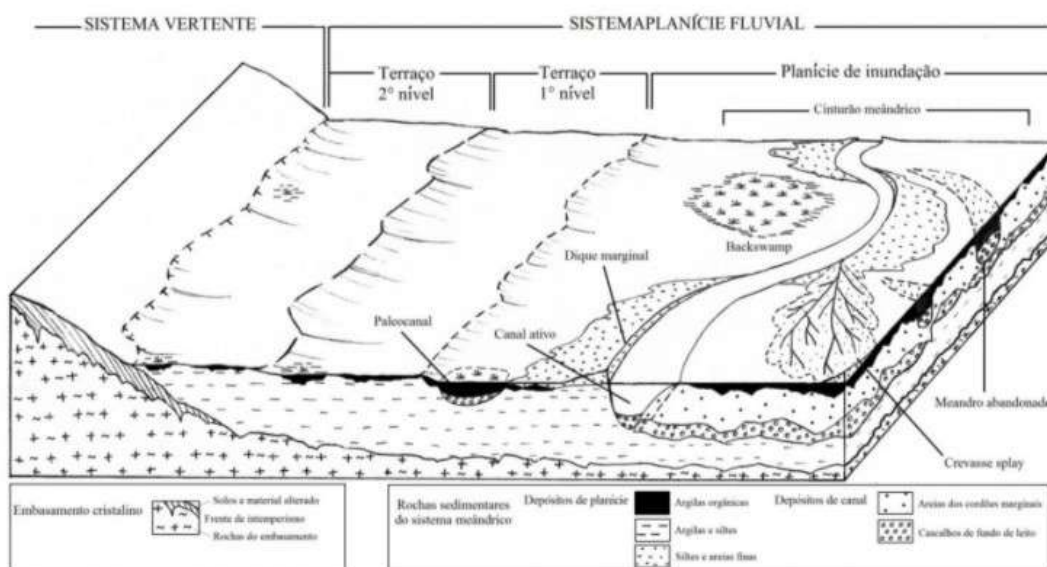
Os canais meândricos apresentam, conforme Christofolletti (1980, 1981), Knighton (1998) e Stevaux e Latrubesse (2017), um comportamento hidrodinâmico particular na região das curvas meândricas denominado de fluxo helicoidal: ao entrar na curva meândrica, o fluxo fluvial dirige-se a margem côncava (margem externa) onde alcança maiores velocidades e em seguida gera-se fluxos secundários que se dirigem a margem convexa (margem interna) onde ocorrem as menores velocidades. Em função dessa hidrodinâmica, as curvas meândricas apresentam um tipo de trabalho geomorfológico bem definido: erosão na margem côncava e deposição em forma de barras em pontal de sedimentos predominantemente arenosos na margem convexa. As taxas de erosão e deposição nas curvas meândricas variam de acordo sobretudo com a resistência dos materiais oferecidos ao trabalho do fluxo fluvial e a variabilidade anual das vazões fluviais.

A continuidade dos processos de erosão na margem côncava e acreção na margem convexa provoca a migração dos meandros na planície de inundação que consiste no movimento lateral do canal fluvial ativo, originando um trecho abandonado denominado que meandro abandonado. Os meandros abandonados consistem em lagos em formato de ferradura cujos principais processos relacionam-se a colmatção via sedimentação de materiais suspensos trazidos pelas águas das cheias que, ao longo do tempo, tendem a preencher completamente o trecho abandonado; o perfil sedimentar típico de meandros abandonados, conforme Christofolletti (1981)

consiste em materiais grosseiros (cascalhos, seixos e areias grossas) na base e sedimentos finos (argilas e silte, geralmente ricos em matéria orgânica) no topo. Os principais controles sobre o processo de migração lateral de meandros são a morfologia do canal fluvial, sobretudo o índice de Sinuosidade que conforme Christofolletti (1981) tende a ser maior em trechos meândricos de maior sinuosidade e pela resistência dos materiais da planície de inundação em relação ao trabalho do fluxo fluvial.

As planícies de inundação são definidas por Christofolletti (1980, 1981) como áreas planas localizadas adjacentes ao canal fluvial ativo sendo ocupadas periodicamente pelas águas das cheias. Do ponto de vista dinâmico, a planície de inundação é uma unidade que apresenta complexidade, com setores distintos em termos de morfologia, processos hidrogeomorfológicos e características sedimentológicas bem definidas, conforme ilustra a figura 4. Leopold et. al. (1964) destacam 8 formas e/ou setores morfodinâmicos e sedimentológicos distintos geralmente encontradas em planícies de inundação meândricas:

- a. Canal Fluvial;
- b. Lagos em ferradura, originado por processos de corte de meandros;
- c. Barras em Pontal, originados por processos de deposição na margem convexa dos meandros;
- d. Cordões Marginais Convexos localizados na margem convexa originados pela migração lateral dos meandros;
- e. Diques Marginais, que são elevações na superfície da planície de inundação geralmente localizadas na margem côncava formados pela deposição de materiais das águas da cheia, predominantemente arenosos;
- f. Backswamps, correspondem a setores de águas estagnadas onde ocorrem sedimentos finos como argila e silte;
- g. Recobrimentos de areia, sendo depósitos de forma de camadas finas espalhadas de material arenoso mais grosseiros originado pela deposição de materiais trazidos pelas cheias em eventos de ruptura de diques marginais.



fonte: Allen (1964). Organizado por Rodrigues e Simas.

**Figura 4:** Bloco diagrama com setores, formas e materiais típicos de uma Planície Fluvial Meândrica. **Fonte:** Allen (1964) apud Rodrigues (2015)

Christofolletti (1981) considera a existência três grupos de depósitos em planícies de inundação meândricas relacionados sobretudo às condições/ambientes de sedimentação:

- **depósitos em canais fluviais:** depósitos formados pela atividade do fluxo em canais aluviais, incluindo a sedimentação de carga detrítica, cordões marginais convexos, bancos dendríticos centrais e depósitos de colmatagem de canais abandonados;
- **depósitos nas margens:** formados nas margens dos canais fluviais produzidos em eventos de transbordamento. Incluem-se os diques marginais e depósitos de recobrimento;
- **depósitos de bacia de decantação:** compostos por sedimentos finos, originados pela inundação de áreas deprimidas na planície de inundação. Incluem as bacias de inundação e pântanos.

Stevaux e Latrubesse (2017) sistematizam a sub-compartimentação interna da planície de inundação como constituída por:

- cinturão aluviais, constituídos por depósitos e morfologias do canal fluvial ativo, canais abandonados, diques marginais e depósitos de rompimento de dique marginal;
- bacia de inundação, que correspondem a áreas deprimidas ambientalmente hidrófilas e de baixa energia, caracterizada pela sedimentação de materiais finos (argila e silte geralmente ricos em matéria orgânica) trazidos pelas cheias em suspensão;



- lagos fluviais, geralmente inundados todo o ano com gênese por processos de fluviais de migração lateral e que têm como morfodinâmica predominantemente deposicional.

A gênese e evolução das planícies de inundação é essencialmente controlada pelos processos de sedimentação (lateral ou vertical) e pela dissecação fluvial. A estrutura sedimentar específica da planície de inundação varia de acordo com o padrão de canal dominante e as morfologias deposicionais desenvolvidas mas de uma forma geral, conforme Stevaux e Latrubesse (2017), as planícies de inundação, sobretudo em trechos meândricos apresentam uma sequência grânulodescente a partir da base: nas bases dos sedimentos, encontram-se materiais grosseiros, como seixos, cascalhos e areias grossas associados a dinâmica de migração e acresção lateral do canal fluvial e no topo materiais mais finos como areias finas, siltes e argilas e matéria orgânica, associados aos processos de sedimentação vertical, sobretudo, relacionados aos eventos de extravasamento.

Os processos que dinamizam a planície de inundação associam-se essencialmente aos processos de transbordamento do canal, que por sua vez relacionam-se a variáveis da bacia hidrográfica em que se insere tais com regime de precipitações, litologia, solo e relevo. Neste sentido, a magnitude e frequência dos picos de vazão são muito variáveis de acordo com o contexto de bacia em que a planície de inundação se insere, mas Christofolletti (1981) reconhece, que ao menos em planícies meândricas em clima tropical úmido o tempo de retorno mínimo esperado para inundações é de 1,58, ou seja, espera-se nessa morfologia uma frequência quase anual de eventos.

Zwolinki (1992) destaca que um evento de inundação não é homogêneo e afirma que um evento de inundação apresenta 6 diferentes fases com aspectos hidrológicos, sedimentológicos e morfodinâmicos distintos:

- Fase 1-Aumento da água e modificação das margens: nesta fase, ocorre o aumento da vazão no canal fluvial e do nível freático na planície de inundação. Processos de erosão nas margens e barras do canal aumenta e a água inicia a entrada na planície de inundação pelos setores mais rebaixados;
- Fase 2-Inundação da planície e deposição inicial: neste estágio é alcançado o estágio de margens plenas seguida pela inundação da superfície da planície. Ocorrem processos erosivos em canais secundários que tendem a diminuir com o tempo e mudanças de transporte de sedimentos arenosos de suspensão no canal para tração na planície, onde ocorre a formação de diques marginais;
- Fase 3-Pico de inundação e transporte e deposição difusos: possui duas subfases, onde em um primeiro momento aos processos erosivos restringem-se ao canal e aumentam-se as taxas de deposição e num segundo momento ocorre um relativo equilíbrio nas taxas de

processos morfodinâmicos. O autor destaca que, conforme se afasta do canal ativo, há tendência de deposição de sedimentos finos em função da diminuição de energia do fluxo de inundação;

- Fase 4-Queda da vazão e intensificação da deposição: nesta fase ocorre a diminuição das taxas de transporte e incremento das taxas de deposição, sobretudo em setores com menor energia no fluxo de inundação;
- Fase 5-Cessação do fluxo de inundação e deposição final: nesta fase, há o declínio gradual e o retorno das águas para o canal, onde há redução do transporte fluvial e também da energia do canal, que tendem a produzir a redução da velocidade e capacidade do fluxo fluvial. A deposição se intensifica e tende a diminuir com o tempo;
- Fase 6-Pós-Inundação: ocorre após o fluxo de inundação cesar e compreende duas subfases relacionadas, respectivamente, com processos de superfície e subsuperfície. Em relação aos processos superficiais, a água é estagnada em subcompartimentos específicos (como as backswamps) onde ocorre a decantação de sedimentos finos e matéria orgânica, que acabam com a evaporação e/ou infiltração da água.

Os terraços fluviais, por sua vez, correspondem a antigos setores de planície de inundação, que conforme Christofolletti (1981) foram abandonados pelo canal fluvial atual, relacionados principalmente a mudanças no nível de base regional ou geral por fenômenos de ordem climática e/ou tectônica. Considerando o tipo de estrutura dos terraços, autor distingue os terraços aluviais, que constituem um patamar plano acima do nível de planície de inundação atual composto por material aluvial relacionado às litofácies típicas de planícies de inundação como cordões marginais convexos, barras em pontal e bacias de inundação e os terraços rochosos, que são terraços sustentados por litologias cristalinas ou que apresentam camadas muito finas de material aluvial, mas cuja morfogênese relaciona-se a ação fluvial.

Para a formação de um terraço fluvial, Christofolletti (1981) descreve genericamente duas fases distintas de morfogênese: um primeiro momento de sedimentação fluvial, no qual os materiais que sustentam o terraço são depositados nas litofácies fluviais de canal e planície de inundação e um segundo momento de entalhe fluvial intenso, no qual o canal ativo abandona a planície de fluvial e origina o terraço em si. Em função desse “desligamento” dos processos ativos de sedimentação fluvial ativa, os materiais do terraço passam a sofrer processos de dissecação, podem originar bordas erodidas nos limites morfológicos entre o terraço e a planície de inundação ativa. Christofolletti (1981) salienta, no entanto, que em vazões de pico de grande magnitude, a sedimentação fluvial pode alcançar níveis de terraço fluvial e considerando como tempo de retorno mínimo de 10 anos.

Stevaux e Latrubesse (2017) indicam que os terraços fluviais são uma evidência morfoossedimentar muito importante da variabilidade climática e tectônica que uma bacia hidrográfica sofre ao longo de sua evolução no tempo geológico. Os autores indicam também, que recentemente, alguns estudos indicam que a ação humana têm efeito na formação de terraços fluviais em algumas áreas, citando como exemplo um caso no estado do Paraná (Brasil) onde ao longo de duas décadas, as interferências humanas no fornecimento de material sedimentar influenciou na formação de terraços em uma bacia hidrográfica da região.

### **2.3 Geomorfologia Antropogênica**

A partir da década de 1970 com a emergência social e científica das questões ambientais, os geomorfólogos passaram a desenvolver abordagens que pudessem abranger o estudo das ações humanas sobre os componentes do modelado terrestre, isto é, formas (relevo e modelado), materiais (rochas, solos e formações superficiais) e sobretudo os processos geomorfológicos. É importante ressaltar que, conforme demonstrado em Nir (1983) e Rodrigues (1997, 2005, 2010, 2015, 2019), dentre outros autores, a consideração tratamento do fator antrópico em geomorfologia não era inexistente nos estudos geomorfológicos mesmo no século passado. Contudo, esse tema, mas não foi era sistematicamente explorado e, muitas vezes, foi era apenas citado de forma pontual. Esse tópico passa a fazer parte dos estudos geomorfológicos e de forma progressiva, e foi somente a partir da década de 1970 que estudos focados especificamente no fator antrópico em geomorfologia.

Considerado um dos autores pioneiros na sistematização teórica metodológica do tratamento do antrópico em geomorfologia Nir (1983) enfatiza a importância na abordagem sistêmica no tratamento da ação antrópica em geomorfologia e apresenta pela primeira vez o homem como agente geomorfológico sobre a superfície terrestre, introduzindo o termo antropogeomorfologia O autor também apresenta considerações sobre as diferentes modalidades de intervenções antropogênicas sobre a superfície como urbanização, agricultura, mineração, sistema viário entre outros.

Goudie e Viles (1997) apontam que é possível distinguir tipos de intervenção direta e indireta sobre os sistemas geomorfológicos. O autor cita que é possível identificar formas e processos geomorfológicos derivados da ação humana direta sobre a superfície, como por exemplo as formas criadas pela construção, mineração e agricultura (como os terraceamentos antrópicos). As formas e processos modificados ou derivados das ações indiretas são, conforme o autor, cruciais na geomorfologia antropogênica e cita mudanças no uso do solo, como o desflorestamento como exemplos dessa modalidade.

No âmbito específico dos sistemas fluviais, Goudie e Viles (1997) indicam que mudanças diretas ocorrem principalmente nos próprios canais fluviais e planícies de inundação, como obras de canalização, represamento, mudanças nos materiais de margem e fundo fluvial e drenagem de áreas úmidas e as mudanças indiretas relacionam-se principalmente as mudanças de uso e cobertura do solo nas bacias hidrográficas. O autor destaca que a urbanização produz efeitos hidrológicos e geomorfológicos intensos, sobretudo na produção de escoamento e ocorrência de inundações.

A partir dos anos de 1990, de forma mais sistematizada, os cientistas da Terra passaram a se integrar da discussão sobre mudanças ambientais rápidas, dentre os quais inserem-se as mudanças vinculadas a ação humana. Um marco significativo ocorre em 1994, quando a União Internacional das ciências Geológicas (IUGS) organizou o Workshop Internacional sobre Indicadores Geológicos de Mudanças Ambientais Rápidas, no qual os pesquisadores participantes organizaram uma lista com indicadores de mudanças ambientais rápidas denominados de geoindicadores. Conforme Coltrinari e McCall (1995) os geo-indicadores podem ser definidos como (COLTRINARI, MCCALL, 1995, p. 7)

“são medidas de magnitude, frequência, taxas, tendências de processos ou fenômenos geológicos que ocorrem em períodos de 100 anos ou menos na ou próximo a superfície terrestre, sujeitos a variações significativas para a compreensão de mudanças ambientais rápidas”

Berger (1997) destaca que os geoindicadores foram desenvolvidos a partir das técnicas das ciências da Terra, focado principalmente nos diferentes ambientes terrestres, com parâmetros relacionados, por exemplo, a qualidade dos solos, vazões fluviais, atividade cárstica, qualidade de aquíferos entre outros. O autor indica que os geoindicadores possuem aplicação no monitoramento ambiental integrado, sendo úteis na gestão ambiental, avaliação de impacto e riscos.

Rodrigues (2010) a partir dos trabalhos anteriores com geoindicadores (Coltrinari e McCall 1995, Berger 1997 entre outros), ampla revisão bibliográfica e estudos realizados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido apresenta uma proposta de geoindicadores voltados para a avaliação de ações antrópicas da urbanização em sistemas geomorfológicos. Tal proposta é estruturada em grupos e tipos de indicadores, dos quais estão formas, materiais e processos hidrogeomorfológicos originais ou antropogênicos, com as respectivas escalas espaciais e sistema geomorfológico e possibilita avaliações quantitativas.

A discussão sobre o período Antropoceno também surge nas ciências da Terra, considerando mudanças derivadas da ação humana na superfície da terra e composição atmosférica como indicam Lewis e Maslin (2015). Neste novo período da história geológica, conforme indicam os autores, a atividade humana torna-se global e a causa dominante das mudanças ambientais na

atualidade. Pellogia (2019) destaca que um dos debates mais complexos que envolvem o Antropoceno é a estratigrafia, especificamente os marcadores e abrangências que os registros estratigráficos apresentam. O autor apresenta o conceito de agência humana para abordar a atuação humana sobre as mudanças ambientais, uma vez que a ação humana sobre a superfície terrestre envolve aspectos além da ação em si, como contextos históricos, sociais, técnicos, políticos e psíquicos.

No âmbito específico da Geomorfologia uma das propostas sistemáticas para estudo da ação humana sobre sistemas geomorfológicos é a de Rodrigues (1999, 2004) que baseou-se em uma ampla revisão bibliográfica em geomorfologia e geografia física (Rodrigues, 1997). A autora sistematiza dez princípios fundamentais na abordagem do antrópico em geomorfologia:

**1. *Observar as ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre***

Este princípio considera que as ações humanas na superfície terrestre podem promover alterações significativas nos atributos das formas, nas propriedades e localização de materiais de superfície e nas taxas, balanços, magnitude, frequência e localização de processos superficiais. Nesta perspectiva, “deverão ser reconhecidas a gênese e a evolução das formas, processos e materiais derivados direta ou indiretamente de ações antrópicas” (RODRIGUES, 2004 p. 94).

**2. *Investigar padrões de ações humanas significativas para a morfodinâmica***

Se faz necessário o reconhecimento das diversas atividades humanas em suas lógicas espaço temporais e dinâmica intrínseca, que muda de acordo com os contextos históricos, sociais e técnicos. Deve-se, assim, reconhecer o acúmulo histórico das intervenções antrópicas e as relações e interferências mútuas com os atributos naturais.

**3. *Investigar a dinâmica e a história cumulativa das intervenções humanas, iniciando com os estágios de pré-perturbação***

Este princípio busca a reconstituição de períodos de situação de pré-intervenção ou pré-anthropogênico onde se tem processos, formas e materiais em condição original para sua comparação com as situações de intervenções e modificações. Para tal, utiliza-se da geomorfologia retrospectiva ou evolutiva, que através de recursos da cartografia geomorfológica, pode reconstituir a situação de pré-intervenção e as acumulações históricas de intervenções no sistema afetado; Rodrigues (2004) recomenda a utilização de ao menos três estágios de intervenção: pré-intervenção, intervenção ativa e pós-intervenção, e também sugere utilização de tipologia que envolva a classes social e as técnicas de apropriação do meio físico.

Em relação à Cartografia Geomorfológica Retrospectiva, Rodrigues (2005) define que a morfologia original é aquela cujos atributos como extensão, declives, rupturas e mudanças de declive, dentre outros, não sofreram alterações significativas por intervenção antrópica direta ou

indireta” (RODRIGUES, 2005 p. 103) e sua identificação em escala de detalhe pode ser feita utilizando-se cartas topográficas de escala, fotografias aéreas além de documentos que auxiliem no reconhecimento de tal morfologia. A morfologia antropogênica pode ser cartografada em sequências temporais, através de sequências cronológicas de intervenção, obtidas pela análise de bases cartográficas de diversas épocas, levantamentos em campo e entrevistas.

#### ***4. Empregar diversas e complementares escalas espaço-temporais***

Este princípio considera que os fatos geomorfológicos possuem diversas escalas de manifestação e, assim, o emprego de diversas escalas espaciais e temporais permite a valorização de aspectos e variáveis.

#### ***5. Empregar e investigar as possibilidades da cartografia geomorfológica de detalhe***

Investigar a possibilidade de utilizar a cartografia geomorfológica de detalhe como instrumento de pesquisa e análise da ação humana sobre os sistemas geomorfológicos.

#### ***6. Explorar a abordagem sistêmica e a teoria do equilíbrio dinâmico***

Os princípios da teoria geral dos sistemas e a teoria do equilíbrio dinâmico devem ser valorizados no estudo das ações antrópicas, uma vez que fornecem noções para a análise dos efeitos e implicações das intervenções antrópicas no meio físico

#### ***7. Utilizar as noções de limiares geomorfológicos e a análise de magnitude e frequência***

As noções de limiares geomorfológicos, definidos como limite superior de processos cumulativos, através da qual uma sequência de participar de eventos cessa e outra, nova, passa a ser induzida; e a análise de magnitude e frequência de eventos podem ser utilizados na análise, principalmente, nas implicações em termos de processos geomorfológicos, extremos ou não, das intervenções antrópicas realizadas em determinado sistema.

#### ***8. Dar ênfase à análise integrada de sistemas geomorfológicos***

O reconhecimento do sistema geomorfológico em sua geografia original e modificada é essencial para o dimensionamento das ações antrópicas e modificações que se sobrepõem ao longo do tempo.

#### ***9. Levantar em consideração as particularidades de contextos morfoclimáticos e morfoesculturais***

Reconhecer os contextos particulares morfoestruturais e morfoclimáticos de onde se realizaram intervenções antrópicas é necessário para se evitar comparações equivocadas e permitir corretas interpretações de tais modificações.

#### ***10. Ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia de processos derivados e não derivados das ações antrópicas***

Justifica-se tanto em áreas antrópicas e originais, para o reconhecimento de parâmetros de análise, principalmente, de processos.

## 2.4 Cartografia Geomorfológica

A cartografia geomorfológica, conforme Rodrigues (1997), constitui um dos principais instrumentos e produtos da pesquisa em Geomorfologia. Tricart (1965) uma carta geomorfológica de detalhe deve fornecer uma descrição fundamentada de todos os elementos relacionados ao relevo da área mapeada e neste sentido o autor destaca quatro tipos de informações básicas que um mapa geomorfológico deve conter: Informação Morfométricas, Informações Micrográficas, Informações Morfogenéticas e Informações Cronológicas. Arnedo (1997) destaca que os produtos cartográficos da pesquisa geomorfológica pode ser do tipo produto básico, que contém informações relacionadas ao relevo ou produtos aplicados, que são derivados dos produtos básicos e apresentam em destaque específico do relevo (por exemplo relacionado às tendências de processos) direcionados a um fim específico, como, por exemplo, gestão de riscos e geotecnia.

As fontes de dados para a produção dos mapas geomorfológicos podem ser analógicos e digitais envolvendo bases de dados espaciais, textos e materiais iconográficos conforme destaca Oguchi et. al. (2011). As fontes analógicas envolvem essencialmente bases espaciais em suporte físico como cartas topográficas e fotografias aéreas dos quais têm a fotointerpretação como principal meio de extração de dados geomorfológicos e outros materiais que forneçam descrições que contenham dados da morfologia, processos ou materiais. As fontes digitais referem-se às bases de dados espaciais em meio digital como fotografias aéreas digitais, bases topográficas digitalizadas, imagens de radar, imagens de satélite e, mais recentemente, imagens de drone. A partir das ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) é possível manipular essas bases e obter dados geomorfológicos, sobretudo a partir de modelagens digitais de terreno.

Conforme Ross (1992) o mapa geomorfológico deve representar em primeiro plano e da maneira mais precisa e concreta possível as formas de relevo existentes na área mapeada e em segundo plano, as indicações de processos, cronologia, morfometria entre outras. Neste sentido, Savigier (1965) indica a técnica do mapeamento morfológico que consiste essencialmente identificar as discontinuidades existentes entre morfologias como ruptura ou mudanças de declive e a partir disso, representar os setores e morfologias específicas. Lee (2001) sistematiza uma proposta de mapeamento geomorfológico que articula a representação das formas da superfície, descrição de materiais superficiais e tendências e evidências de processos em unidades geomorfológicas relativamente homogêneas. Para tal, é necessário articular a interpretação de bases de dados espaciais e dados de trabalho em campo e laboratório, sendo útil utilizar os limites e discontinuidades morfológicas como referenciais.

Demek (1967) sistematiza um processo metodológico para a elaboração de mapas geomorfológicos que envolve os estágios de:

- Elaboração de projeto de mapeamento: envolve a escolha de área, definição de objetivos de mapeamento, verificação e escolha de documentos cartográficos da área selecionada, seleção de escalas de mapeamento e inventários de dados de materiais superficiais;
- Estágio preparatório: envolve o trabalho com fontes de dados espaciais (cartas topográficas e fotografias aéreas) e literatura sobre a área mapeada. Nesta etapa elaboram-se mapas e perfis morfométrico e morfográficos e a partir da interpretação e fotoleitura de cartas topográficas e fotografias aéreas, respectivamente;
- Mapeamento geomorfológico de campo: envolve a observação, coleta de materiais superficiais e mensuração de taxas de processos na área de estudo a partir de trabalhos de campo;
- Elaboração Laboratorial do Material: compilação de dados e elaboração final do mapa e respectivo relatório.

As legendas geomorfológicas são um dos principais elementos dos mapas geomorfológicos, pois organizam os dados e informações que o autor do mapa pretende comunicar a partir das representações gráficas. Otto et. al. (2011) destaca que em função da existência de diferentes abordagens em geomorfologia, existem diversos sistemas de construção de mapas e legendas geomorfológicas. Segundo os autores, os sistemas de legenda podem utilizar cores ou símbolos distintos e organizar as informações com enfoques específicos de acordo com a abordagem e/ou objetivos estabelecidos, como informações morfométricas, morfodinâmica, cronologia ou informações estruturais.



### 3 Metodologia

A partir do objetivo de pesquisa e dos referenciais anteriormente citados (Hart, 1986; Nir, 1982; Goudie e Viles, 1997; Rodrigues 2004, 2005, 2010) elencou-se como procedimento metodológico principal do trabalho a análise evolutiva do avanço histórico da urbanização e mudanças nos atributos das formas e materiais superficiais e os respectivos efeitos sobre as tendências de processos hidrogeomorfológicos com auxílio de alguns geoindicadores de mudanças em sistemas hidrogeomorfológicos urbanizados selecionados a partir da proposta de Rodrigues (2010), indicados na tabela 1.

Relação de Geoindicadores de Mudanças em Sistemas Hidrogeomorfológicos Urbanizados selecionados para a Pesquisa		
Geoindicadores Morfológicos		
Indicador	Parâmetro	Medida
Canal Fluvial	Declividade	m/Km/Ano/Década
	Padrão	Padrão/Ano/Década
	Comprimento	Km/Ano/Década
Planície de Inundação	Área	Km2/Ano/Década
Geoindicadores de Materiais Superficiais		
Indicador	Parâmetro	Medida
Solos Impermeabilizados	Área/Tempo	Km2/Ano/Década
Áreas Urbanizadas Contínuas	Área e Padrão Morfológico/Tempo	Km2 ou Padrão Morfológico/Ano/Década

**Tabela 1:** Geoindicadores de Mudanças em Sistemas Hidrogeomorfológicos Urbanizados selecionados para a Pesquisa. **Fonte:** RODRIGUES, C. (2010) **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

Baseando-se nos procedimentos indicados em Rodrigues (2004, 2005 e 2010) e em experiências de aplicação da metodologia desenvolvidos anteriormente por Moroz Caccia- Gouveia (2010), Berges (2013) e Luz (2015) executou-se duas etapas de procedimentos técnico-operacionais: a etapa I de coleta e sistematização de dados e a etapa II de organização e interpretação de dados e indicadores. A etapa I envolveu o levantamento de dados e indicadores selecionados a partir de pesquisa documental, levantamento de bases cartográficas, cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva, trabalho de campo e sistematização de indicadores. A etapa II, por sua vez, englobou a tabulação e organização de dados e indicadores e interpretação de dados.

### 3.1 Etapa I: Coleta e sistematização de dados

#### 3.1.1 Pesquisa documental

O procedimento de pesquisa documental envolveu o levantamento e a sondagem de dados em materiais técnicos diversos relacionados ao histórico de intervenções humanas realizados na área de estudo, tais como relatórios de obras, planos de drenagem e combate a inundação, estudos de impacto ambiental e planejamento de uso do solo entre outros. Em um primeiro momento, se realizou a consulta o acervo virtual da biblioteca on-line da extinta Emplasa (Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano) e no repositório digital da secretária de obras e serviços da prefeitura municipal de Guarulhos. Posteriormente se realizou a consulta ao acervo físico do centro de documentação do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo) na biblioteca do Centro Tecnológico de Hidráulica. Os documentos obtidos na consulta destes acervos estão organizados na tabela 2.

Documentos técnicos obtidos na fase de pesquisa documental				
Título	Tipo de Documento	Ano	Acervo de Origem	Instituição/Órgão Responsável
Projeto Básico de Canalização dos rios Baquirivu-Guaçu e Guaió	Relatório Técnico	1975	Centro de Documentação-DAEE	DAEE/Engefix
Plano Diretor de Drenagem da Bacia do rio Baquirivu-Guaçu	Relatório Técnico	1976	Biblioteca Virtual da EMPLASA	EMPLASA/Hidroservice
Parecer do Estudo de Impacto Ambiental do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos	Parecer Técnico	2004	Secretária Municipal de Serviços de Guarulhos	Prefeitura Municipal de Guarulhos
Parecer sobre a atual situação do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos	Parecer Técnico	2004	Secretária Municipal de Serviços de Guarulhos	Prefeitura Municipal de Guarulhos

**Tabela 2:** Inventário de documentos técnicos levantados na pesquisa documental. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

Com o auxílio de fichas de leitura (em anexo) realizou-se a sondagem de dados e indicadores nos documentos técnicos obtidos, onde se buscou dados de intervenções antropogênicas executadas (modalidade, ano de execução, agentes envolvidos, justificativas, parâmetros), parâmetros de geoindicadores selecionados (tabela 1) e caracterização geomorfológica, hidrológica e hidráulica do canal do rio Baquirivu-Guaçu e área de planície fluvial.

### 3.1.2 Levantamento de bases cartográficas

Após a pesquisa documental, iniciou-se o levantamento de bases cartográficas tanto analógicas quanto virtuais de diferentes períodos históricos para utilização na elaboração de cartografia geomorfológica. Realizou-se a consulta no acervo AFA no LASERE-USP (Laboratório de Sensoriamento Remoto da Universidade de São Paulo) e no catálogo de bases virtuais da DataGeo, vinculada a secretário de infraestrutura e meio ambiente do estado de São Paulo. As bases obtidas a partir deste procedimento estão expostas na tabela 3.

Bases de Dados Espaciais						
Título	Tipo de Base	Formato	Escala/ Resolução	Ano	Acervo de Origem	Instituição/Órgão Responsável
Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de São Paulo	Fotografia Aérea	Analógico	1:25.000	1962	AFA/LASERE-USP	Secretaria Estadual de Agricultura-SP
Folhas Planimétricas da Região Metropolitana de São Paulo	Carta Topográfica	Digital/WMS	1:10.000	1981	DATAGEO-SP	EMPLASA-SP
Ortofotos do Estado de São Paulo	Ortofotografia	Digital/WMS	0,2 metros	2011	DATAGEO-SP	EMPLASA-SP

**Tabela 3:** Bases cartográficas levantadas para a pesquisa. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

### 3.1.3 Cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva da área de estudo

A partir das bases cartográficas levantadas, elaborou-se três esboços geomorfológicos retrospectivos e evolutivos da área de estudos na escala de 1:50.000, baseando-se nas orientações metodológicas de Rodrigues (2004, 2005). As fotografias aéreas de 1962 foram utilizadas para a reconstituição da morfologia original da área de estudo (Rodrigues, 2005) e as bases de 1981 e 2011 foram utilizadas na elaboração dos esboços evolutivos das intervenções antrópicas vinculadas a urbanização na planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu.

Para a confecção do esboço retrospectivo da geomorfologia original elaborou-se o overlay das fotografias aéreas de 1962 e se realizou sua fotointerpretação a partir da estereoscopia. Para a delimitação da morfologia original, em um primeiro momento, considerou-se as descontinuidades morfológicas entre a área de planície fluvial e vertentes. Posteriormente foram identificados os limites entre os subcompartimentos da planície fluvial: canal fluvial, planície de inundação e terraço fluvial. Áreas com morfologias antropogênicas das modalidades mineração solo exposto e área aeroportuária também foram identificadas.

Após a finalização da fotointerpretação, o overlayer foi digitalizado e, em ambiente SIG, no software QGIS, se executou seu georreferenciamento considerando a área útil das fotografias aéreas. Em seguida, realizou-se a vetorização do overlayer a partir de elementos lineares (canal fluvial e meandros abandonados) e polígonos (planícies de inundação, terraços fluviais e morfologia antropogênica). Para a construção da legenda, considerou-se a subdivisão de sistema e subsistemas geomorfológicos fluviais, com correlação de dados de formas (morfometria e morfografia), materiais superficiais predominantes e tendências espaciais de processos hidrogeomorfológicos associados. As áreas com morfologia antropogênica (mineração, solo exposto e área aeroportuária da Base Aérea de Cumbica) foram agrupadas e representadas como “áreas de alto impacto antrópico em 1962” para fins de generalização cartográfica

Para a elaboração dos esboços evolutivos antropogênicos se realizou a fotointerpretação da base topográfica de 1981 e as ortofotos de 2011, ambas utilizando conexão WMS em ambiente SIG, no software QGIS. Conforme as indicações presentes em Rodrigues (2005), Moroz Caccia-Gouveia (2010) e Luz (2015), se considerou na a correlação das morfologias e subsistemas originais com a modalidade, grau e padrão de apropriação antropogênica e as discontinuidades espaciais existentes. Para tal, se realizou, respectivamente a:

- a) delimitação das discontinuidades entre os padrões e tipos de apropriação urbana (área urbana, área industrial e área aeroportuária) e apropriação não urbana (área agrícola, área de mineração, áreas com vegetação, solo exposto entre outros);
- b) a identificação do grau de consolidação dos padrões de apropriação urbana (áreas urbanas, áreas industriais e área aeroportuária) utilizando como critério a densidade e tipos de arruamentos e edificações (Lima, 1992). Se considerou áreas em consolidação as áreas com densidade variável de edificações e arruamentos, com impermeabilização variável. Como áreas consolidadas se considerou as áreas com alta densidade de edificações e arruamentos impermeabilizados;
- c) a definição de áreas com remanescentes de vegetação, e posteriormente, a identificação precisa de áreas com remanescentes morfológicos originais, sobretudo em relação ao subsistema planície de inundação.

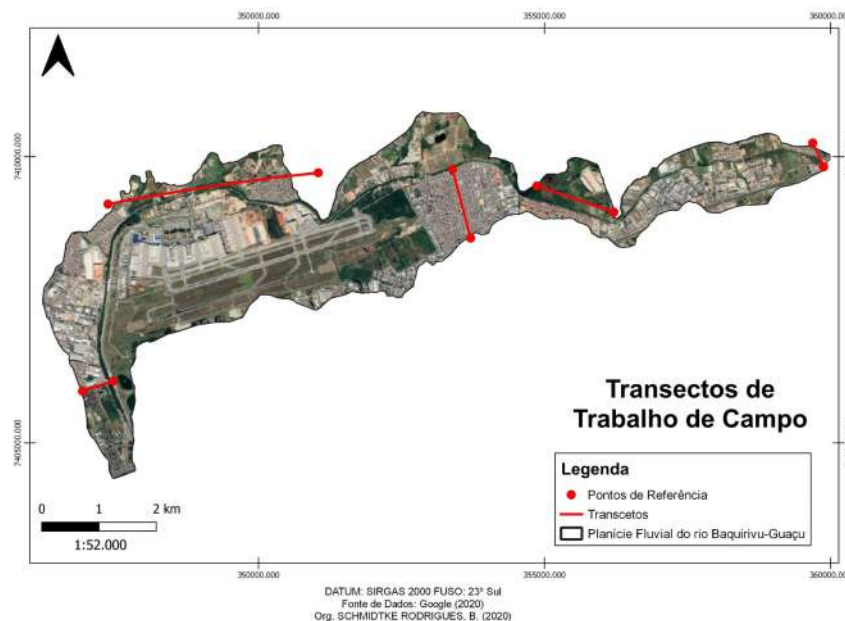
Posteriormente, em ambiente SIG, no software QGIS, se realizou a vetorização da morfologia antropogênica a partir de elementos lineares (canal retificado) e polígonos (padrões de apropriação antropogênica), considerando como base o layer da morfologia original previamente elaborado. Para a elaboração da legenda dos esboços antropogênicos, se considerou a correlação

espacial entre os subsistemas originais e a morfologia antropogênica e as respectivas informações sobre formas antrópicas (morfometria e morfografia) e tendências de processos derivados das intervenções.

Em caráter complementar, a partir da fotointerpretação das bases cartográficas se elaborou também três cartas de uso do solo para auxiliar na reconstituição das intervenções humanas na área de estudo, considerando os padrões de apropriação (urbano-industrial, agrícola, mineração e solo exposto) e os usos do solo correlacionados.

### 3.1.4 Trabalhos de campo

Após a elaboração dos esboços geomorfológicos, se executaram campanhas de campo com o objetivo de verificar os limites morfológicos internos e externos da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu, observar remanescentes de morfologia originais, descrever materiais superficiais e evidências da ocorrência de processos. Para isso, foram estabelecidos a partir da sobreposição dos layers produzidos de forma preliminar em gabinete, cinco transectos para a execução dos trabalhos de campo, conforme a Figura 5. Para a definição de tais transectos, se considerou a representatividade do ponto de vista da posição na área de estudo, subcompartimentos de morfologia original, morfologia antropogênica e remanescentes de morfologia original.



**Figura 5:** Transectos de realização de trabalho de campo. **Org. SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)**

Posteriormente, os dados coletados em campo foram organizados e integrados a base de dados da pesquisa. Em ambiente SIG, no software QGIS, se realizaram a correção dos vetores de polígonos dos limites entre planície fluvial e vertentes e o ajuste dos limites entre terraços e planícies de inundação.

### **3.1.5 Levantamento e sistematização de casos de inundação**

Como forma de obter dados sobre as tendências espaciais de processos hidrogeomorfológicos da área de estudo, se executou o levantamento de casos relatados de inundação recentes. Para isso, foram utilizadas duas fontes distintas: a base de dados da defesa civil municipal de Guarulhos e os acervos de jornais da cidade de Guarulhos. Em função da limitação de acesso a acervos físicos, utilizou-se os dados disponibilizados em formato virtual de ambas as fontes citadas.

Em relação à obtenção de dados da defesa civil, se consultou o Plano Preventivo de Proteção e Defesa Civil de Guarulhos de 2014, no qual se identificaram as localizações (logradouros) consideradas de risco de desastre do tipo inundações. Posteriormente, os logradouros foram plotados em uma planilha e em ambiente SIG, no software QGIS, se elaborou um mapa de pontos de localização de áreas de risco, considerando o layer de área da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu e canal fluvial antropogênico.

O levantamento nos acervos virtuais de jornais do município de Guarulhos foi executado a partir da busca de matérias nos respectivos web-portais a partir das palavras-chave “inundação”, “enchente” e “rio Baquirivu-Guaçu”, sendo apenas consideradas matérias que apresentavam relatos de extravasamento. A partir das matérias levantadas (tabela 4), se identificou a localização (logradouro) e ano de ocorrência dos eventos relatados. Posteriormente, em ambiente SIG, no software QGIS, se elaborou um mapa de pontos dos casos relatados. A partir do layer de pontos de inundação também elaborou-se um mapa de densidade de Kernel, utilizando o software ArcGIS. Em função da base de dados pontual, utilizou-se como parâmetro de interpolação o método geodésico.

<b>Veículo de Mídia/Jornais</b>	<b>WebPortal</b>	<b>Quantidade de Matérias Identificadas</b>
Click Guarulhos	<a href="https://www.clickguarulhos.com.br/">https://www.clickguarulhos.com.br/</a>	4
GuarulhosWeb	<a href="https://guarulhosweb.com.br/">https://guarulhosweb.com.br/</a>	1
Jornal Guarulhos Hoje	<a href="https://www.guarulhoshoje.com.br/">https://www.guarulhoshoje.com.br/</a>	2
Guarulhos Online	<a href="https://guarulhosonline.com.br/">https://guarulhosonline.com.br/</a>	2

**Tabela 4:** Síntese de veículos de mídia consultados para levantamento de relatos de inundação.  
**Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

### 3.1.6 Sistematização de geoindicadores

Após a execução dos predicamentos anteriormente descritos, se realizou a mensuração e sistematização de parâmetros dos geoindicadores selecionados (Tabela 1). Em ambiente SIG, no software QGIS, a partir dos layers elaborados e da ferramenta de calculadora de campo se obteve as medidas de extensão total do canal fluvial do rio Baquirivu-Guaçu, área total de planície de inundação e área total de solos impermeabilizados e áreas urbanas contínuas nos cenários de 1962, 1981 e 2011.

O cálculo dos valores do indicador de declividade de canal nos três cenários foi obtido a partir da reconstituição do perfil longitudinal do canal fluvial do rio Baquirivu-Guaçu nos cenários de 1962, 1981 e 2011. Para o cálculo de declividade se considerou a fórmula de declividade de canal fluvial proposto por Christofletti (1981), expressa em m/Km:

$$(I) \ d = \frac{a_1 - a_2}{c}$$

onde:

$a_1$  = altimetria do ponto inicial

$a_2$  = altimetria do ponto final

c = trecho considerado

Para isso, em ambiente SIG, no software QGIS, a partir da ferramenta Profile Toll se utilizou de imagem SRTM e dos layers do canal fluvial para reconstituir o perfil longitudinal em cada cenário considerado. A partir do perfil longitudinal reconstituído, se extraiu os valores de altitude do ponto inicial e ponto final da extensão do canal e se executou o cálculo para 1962, 1981 e 2011.

## **3.2 Etapa II: Organização e interpretação de dados e indicadores**

### **3.2.1 Organização de dados e indicadores**

Para realizar a organização dos dados obtidos anteriormente em um primeiro momento se definiu a cronologia de intervenções antropogênicas vinculadas a urbanização na área de estudo conforme as orientações de Rodrigues (2004, 2005). Posteriormente os indicadores e dados foram agrupados e organizados cronologicamente, de acordo com o período de perturbação que inserem-se. Os geoindicadores foram tabulados de acordo com o tipo de sistemas indicador e parâmetro, agrupando as medidas para os três cenários representativos (1962, 1981 e 2011).

### **3.2.2 Interpretações**

Após a organização dos dados e indicadores, se realizou interpretações qualitativas e quantitativas baseando no objetivo estabelecido, nos referenciais teóricos levantados e no princípio evolutivo proposto. Nesta fase, se buscou:

- a) caracterizar e descrever a morfologia original e interpretar as tendências espaciais de processos hidrogeomorfológicos vinculados a essas morfologias;
- b) interpretar o processo histórico de urbanização do ponto de vista hidromorfológico (Rodrigues 2004, 2005) na área de estudo, com destaque para os padrões históricos de apropriação, modalidades de intervenção executadas e morfologia antropogênica desenvolvida;
- c) dimensionar, a partir dos geoindicadores, as mudanças morfológicas e em materiais superficiais e interpretar os efeitos nas tendências espaciais de processos hidromorfodinâmicos na área de estudo;
- d) interpretar a aplicabilidade dos resultados obtidos na prevenção e análise de riscos de inundação e recuperação fluvial.



## 4 Caracterização física da área de Estudo

### 4.1 Contexto Geológico

#### 4.1.1 Contexto Geológico Regional

A Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu insere-se, regionalmente, na bacia sedimentar de São Paulo. A bacia de São Paulo é uma das bacias Tafrogênicas de idade Cenozóica que segundo Riccomini (1989) integra o chamado Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) que consiste em uma faixa estreita e deprimida que acompanha a linha da costa atual, conforme a Figura 6. A gênese do RCSB está vinculada a tectônica distensiva Cenozóica, relacionada ao processo de abertura do oceano Atlântico.



Contexto geológico regional do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) - 1) embasamento pré-cambriano; 2) rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná; 3) rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4) rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozóico-cenozóico; 5) bacias cenozóicas do rift (1- Bacia de Itaboraí, 2- Gráben de Barra de São João, 3- Bacia do Macacu, 4- Bacia de Volta Redonda, 5- Bacia de Resende, 6- Bacia de Taubaté, 7- Bacia de São Paulo, 8- Gráben de Sete Barras, 9- Formação Pariquera-Açu, 10- Formação Alexandra e Gráben de Guaraqueçaba, 11- Bacia de Curitiba, 12- Gráben de Cananéia); 6) zonas de cisalhamento pré-cambrianas, em parte reativadas durante o Mesozóico e Cenozóico.

**Figura 6:** Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB). **Fonte:** RICCOMINI, C. et. al. (2009)

Riccomini (1989) propôs um modelo genético e evolutivo do RCSB baseando-se em evidências tectônicas e sedimentares a partir do qual definiu-se os mecanismos geradores e

deformadores da estrutura. A formação da depressão original do Rift ocorreu no Paleógeno a partir da reativação como falhas normais de antigas zonas de cisalhamento proterozóicas de direção predominante NE e ENE em função da atuação de um campo de forças distensivas. A partir deste evento gerador principal, sucederam-se ao longo do Cenozóico eventos tectônicos de natureza deformadora sobre a estrutura original, que envolveram reativações ao longo de falhas preexistentes e, em escala local, a criação de novas estruturas em função da atuação de campo de forças tectônicas específicos. O autor delimita quatro fases deformadoras principais do RCBS aos quais são:

- **Transcorrência Sinistral de Ocorrência NW-SE (Mioceno):** envolveu falhas transcorrentes ou de empurrão que colocaram blocos do embasamento rochoso sobre os depósitos sedimentares existentes gerando deformações e novas estruturas. Gerou também dobras cônicas de amplitudes quilométricas e pequenas bacias de afastamento;
- **Transcorrência Dextral (Neógeno-Quaternário):** nesta fase, ocorreu a reativação como transcorrentes as falhas ativas nas bordas do Rift durante sua instalação, causando localmente o cavalgamento dos depósitos sedimentares Cenozóicos;
- **Distensão WNW-ESE (Holoceno):** foi o responsável em dar o atual contorno aos pacotes sedimentares das bacias sedimentares que compõem o RCSB;
- **Compressão N-S (Holoceno):** originou reativações como falhas inversas de estruturas pré-existentes que causaram famílias de juntas deformacionais em depósitos colúvio-aluviais recentes.

A Bacia Sedimentar de São Paulo segundo Riccomini (1989) e Riccomini et. all (2010) localiza-se na porção central do RCSB, sendo originalmente um hemigráben originado por falhas normais de antigas zonas de Cisalhamento Taxaquara e Jaguari, localizadas ao norte da bacia. Considerando evidências tectônicas e sedimentares, os autores consideram que a área foi trabalhada intensamente por processo de deformação pós-sedimentar ao longo do Cenozóico. Em função disto, a espessura do pacote sedimentar na bacia de São Paulo possui grandes variações, podendo chegar a cerca de 255 metros em alguns pontos.

Em termos estratigráficos, a bacia de São Paulo sedimentar de São Paulo apresenta depósitos das Formações Resende, Tremembé e São Paulo que integram o Grupo Taubaté datado do Eoceno e Oligoceno (Paleógeno), Formação Itaquaquetuba e Coberturas Quaternárias. A Formação Resende ocupa a base do Grupo Taubaté e corresponde a depósitos de sistemas de Leques Aluviais associados a condições paleoclimáticas semiáridos e regimes tectônicos ativos do Eoceno-

Oligoceno, que conforme Riccomini (1989) e Takiya (1997) apresenta duas litofácies características: a facie de leques aluviais proximais, no qual predominam conglomerados polimíticos, brechas e diamictitos e a litofácie de leques aluviais distais associados a depósitos de Planície Fluvial de canais entrelaçados. no qual predominam lamitos, arenitos e conglomerados. A Formação Resende corresponde a unidade geológica de maior expressão na bacia de São Paulo representando cerca de 80% do preenchimento sedimentar de toda a bacia, segundo Takiya (1997).

A Formação Tremembé corresponde a depósitos lacustres em sistemas de Playa-Lake que consistem essencialmente em camadas plano-paralelas de argila siltosa de coloração preta e cinza esverdeada. Conforme Takiya (1997) sua ocorrência na bacia de São Paulo é restrita, sendo identificados uma unidade de cerca de 4 Km<sup>2</sup> na zona oeste da Cidade de São Paulo, com cerca de 60 metros de espessura.

A Formação São Paulo ocupa o topo do Grupo Taubaté e corresponde a um Sistema Fluvial Meandrante desenvolvido em condições paleoclimáticas mais úmidas, com ocorrência na área central da bacia de São Paulo. Segundo Takiya (1997) a Formação São Paulo apresenta litofácies de Canal Fluvial e Barra em Pontal, onde predominam conglomerados e arenitos plano-paralelos, acanalados e cruzados, e litofácies de Planície de Inundação, onde ocorrem siltitos laminados e argilitos. Os depósitos da Formação São Paulo, segundo Takiya (1997) geralmente ocorrem associados a couraças ferruginosas e em altas cotas altimétricas.

A Formação Itaquaquetuba corresponde a depósitos de um sistema fluvial entrelaçado associado a leques aluviais que ocorrem diretamente sobre o embasamento cristalino provavelmente originados em paleoclima seco durante o Neógeno segundo Riccomini (1989) e Takiya (1997); na área da bacia de São Paulo ocorrem em cotas altimétricas inferiores a 710 metros nas proximidades dos rios de maior ordem, como o rio Tietê, Pinheiros e Tamanduateí. Na área-tipo, a Formação Itaquaquetuba pode chegar a 50 metros de espessura e encontram-se principalmente arenitos grossos mal selecionados, conglomerados seixos quartzosos arredondados e níveis argilo-siltosos castanho-escuro ricos em matéria orgânica. Suguio et. al. (2010) sugere, a partir de testes com Luminescência Opticamente Estimulada (LEO) que a Formação Itaquaquetuba possivelmente foi depositado no Pleistoceno pelas drenagens precursoras dos atuais rios Tietê e Pinheiros e que em função das condições de alta energia do ambiente de sedimentação, restos vegetais (troncos de madeira fóssil) de uma fase úmida antecessora foram incorporados aos depósitos da Formação Itaquaquetuba.

As coberturas coluviais e aluviais Quaternários correspondem respectivamente aos materiais depositados pelos processos morfogenéticos das vertentes e sistemas fluviais atuais relacionados, sobretudo ao fim do Pleistoceno e Holoceno. Segundo Takiya (1997) os depósitos

coluviais apresentam pequena espessura chegada a cerca de 3 metros sendo constituídos por material mal selecionado variando de silte a grânulos angulares e subangulares e seixos de quartzo, quartzito e laterita apresentando matriz argilosa e predominantemente cor bruno. Os depósitos aluviais correspondem aos sedimentos depositados pelas atuais drenagens sendo encontrados nas planícies dos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí e seus principais afluentes. Constituem-se, segundo Takiya (1997) de camadas que podem chegar até 6 metros cuja base é predominantemente composta por conglomerados ricos em material quartzoso sobrepostos por arenitos médios com estratificação acanalada e/ou cruzada seguidos por camada areno-argilasas ricos em matéria orgânica.

#### **4.1.2 Contexto Geológico Local**

A Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu, conforme a Figura 7, é uma das áreas de ocorrência de Depósitos Sedimentares Aluviais Quaternários, além de apresentar linhas de falhas. Diniz (1996) aponta que na área da Planície do rio Baquirivu-Guaçu existem duas estruturas tectônicas vinculadas ao desenvolvimento estrutural da bacia de São Paulo e do próprio do RCBS: a falha do Jaguari, ao norte da área no limite entre o pacote sedimentar Cenozóico e os terrenos cristalinos pré-Cambrianos e relaciona-se com os eventos tectônicos geradores da bacia de São Paulo no Paleógeno e o Gráben do rio Baquirivu-Guaçu, que é uma estrutura localizada em subsuperfície e consiste em uma série de blocos rochosos altos e baixos interceptados por falhas cuja gênese relaciona-se a primeira fase de tectônica deformadora do RCBS definida por Riccomini (1989).

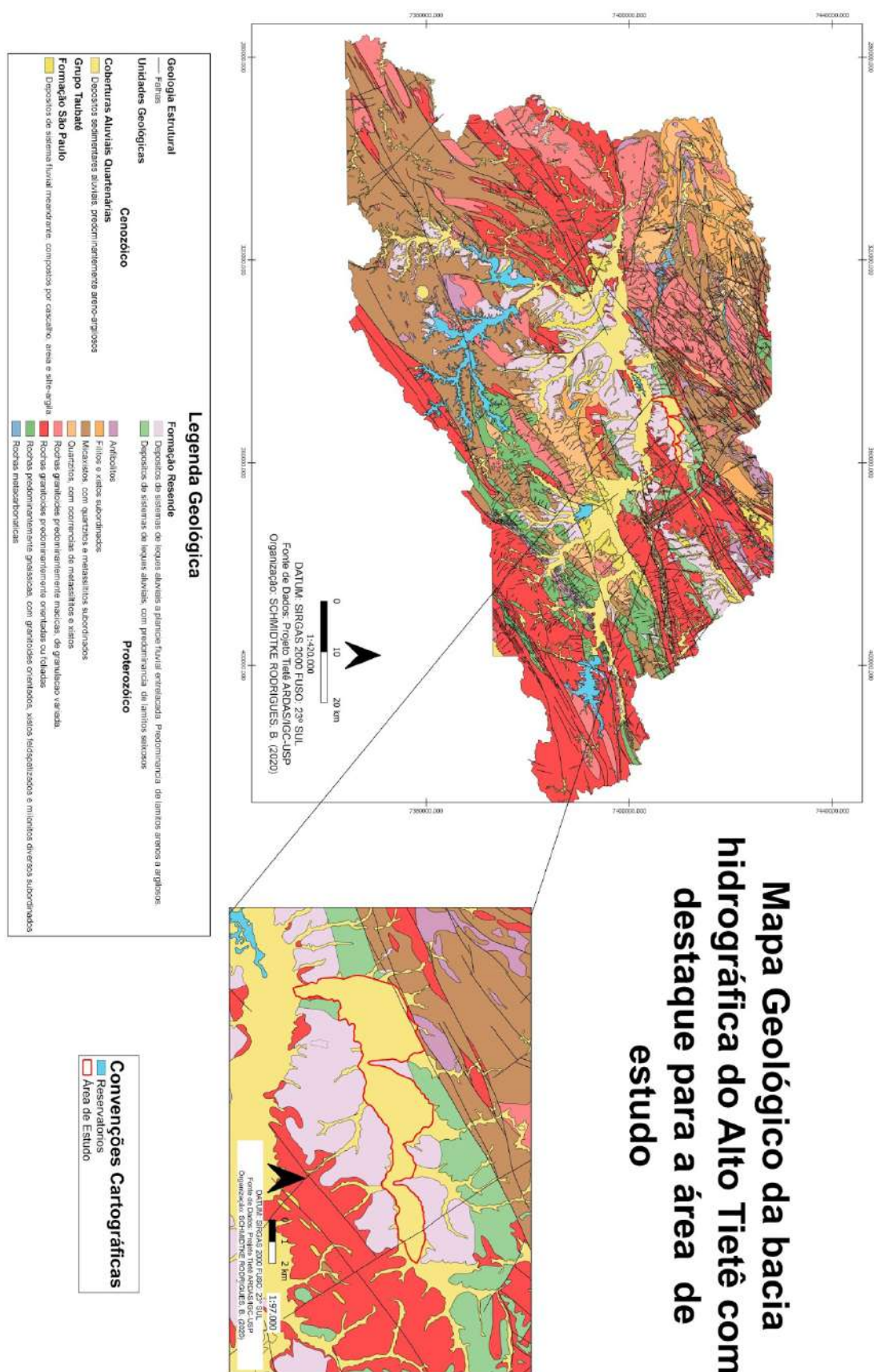
Diniz (1996) considera que a estrutura surgiu durante o Oligoceno em função do campo de forças tectônicas atuantes que foi capaz de movimentar e colocar blocos do embasamento rochosos sobre os sedimentos Cenozóicos, gerando uma série sucessiva de pequenos grabéns e horsts, que inicia-se a partir de um bloco baixo que (DINIZ, 1996 p. 43)

“ surge inicialmente na altura do Parque Ecológico do Tietê, entre a rodovia Presidente Dutra e Rodovia Ayrton Senna, o Gráben segue pela ligação Rodovia Ayrton Senna-Aeroporto de Cumbica (bloco alto), indo pelo Parque Industrial de Cumbica (bloco baixo), prosseguindo na direção nordeste, entre a Rodovia Presidente Dutra e a Zona Industrial de Cumbica (bloco alto). Nesta altura o Gráben se subdivide em dois ramais contendo blocos baixos: um dos ramais segue pelo local do Aeroporto Internacional de São Paulo, Bairro Ponte Alta, Estrada da Capuava, Jardim Álamo e Gold Club de Arujá.

O outro surge em direção nordeste pelo bairro Bonsucesso, Jardim Novo Bonsucesso até o Jardim Álamo. Entre os dois ramais, há blocos altos.”

Ainda segundo o autor, a estrutura implicou na espessura do pacote sedimentar na área de estudo, onde grosso modo, nos blocos altos o pacote sedimentar é menos espesso e nos blocos baixos, mais espesso. As estruturas tectônicas também teve influência no desenvolvimento da morfologia do canal meândrico do canal do rio Baquirivu-Guaçu, que segundo o autor, apresenta trechos condicionados tanto pelo Gráben do rio Baquirivu-Guaçu quanto pela falha do rio Jaguari.

Em termos litoestratigráficos, a Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu apresenta em superfície depósitos aluviais Quaternários relacionados a dinâmica recente da drenagem morfologicamente expressos em terraços fluviais e planícies de inundação. Diniz (1996) e Diniz e Duarte (1996) descrevem a estratigrafia da área da Planície do rio Baquirivu-Guaçu composta por sedimentos aluviais Quaternários, constituídos na base por camadas de seixos, cascalhos e areias argilosas finas e médias e argilas siltosas pouco arenosas recobertas por uma camada de até 6 metros de argilas cinza-escura a preta rica em matéria orgânica muito mole; essa camada, por sua vez é recoberta por uma camada de argila contendo areia fina e restos vegetais de cor marrom e cinza-escuro.



**Figura 7:** Mapa Geológico da Bacia do Alto Tietê com destaque para a área de estudo. **Fonte:** IGC/USP. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

Na base dos sedimentos Quaternários foram identificados sedimentos do Grupo Taubaté, pertencentes à Formação Resende, onde Diniz e Uriel (1996) identificaram a ocorrência das duas litofácies típicas dessa formação: depósitos fanglomeráticos relacionados a leques aluviais proximais e depósitos de cascalhos, arenosos e arenoargilosos relacionados a leques distais e planície aluvial de rios entrelaçados. Os autores destacam ainda que podem ocorrer na área depósitos da Formação Itaquaquecetuba, em subsuperfície, na área da Planície do rio Baquirivú-Guaçu em função da proximidade geográfica com a área principal de sedimentação, e esta estaria inserida entre a Formação Resende e os depósitos Quaternários, sendo necessário mais sondagens na área para confirmar essa hipótese.

Abaixo do pacote sedimentar Cenozóico da bacia de São Paulo na área de estudo encontram-se blocos de embasamento rochoso, predominantemente gnáissico migmatíticos. Segundo Diniz (1996) os blocos do embasamento apresentam graus variáveis de alteração geoquímica e encontram-se intensamente fraturados. Conforme exposto anteriormente, alguns blocos do embasamento rochoso encontram-se seguidos ou rebaixados em função do histórico tectônico da área, e em função disto, a espessura do pacote sedimentar Cenozóico é variável ao longo da planície do rio Baquirivú.

## **4.2 Contexto Geomorfológico**

### **4.2.1 Contexto Geomorfológico Regional e Taxonomia Geomorfológica**

Regionalmente, conforme a proposta do IPT (1981), a planície fluvial do rio Baquirivú-Guaçu se insere no planalto paulistano, subzona do planalto atlântico. Segundo IPT (1981) o planalto paulistano possui área de cerca de 5000 Km<sup>2</sup>, constituído fundamentalmente por rochas metassedimentares e intrusões graníticas, sobre as quais se desenvolvem morros, morrotes e serras. Em seu trecho centro-norte ocorre os sedimentos Cenozóicos da bacia de São Paulo, sobre os quais desenvolvem-se colinas e espigões. As altitudes predominantes na área do planalto paulistano variam entre 715 e 900 metros. Na área da bacia de São Paulo, ao longo dos canais fluviais de maior ordem, desenvolvem-se planícies fluviais, que incluem pequenos terraços fluviais.

Almeida (1964) baseando-se nas discontinuidades litológicas define 4 tipos básicos de formas de relevo identificados no planalto paulistano: morros alongados, colinas e cristas monoclinais desenvolvidos sobre rochas metassedimentares como filitos, micaxistos e gnaisses e colinas amplas e espigões ramificados desenvolvidos sobre os sedimentos da bacia de São Paulo.

Ross e Moroz (1996) dividem em dois tipos de unidade morfoestrutural a área do planalto paulistano: o planalto paulistano/alto Tietê que corresponde as áreas de morros



altos desenvolvidos a partir da dissecação de rochas cristalinas e o planalto de São Paulo que envolve a área de ocorrência dos sedimentos da bacia de São Paulo, sobre os quais desenvolvem-se colinas e patamares elevados de topo aplainado.

A partir da classificação taxonômica proposta por Ross (1992) e do mapeamento geomorfológico baseado em tal metodologia realizado por Ross e Moroz (1996) a área da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu insere-se na morfoestrutura das bacias sedimentares Cenozóicas, sobre a qual desenvolve-se a morfoescultura dos compartimento de planalto dissecado de São Paulo, conforme a tabela 5

Taxonomia Geomorfológica da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu-RMSP						
1º Táxon	2º Táxon	3º Táxon	4º Táxon	5º Táxon		
Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural	Padrões de Forma Semelhantes	Forma Individualizada	Setores da Forma		
				Subsistema	Morfologia	Morfometria
Bacias Sedimentares Cenozóicas (Bacia de São Paulo)	Compartimentos de Planaltos Sedimentares Dissecados (Planalto de São Paulo)	Planícies Fluviais Diversas	Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu	Canal Fluvial	Canal Fluvial Ativo	-----
					Meandros Abandonados	
				Planície de Inundação	Planície de Inundação	730 a 750 metros de altitude.
					Backswamp	Declividades entre 0 % a 2 %
				Terraço Fluvial	Terraços Fluviais Indiferenciados	750 a 760 metros.
						Declividades entre 2% e 5%

**Tabela 5:** Taxonomia Geomorfológica da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu baseado em Ross (1992) e Ross e Moroz (1996)

O Planalto de São Paulo que corresponde a um planalto desenvolvido a partir de processo de dissecação dos sedimentos Cenozóicos da bacia de São Paulo, e encontra-se embutido entre as rochas cristalinas predominantemente metamórficas e graníticas do Planalto Atlântico. Ab'Sáber (1957) descreve o relevo da área central da bacia de São Paulo como predominantemente



colinoso composto por colinas e espigões e amplos faixas de várzea (planícies fluviais) cercado por morros desenvolvidos sobre as rochas cristalinas proterozóicas. Ross e Moroz (1996) consideram que no Planalto de São Paulo predominam colinas de topo levemente convexado e patamares aplainados cujas dimensões interfluviais média variam de média a alta com grau de entalhamento de vales de muito fraco a médio.

A morfocronologia do Planalto de São Paulo, conforme Ross e Moroz (1996), abrange sobretudo o Quaternário; durante o Paleógeno e Neógeno ocorre a deposição e consolidação dos sedimentos que formam o pacote sedimentar da bacia de São Paulo e a partir do Pleistoceno ocorrem processos denudacionais sobre tais sedimentos que contribuem, em um primeiro momento, na abertura dos vale principal do rio Tietê e no Holoceno a dissecação destes sedimentos gera e define colinas e patamares além de gerar as atuais Planícies Fluviais dos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí e seus principais afluentes, como é o caso do rio Baquirivu-Guaçu.

#### **4.2.2 Contexto Geomorfológico Local**

A planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu integra o conjunto de planícies fluviais meândricas do Alto Tietê, que correspondem a um conjunto de planícies fluviais Holocênicas desenvolvidas sobre sedimentos aluviais Quaternários localizadas nos fundos de vales dos rios de maior ordem que drenam o Planalto de São Paulo. A partir da sistematização cartográfica da morfologia original da Região Metropolitana de São Paulo de Rodrigues (2004), na figura 8, foi possível verificar que a área de estudo é constituída uma faixa de Planície Aluvial bordejada de maneira descontínua por Terraços Fluviais.

(2020)

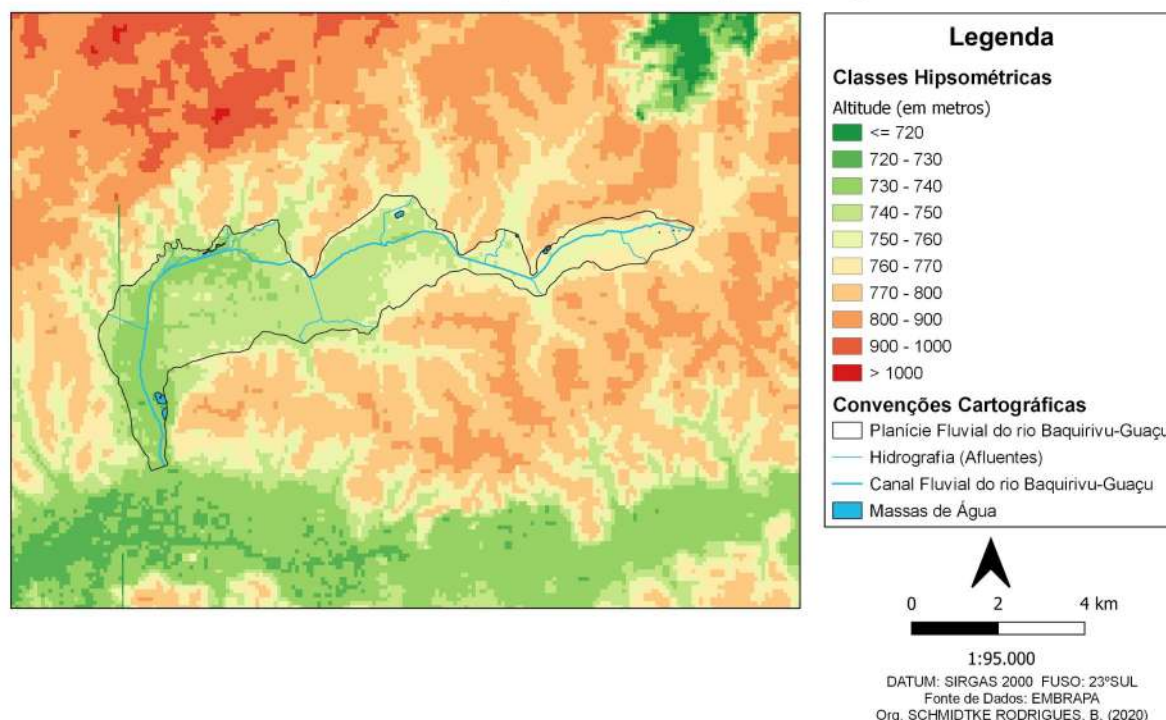
- Localização da área de estudo

A partir da proposta de Ross e Moroz (1996) é possível inserir a planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu na morfoescultura das planícies fluviais diversas, que de acordo com os autores apresentam canais fluviais, e níveis de planície de inundação e terraço fluvial. No âmbito das planícies fluviais do alto Tietê, Ab'Sáber (1957) indica que as planícies de inundação na área central da bacia de São Paulo apresentam dois níveis morfológicos bem definidos relacionados a frequência de inundações: nível de planície de inundação sujeito a cheias anuais e um nível de planície de inundação sujeita a grandes eventos de cheia, sendo o primeiro nível com menores altitudes que o segundo. O autor assinala essa correlação de níveis no setor jusante da área de estudo, relacionando-os com a ocupação pela Base Aérea de Cumbica: enquanto que os quartéis e edifícios de instrução localizam-se em setores das colinas sedimentares e em terraços fluviais, a pista internacional localiza-se no setor mais “enxuto” (com menor frequência de cheias) enquanto que sobre o setor com tendências a cheias anuais não foram construídas nenhuma infraestrutura aeroportuária.

Em termos morfométricos, a planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu apresenta altitudes variáveis entre 770 e 730 metros de acordo com o setor longitudinal, conforme mostra a figura 9. Verifica-se que os níveis de planícies de inundação apresentam variações de altitude entre 730 e 770 metros e os terraços fluviais altitudes acima de 740 metros. As declividades na área são predominantemente baixas (entre 0% e 2%) e nas áreas de limites morfológicos entre planícies de inundação e terraços fluviais e entre a planície fluvial e vertentes ocorrem declividades maiores, em geral acima de 4%.

Conforme Ross e Moroz (1996) a morfodinâmica da área de estudo abrange basicamente processos de agração. É possível detalhar que a morfodinâmica da área de estudo abrange o retrabalhamento de material pelo sistema fluvial, incluindo processos de deposição sedimentar que ocorrem no canal fluvial e planícies de inundação a partir de eventos de extravasamentos e processos de erosão e entalhe fluvial, sobretudo no âmbito do canal fluvial. É importante ressaltar que a morfodinâmicos da área vincula-se ao regime fluvial, e portanto, a magnitude e frequência dos processos ajustam-se as vazões, que por sua vez, vinculam-se as entradas de precipitação na bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu.

## Carta Hipsométrica da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu e região



**Figura 9:** Carta Hipsométrica da área de estudo. **Org. SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)**

### 4.3 Contexto Pedológico

As informações sobre os solos existentes na área de estudo são bastante escassas, sendo predominantemente relatadas de forma breve em estudos de escala regional. Andrade (1999) afirma que na área da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu ocorrem os Gleissolos predominantemente argilosos ricos em matéria orgânica. Os gleissolos são solos gerados em condições de hidromorfismo e, conforme Embrapa (2018), possuem o horizonte Glei (horizonte acinzentado caracterizado pela redução de óxidos de ferro) nos primeiros 50 cm a partir da superfície do solo.

A ocorrência de Gleissolos na área de estudo segundo Andrade (1999) relaciona-se às condições de hidromorfismo da superfície e subsuperfície, sobretudo das Planícies de Inundação em função da estagnação superficial de água e nível freático elevado. Assume-se, no entanto, que em função da morfologia e, assim, diferenças hidrodinâmicas existentes na área de estudo indicado na sistematização de Rodrigues (2004). Neste sentido, podem ocorrer o desenvolvimento tipos distintos de gleissolo entre os compartimentos de planície de inundação (dique, backswamp, níveis de planície de inundação) em função das mudanças dos regimes de saturação e desenvolvimento de

feições redoximórficas como indica Grigorowitschs (2013) para a área de planície fluvial em meio tropical úmido.

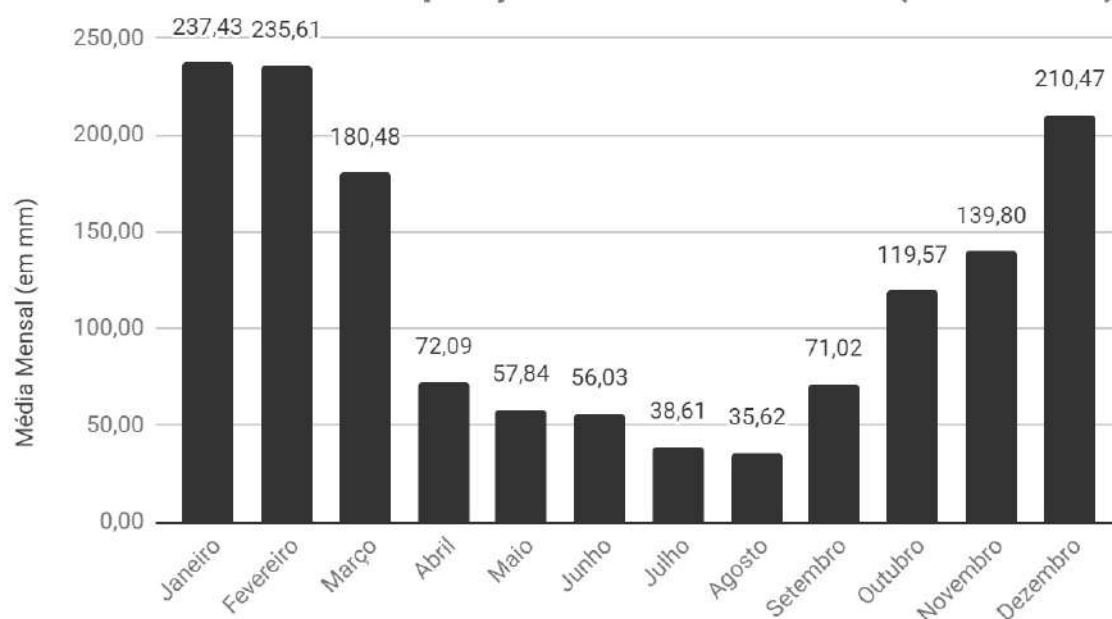
#### **4.4 Contexto Climático**

Regionalmente, a Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu insere-se na transição entre dois grandes tipos climáticos: o clima tropical e subtropical (ou mesotérmico). Andrade (1999) destaca que o município de Guarulhos apresenta temperaturas médias anuais entre 18° e 19° C, classificado na proposta de Koppen como Cwb (mesotérmico, com chuvas no verão e verões brandos); já Arujá apresenta temperaturas médias anuais 17,5° C e 18° C, sendo também classificado na classificação de Koppen como Cwb.

Andrade (1999) destaca que ao longo do ano climatológico, há dois principais sistemas meteorológicos que atuam na formação de precipitação e regulação térmica em Guarulhos, e portanto, atuam na área de estudo: nos meses de verão, há maior influência da Massa Tropical Atlântica, que é uma massa quente e úmida que fomenta o aumento das temperaturas e precipitações frontais, e nos meses de inverno, torna-se dominante a influência da Massa Polar Atlântica, que é uma massa fria e úmida, cuja atuação tende a rebaixar a temperatura e causar precipitações frontais. Nos meses de verão, ocorre também intensificação de processos de convecção do ar, que podem gerar precipitações convectivas que embora localizadas e de menor duração, apresentam alta intensidade, com significativos volumes de precipitação.

A partir da avaliação da série histórica de registros pluviométricos da Estação E3-002 do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) localizada na bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu foi possível elaborar o gráfico das médias mensais de precipitação observada no período entre 1942 e 2016 na região (Figura 10). O gráfico confirma a tendência proposta por Andrade (1999) de ocorrência de maior volume de precipitações nos meses de verão (Dezembro a Março) em detrimento dos meses de inverno (Junho a Setembro), fato relacionado sobretudo a características dos sistemas meteorológicos dominantes.

### Média Mensal de Precipitação na Área de Estudo (1942-2016)



**Figura 10:** Gráfico das Médias Mensais de Precipitação na área de estudo. Fonte: Dados da Estação Pluviométrica do DAEE/SP. Org. SCHMIDTKE RODRIGUES. B. (2020)

## 5 Resultados e Discussão

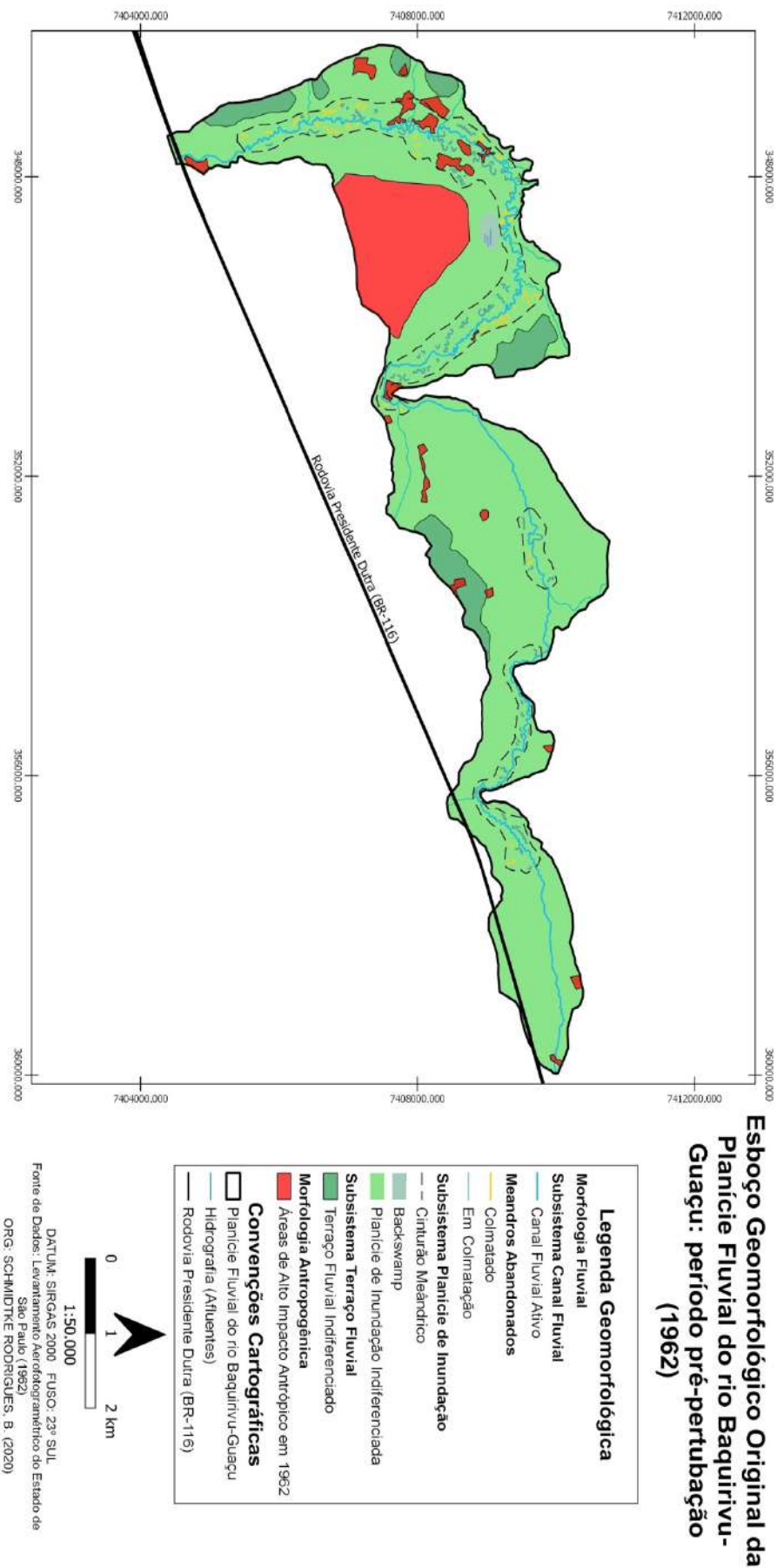
A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos no processo de pesquisa, considerando o princípio evolutivo proposto na metodologia. Portanto, são apresentados e discutidos: a reconstituição da morfologia original e interpretação dos aspectos dinâmicos e morfogenéticos da área de estudo; o histórico de apropriação antropogênica e os impactos e efeitos hidromorfológicos no sistema de planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu; o dimensionamento das mudanças e interpretação das mudanças na morfologia, materiais superficiais e tendências espaciais de processo a partir de geoindicadores e interpretação dos resultados para aplicação.

### 5.1 Reconstituição da geomorfologia original da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu

A partir do esboço geomorfológico original elaborado (Figura 11 e Tabela 7) identificou-se como subsistemas originais da área de estudo o Canal Fluvial, Planície de Inundação e Terraço Fluvial. Cada subsistema apresenta morfologias, materiais superficiais e aspectos dinâmicos associados, conforme indicado na Tabela 6.








Subsistema Original	Morfologias Identificadas	Aspectos Dinâmicos Gerais
Canal Fluvial	Canal Fluvial Ativo e Meandros Abandonados	Morfodinâmica vinculada ao trabalho geomorfológico do fluxo acanalado.
Planície de Inundação	Planície de Inundação Indiferenciado, Backswamp e Cinturão Meândrico	Relação com eventos de transbordamento do canal fluvial ativo e migração lateral do canal.
Terraço Fluvial	Terraço Fluvial Indiferenciado	Materiais e formas com gênese fluvial com principais processos morfodinâmicos desvinculados da dinâmica fluvial.

**Tabela 6:** Síntese dos subsistemas e morfologias originais identificadas na Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)



**Figura 11:** Esboço Geomorfológico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período pré-pertubação (1962). Org. SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

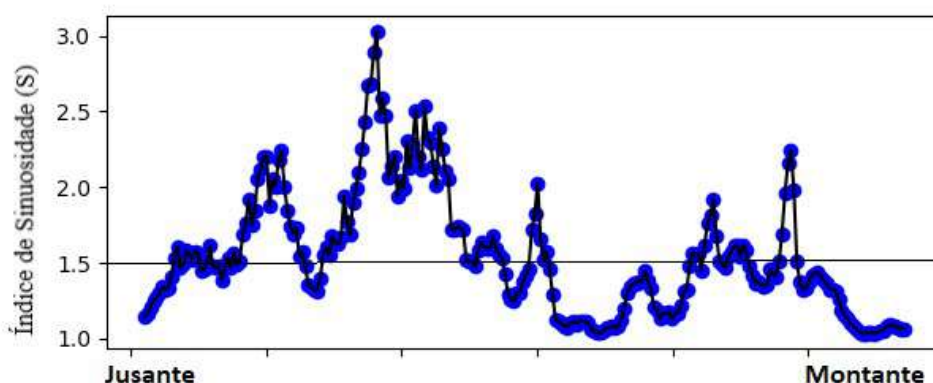


Legenda do Esboço Geomorfológico Original da Planície Fluvial do rio Baquirivá-Guaçu: Período de Pré-Perturbação (1962)							
Sistema Geomorfológico	Sub-Sistema Geomorfológico	Morfologia		Morfografia e Morfometria	Materiais Superficiais Correlacionados	Tendência de Processos Hidromorfodinâmicos	
Planície Fluvial Meândrica do rio Baquirivá-Guaçu	Canal Fluvial Ativo		Canal fluvial único com índices de sinuosidade variáveis entre 1,1 a 3,0, com trechos retilíneos e meândros tortuosos, irregulares e regulares.	Cascalhos e Seixos no Leito e e Areias nas Margens	Fluxos Hidráulicos de alta competência, com predomínio de erosão na margem côncava e deposição na margem convexa, típicos de canais meândricos.		
				Lagos em Ferradura e Trechos de Canal abandonados com diferentes índices de Sinuosidade e graus de colimação.	Sedimentos de maior granulometria na base (seixos, cascalhos e areia grossa) e sedimentos finos (argilas, silte e areia fina) e matéria orgânica no topo	Originados por cut-off ou avulsão, predominam processos de colimação em ambiente similar ao lacustre a partir das águas trazidas pelas cheias.	
	Canal Fluvial			Em Colimação		Áreas Planas adjacentes ao canal fluvial ativo com altitudes variáveis entre 730 e 770 metros com declividades entre 0% e 2% com distinção.	Sedimentos com grande variabilidade granulométrica, com espessuras que variam entre 4 e 7 metros. Grosso modo, apresentam sedimentos grossos na base (seixos, cascalhos e areias grossas) e sedimentos finos (argilas, siltes e areia fina) ricos em matéria orgânica no topo
			Colimação	Planície de Inundação Indiferenciada			
	Planície de Inundação		Áreas deprimidas e pantanosas localizadas na Planície de inundação indiferenciada com baixas declividade e altitudes abaixo dos 730 metros.	Sedimentos finos (argila e silte) ricos em matéria orgânica	Estocagem temporária de águas das cheias e sedimentação via decantação de sedimentos finos (argila e silte). Ocorrem incipientes processos pedogênicos com predomínio da gleização.		
	Backswamp						
	Terraço Fluvial	Terraço Fluvial Indiferenciado		Patamares planos localizados acima do nível das Planícies de Inundação. Predominam altitudes acima dos 740 metros e declividades entre 2% e 5%.	Sedimentos Quaternários depositados pela dinâmica fluvial, com grande variação granulométrica, exibindo grosso modo, sedimentos grossos (seixo, cascalho e areias grossas) na base e sedimentos finos (argila, silte e areia fina) no topo. Geralmente apresentam solos bem desenvolvidos	Predominam processos erosivos e pedogênicos sobre sedimentos fluviais previamente depositados. Eventualmente, há ocorrência sedimentação fluvial, em picos de vazão extremos.	

**Tabela 7:** Legenda do Esboço Geomorfológico Original: cenário pré-intervenção (1962). **ORG.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

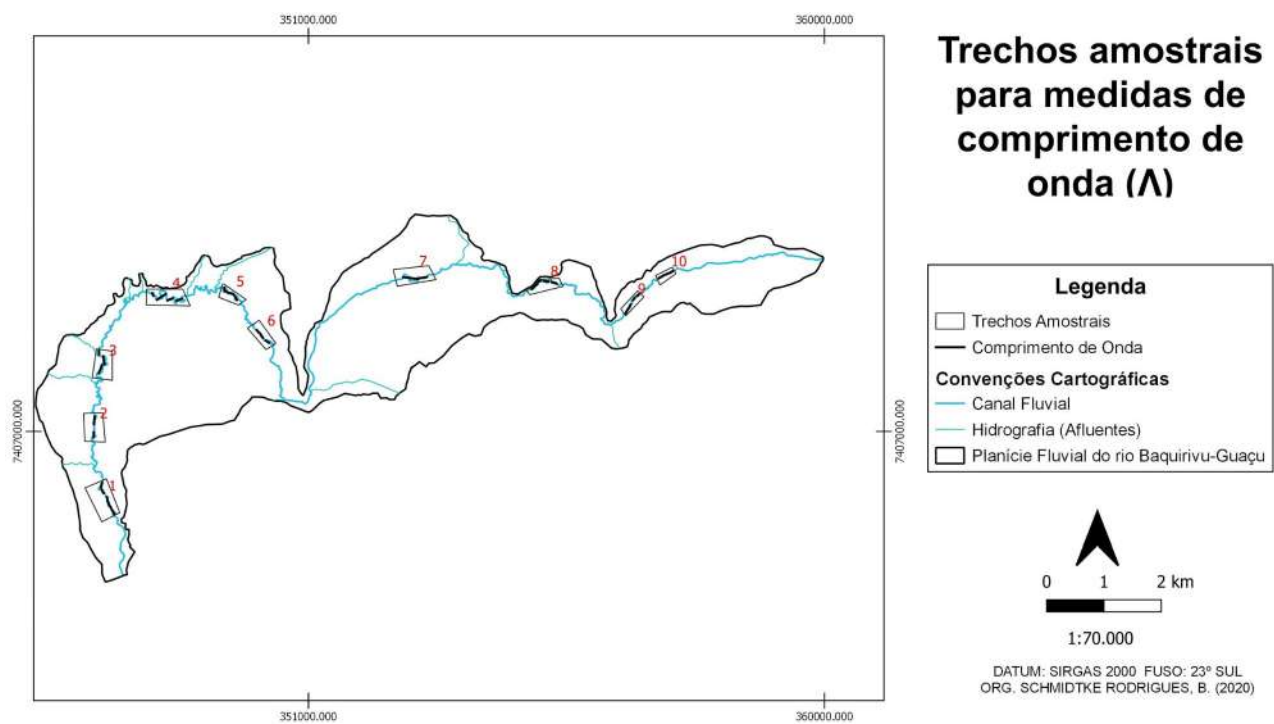
### 5.1.1 Descrição da morfologia e materiais superficiais originais

A partir da correlação de dados morfométricos com o esboço geomorfológico original realizou-se a descrição das formas de cada subsistema original, conforme a Tabela 8. O canal fluvial ativo original apresentava predominantemente trechos com padrão meândricos com índice de sinuosidade (S) igual ou acima de 1,5, e trechos retilíneos com valores de sinuosidade inferiores a 1,5 desenvolvidos em canal único, conforme a figura 12. Observa-se também que nos trechos meândricos, o canal fluvial original do rio Baquirivu-Guaçu apresentava significativa variabilidade dos valores de sinuosidade ao longo de sua extensão.



**Figura 12:** Perfil de Sinuosidade do Canal Fluvial ativo original do rio Baquirivu-Guaçu com marcação do limiar de Sinuosidade 1,5. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

Comparando as medidas de comprimento de onda de meandros de alguns trechos amostrais aleatórios ao longo do canal original do rio Baquirivu-Guaçu, figura 13 e tabela 10, é possível verificar que existem diferenças significativas entre os trechos amostrais: trechos com medidas de comprimento de onda numericamente próximos como é o caso do trecho 10 e trechos com medidas com grande variabilidade de medidas como os trechos 1 e 5. Portanto, é possível caracterizar trechos do canal fluvial original do rio Baquirivu-Guaçu com morfologia meândrica regular, com comprimentos de onda numericamente próximos, e trechos meândricos tortuosos e irregulares, com medidas de comprimento de onda com alta variabilidade entre os meandros. Neste sentido, associando a morfologia planar, índices de sinuosidade e comprimento de onda, é possível verificar uma significativa diversidade de morfologia fluvial meândrica desenvolvida ao longo do canal original do rio Baquirivu-Guaçu.



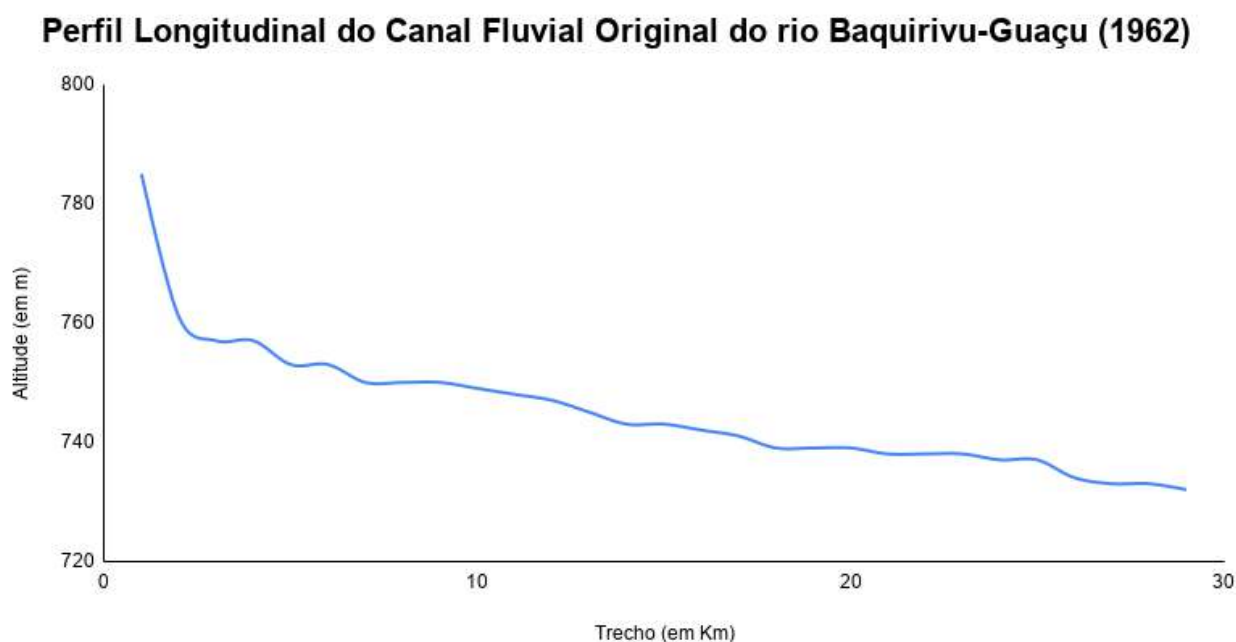
**Figura 13:** Trechos amostrais para mensuração de comprimento de onda ( $\lambda$ ). Org. SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

Comparação de Comprimento de Onda ( $\lambda$ )			
Trecho Amostral	Trecho Meândricos	Comprimento de Onda ( $\lambda$ ) em metros	Morfologia Meândrica
1	1	195	Irregular
	2	92	
	3	78	
	4	69	
2	5	89	Irregular
	6	133	
3	7	142	Tortuosa
	8	146	
	9	66	
4	10	48	Tortuosa
	11	184	
	12	95	
	13	104	
5	14	65	Irregular
	15	127	
	16	77	
6	17	49	Tortuosa
	18	78	
	19	66	
7	20	254	Tortuosa
	21	169	
8	22	137	Irregular
	23	57	
	24	77	
	25	94	
9	26	67	Irregular
	27	80	
	28	52	
	29	71	
10	30	79	Regular
	31	78	
	32	77	

**Tabela 8:** Comparação de valores de comprimento de onda por trecho amostral no canal fluvial original do rio Baquirivu-Guaçu. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

O canal fluvial do rio Baquirivu-Guaçu apresentava extensão original de cerca de 29,05 Km e declividade original de 1,8 m/Km. A partir da reconstituição do perfil longitudinal original do

rio Baquirivu-Guaçu (Figura 14) é possível observar que o canal original apresentava maiores variações de altitude no trecho inicial e posteriormente, o canal apresenta baixas variações de altitude por trecho. A partir da correlação espacial desses dados, verifica-se que no trecho de maior declividade, o canal apresenta morfologia retilínea e a nos demais trechos, ocorre o predomínio de morfologia meândrica.



**Figura 14:** Perfil Longitudinal original do rio Baquirivu-Guaçu. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

Os meandros abandonados correspondiam a lagos em ferradura com diferentes graus de colmatção localizados na planície de inundação indiferenciada, no setor de cinturão meândrico, nas proximidades do canal fluvial ativo original. Especialmente, os meandros abandonados concentravam-se nos trechos meândricos do canal fluvial original do rio Baquirivu-Guaçu, sobretudo nos trechos de maior sinuosidade. Além dos lagos em ferradura, identificou-se também trechos de canal abandonado, que abrangiam mais de dois meandros, também com diferentes graus de colmatção.

A planície de inundação indiferenciada, principal morfologia do subsistema Planície de Inundação, correspondia às áreas planas adjacentes ao canal fluvial ativo do rio Baquirivu-Guaçu com declividades entre 0% e 2%. Morfologicamente, a Planície de Inundação Indiferenciada apresentava sub-compartimentação interna com diferentes níveis topográficos, relacionados com a frequência de cheias conforme indicava Ab'Sáber (1957). A partir do esboço geomorfológico

origina também foi possível identificar na Planície de Inundação os setores de Cinturão Meândrico, que correspondia a área de Planície de Inundação ocupada pelo canal fluvial ativo original do rio Baquirivu-Guaçu e meandros abandonados e as Backswamps, que eram as áreas mais rebaixados e pantanosos da Planície de Inundação.

Os materiais que constituíam a Planície de Inundação original apresentavam significativo grau de variação de acordo com o setor morfológico. A partir dos trabalhos de campo foi possível descrever, em campo, um perfil sedimentar que relaciona-se ao antigo setor de cinturão meândrico (Fig. 15). O perfil apresenta quatro camadas delimitáveis com estrutura e transições plano-paralelas:

- Camada 1: material com coloração bruno com presença de cobertura vegetal no limite superior;
- Camada 2: material bem selecionado de aparente textura pelítica e coloração preta;
- Camada 3: material bem selecionado de aparente textura pelítica e coloração cinza;
- Camada 4: base do perfil, com clastos cascalhosos de aparente material quartzoso com matriz fina com coloração clara e uma pequena “faixa” de coloração avermelhada/amarelada com aspecto de oxidação.





**Figura 15:** Perfil Sedimentar descrito em campo, localizado na Rua Jamil João Zarif. **Fonte:** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

Em superfície, as planícies de inundação originais apresentavam, predominante, cobertura vegetal do tipo campo e em alguns trechos vegetação florestal, e pontualmente áreas de morfologia antropogênica, como é possível observar em registros fotográficos (figuras 16 e 17).



**Figura 16:** Fotografia do trecho jusante da Planície do rio Baquirivu-Guaçu, a partir do bairro do Taboão, com destaques para as Planícies de Inundação no início da década de 1970. **Fonte:** Arquivo Histórico Municipal de Guarulhos.





**Figura 17:** Fotografia da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu no trecho jusante na altura do bairro Pq. São Luís em 1973. **Fonte:** DAEE-SP

Os terraços fluviais indiferenciados, morfologias identificadas no subsistema Terraço Fluvial, correspondiam a patamares planos localizados entre 5 e 10 metros acima do canal fluvial ativo do rio Baquirivu-Guaçu; apresentam como limite morfológico mudanças de declive no contato com as planícies de inundação indiferenciadas. Os materiais que constituem os terraços fluviais apresentam significativa diversidade e relacionam-se com depósitos fluviais quaternários com diferentes faces. Em superfície, apresentavam cobertura vegetal do tipo campo e áreas florestais.

### **5.1.2 Interpretações Geomorfológicas: aspectos morfogenéticos e tendências espaciais de processos hidrogeomorfológicos**

A partir das descrições da morfologia e materiais originais, foi possível elaborar interpretações sobre aspectos morfogenéticos e morfodinâmicos originais da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu. O subsistema canal fluvial constituía a principal rota de circulação de matéria (sobretudo água e material sedimentar) e energia na Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu. A morfologia meândrica, desenvolvida em grande parte do canal fluvial ativo original do rio Baquirivu-Guaçu, indica tendências espaciais de processos hidrogeomorfológicos originais bem definidos: erosão na margem côncava do canal e deposição em formas de barra em pontal na margem convexa.

As taxas dos processos erosivos e deposicionais no canal fluvial pré-urbano relacionavam-se principalmente à variabilidade das vazões e a resistências dos materiais das margens do canal fluvial. A continuidade espaço-temporal destes processos fomentava a migração lateral do canal na Planície de Inundação, especificamente no setor de cinturão meândrico, e a formação de meandros e trechos de canal abandonados, por mecanismos de cut-off e avulsão, respectivamente; posteriormente, os trechos abandonados eram colmatados a partir da sedimentação de sedimentos finos trazidos pelas águas de extravasamento. Observou-se a maior ocorrência dessas morfologias nos setores de canal fluvial com maior sinuosidade, o que indica que tais trechos possuíam maiores taxas de migração lateral do canal, correlação já indicada por Christofolletti (1981).

A diversidade de morfologia meândrica observada no canal fluvial original do rio Baquirivu-Guaçu relacionava-se, possivelmente, a ajustes entre o trabalho do canal fluvial e as condições dos setores de planície de inundação onde o canal desenvolve-se. As estruturas tectônicas descritas por Diniz (1996), a falha do Jaguari e o gráben do rio Baquirivu-Guaçu, são dois elementos importantes na interpretação desses ajustes. Vita-Finzi (2012) afirma que deformações tectônicas podem gerar perturbações pontuais ao longo da extensão dos rios meândricos e, que gera mudanças no índice de sinuosidade e comprimento de onda, dentre outros aspectos morfológicos. Neste sentido, é possível que tanto o gráben do rio Baquirivu-Guaçu quanto a falha do Jaguari influenciaram as condições setoriais na área de desenvolvimento do canal do rio Baquirivu-Guaçu, a partir do qual o canal desenvolveu ajustes de morfologia, como o desenvolvimento de trechos tortuosos e irregulares.

O subsistema de Planície de Inundação era o principal dispersor de matéria (principalmente água e sedimentos) e energia no âmbito dos sistemas da Planície Fluvial e da bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu. As planícies de inundação indiferenciadas apresentavam

como principal tendência processos a estocagem temporária de águas e sedimentação de material transportado pelos fluxos de inundação, com diferentes fases desde o enchimento até a secagem. Os aspectos hidrodinâmicos dos fluxos de inundação tendiam a apresentar variações de acordo com o setor morfológico da Planície de Inundação e com a magnitude dos picos de extravasamento. De uma forma geral, os fluxos de inundação tendiam a perder energia e velocidade conforme o aumento da distância do canal fluvial ativo, apresentando velocidade quase nulas e estagnação nos setores de Backswamp.

Considerando a localização de meandros abandonados em diferentes graus de colmatação ao longo do cinturão meândrico original do rio Baquirivu-Guaçu, há indícios que os eventos de inundações apresentavam padrão espacial relativamente generalizado na Planície de Inundação original, uma vez que os processos de colmatação dos meandros abandonados indicam uma troca relativamente contínua de material sedimentar entre o canal fluvial e as planícies de inundação via fluxos de extravasamento. A espacialidade desses eventos, no entanto, possivelmente apresentavam também variações de acordo com o ano hidrológico, considerando as variações nas entradas via precipitação e produção de vazão na bacia hidrográfica.

Os processos de sedimentação e a estrutura sedimentar das planícies de inundação relacionavam-se às condições hidrodinâmicas do fluxo de extravasamento, e neste sentido, apresentam significativa variação e complexidade entre os setores morfológicos. Neste sentido, no setor de cinturão meândricos os materiais superficiais predominantes relacionavam-se principalmente aos depósitos dos processos de migração lateral do canal fluvial na base (cascalhos, seixos e areias) e depósitos de colmatação de canais abandonados e extravasamento (areias finas, silte e argila) no topo, com estrutura plano paralela similar ao perfil descrito anteriormente (Figura 15). Nos setores de backwamp os materiais relacionavam-se principalmente a sedimentação via decantação (argilas e siltes ricas em matéria orgânica) e nas planícies de inundação indiferenciada aos processos de extravasamento (podendo variar de areias finas a argilas).

O subsistema Terraço Fluvial engloba as formas e materiais de origem fluvial mas com tendências espaciais de processos principais desvinculados da morfodinâmica fluvial. No âmbito dos terraços fluviais indiferenciados identificados, a gênese vincula-se ao abandono, pelo canal fluvial, de antigos setores de planície de inundação por mudanças no entalhe fluvial em função de possíveis oscilações de nível de base (local, regional e/ou geral) ao longo do Quaternário. As tendências de processos predominantes nos terraços fluviais indiferenciados relacionavam-se à dissecação dos materiais depositados pela dinâmica fluvial, tanto por processos pedogeoquímicos quanto por processos mecânicos. Secundariamente, os terraços fluviais indiferenciados apresentavam tendências de estocagem temporária de águas de extravasamento e sedimentação

fluvial em eventos de extravasamento extremos. Christofolletti (1981) indica o limiar de 10 anos de tempo de retorno em meio tropical para eventos de inundação alcançarem terraços fluviais; neste sentido, considera-se que, para os terraços fluviais indiferenciados originais da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu tornarem-se locus de sedimentação fluvial atual, eram necessários vazões de pico com tempo de retorno superiores a 10 anos.

A partir das descrições morfológicas e interpretações, é possível reconhecer, no âmbito da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu original, um padrão de organização interno, considerando os princípios da teoria dos sistemas (Chorley 1962, Christofolletti 1980 e Matos e Peres Filho, 2010) que em condições tectônicas e climática estáveis com taxas de entrada e saídas de matéria e energia relativamente similares em escalas temporais históricas (centenas de anos), indicava que a área de estudos apresentaria um comportamento evolutivo vinculado a sedimentação fluvial (sedimentação lateral, via mecanismo de canal e sedimentação vertical, vinculado sobretudo aos eventos de extravasamento) e ao entalhe fluvial. Neste sentido, as tendências espaciais de processos hidrogeomorfológicos indicavam um padrão interno de circulação de matéria e energia na área de estudo, com vetores principais vinculados ao canal fluvial ativo e aos afluentes e vetores de dispersão do canal fluvial para planícies de inundação e eventualmente, terraços fluviais; é importante considerar, no entanto, os possíveis ajustes nas taxas dessa circulação considerando variações da entrada de matéria e energia ao longo do tempo.

## **5.2 Histórico de intervenções humanas na planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: padrões de apropriação,**

A partir do período de pré-intervenção, representado pelo cenário de 1962, foi possível caracterizar o histórico de intervenções e apropriação humana do sistema da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu. Os padrões de apropriação e a morfologias antropogênicas identificadas ao longo dessa cronologia se relacionam ao processo de formação espacial da metrópole paulista e aos processos de urbanização dos municípios de Guarulhos e Arujá. Define-se na área de estudo os períodos de:

**I. Período de pré-perturbação (até o fim da década de 1960):** corresponde ao período com urbanização incipiente e domínio da morfologia original, com ocorrência pontual de morfologias antropogênicas vinculadas predominantemente a padrões de apropriação não urbanos, como mineração e agricultura;

**II. Período de perturbação ativa (1970-início da década de 2000):** abrange o período de consolidação e expansão urbana, com execução de obras de engenharia, remobilização ativa de materiais superficiais e generalização espacial de morfologias antropogênicas vinculadas a padrões de apropriação urbano-industrial;

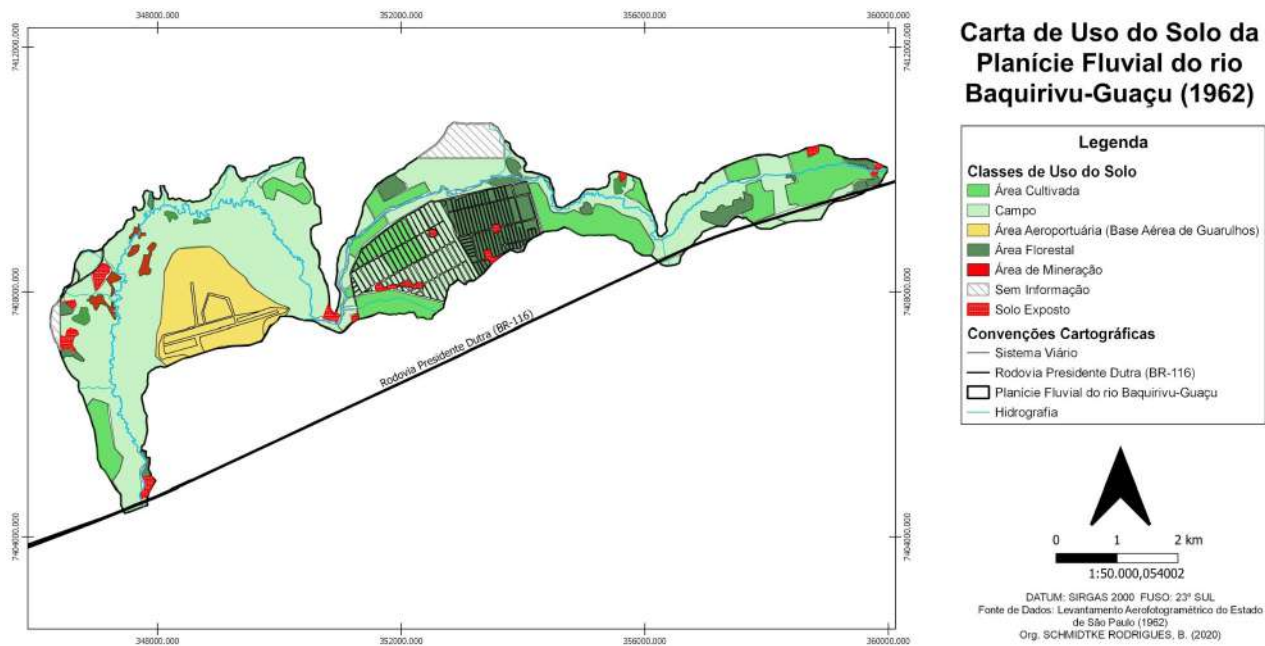
**III. Período de pós-perturbação (a partir da década de 2000):** compreende o estágio de urbanização consolidada, com predomínio espacial de morfologias antropogênicas vinculadas ao padrão de apropriação urbano-industrial, com remobilizações de materiais ativas e execução de obras de engenharia de forma pontual.

### **5.2.1 Período de Pré-perturbação**

O período de pré-perturbação na Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu abrange a fase inicial de urbanização na área e correlaciona-se, ao momento inicial da expansão urbana na RMSP. A partir do mapa de uso do solo de 1962 (Figura 18) é possível observar o predomínio de padrões de uso do solo desvinculado da urbanização, com exceção da área aeroportuária da base aérea de Cumbica e a Rodovia Presidente Dutra, que se relacionam ao início do processo de expansão urbana da metrópole paulista e no município de Guarulhos conforme Bógus e Vêras (2000) e Fernandes et. al. (2008).

No âmbito hidromorfológico, esse período apresenta o predomínio das morfologias, materiais superficiais e tendências de processos originais, relativos a cada subsistema geomorfológico como descrito no item anterior. No cenário representativo deste período, embora se verifique padrões de apropriação antrópico que geram efeitos hidromorfológicos (Tabela 9), os

efeitos no conjunto no sistema geomorfológico da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu é baixo, em função de suas áreas limitadas.



**Figura 18:** Carta de Uso do Solo da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu (1962). **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

Uso do solo e efeitos hidromorfológicos na planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período de pré-perturbação (1962)				
Padrão de apropriação	Uso do solo identificado	Tipos de perturbação		Efeitos hidromorfológicos
		Morfológico	Materiais superficiais	
Urbano-industrial	Área aeroportuária	Supressão de área de planície de inundação e terraço fluvial, com aumentos locais de altitude e mudanças de declive antropogênicos	Aterros com materiais antropogênicos diversos de espessura variável	Redução da capacidade de amortecimento de cheias e aumento das taxas de produção de escoamento superficial. Nas áreas de descontinuidade entre os aterros e as áreas de planície de inundação original, pode ocorrer a redução da dispersão dos fluxos de extravasamento e produção de aumentos locais das cotas de inundação
Mineração	Área de mineração	Supressão de área de planície de inundação com criação de depressões localizadas pela perda de materiais	Retirada de materiais originais de níveis de planícies de inundação	-----
Agrícola	Área cultivada	Supressão de áreas de planície de inundação e terraços fluviais	Remobilização de componente superficiais do solo	Favorecimento de processos de infiltração e manutenção da capacidade de amortecimento quando não há construção de diques e barreiras entre o canal e a área cultivada.
Solo exposto	Solo exposto	Supressão de áreas de planície de inundação e terraços fluviais	Retirada de vegetação e componentes superficiais do solo	Redução da capacidade de infiltração e aumento das taxas de escoamento superficial, com possibilidade de geração de processos erosivos.

**Tabela 9:** Relação de padrões de apropriação, uso do solo e efeitos hidromorfológicos: período de pré-perturbação (1962). **ORG. SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)**

### 5.2.2 Período de Perturbação ativa

O período de perturbação ativa abrange consolidação do padrão de apropriação urbano-industrial do meio físico na área de estudo, envolvendo a execução de obras hidráulicas e a fase de instalação e consolidação de infraestruturas urbanas e industriais. Tal período se relaciona ao

período de intensificação da urbanização na RMSP e no âmbito dos municípios de Guarulhos e Arujá.

Fernandes et. al. (2008) indica que a partir da década de 1950 ocorreu a instalação gradual de loteamentos industriais e urbanos nos bairros de Cumbica e Cidade Satélite, em Guarulhos, a partir dos quais, em conjunto com a chegada de trabalhadores migrantes nas décadas de 1960 a 1990, fomentaram a expansão de novos loteamento ao norte e leste do município. Entre as décadas de 1970 e 1990, associados a esse processo, verifica-se a realização de diversas intervenções vinculadas ao padrão de apropriação urbano na planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu.

No âmbito do subsistema canal fluvial, a principal intervenção hidráulica foi a canalização via retificação do canal fluvial ativo do rio Baquirivu-Guaçu, realizada pela Prefeitura Municipal de Guarulhos e DAEE-SP (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) realizado com o objetivo de controlar as inundações e viabilizar a ocupação das planícies de inundação. As obras foram realizadas entre 1974 e 1979 e envolveram a construção de um canal artificial retilíneo com capacidade estabelecidas a partir de vazões de projeto, que foram determinadas a partir de diferentes cenários de vazões de pico de diferentes tempos de retorno (Tr 25 anos, Tr 50 anos e Tr 100 anos) em setores distintos do canal fluvial, determinados a partir da área de drenagem da bacia, conforme a tabela 10.

O aumento sucessivo dos cenários vazões de pico indicaram a necessidade da ampliação da capacidade do canal e, neste aspecto, as vazões de projeto foram definidas a partir da correlação dos cenários de pico por métodos de hidrologia estatística, sendo sucessivamente ampliadas conforme o trecho de canal (tabela 11). Com as obras de canalização, construiu-se seções transversais trapezoidais com parâmetros hidráulicos redefinidos como declividade, área de seção molhada e velocidade das seções redefinidos (tabela 12), sobretudo para acelerar o processo de escoamento fluvial.

É importante destacar a canalização consistia, enquanto técnica, em solução de drenagem urbana amplamente utilizada no Brasil durante o século XX, e como indica Tucci (2008) tal solução integrava o chamado “paradigma higienista” de drenagem urbana, cujo principal objetivo era acelerar o escoamento fluvial para transportar com maior rapidez efluentes e excesso de água. No contexto específico da RMSP, Moroz-Caccia Gouveia (2016) afirma que a canalização foi adotada como uma prática generalizada na década de 1970 e 1980, sobretudo para a viabilização de ocupação e construção de avenidas em fundos de vale. Portanto, a canalização do canal fluvial do rio Baquirivu-Guaçu ocorreu em um amplo contexto técnico político em que tal prática era típica na apropriação urbana de sistemas fluviais no âmbito da RMSP.



<b>Comparativo de Vazões de Pico projetadas para diferentes Tempos de Retorno (Tr) para o rio Baquirivu-Guaçu (Projeto de Canalização do rio Baquirivu-Guaçu-DAEE/1975)</b>			
<b>Vazão (em m3/s) para Tempo de Retorno 25 anos (Tr=25)</b>			
<b>Trecho do Canal p/ área de drenagem</b>	<b>Cenário 1970</b>	<b>Cenário 1990</b>	<b>Cenário 2000</b>
Trecho I- 30 Km2	24,9	49,8	49,8
Trecho II- 40 Km2	28,8	51,8	56,6
Trecho III- 50 Km2	32,4	55,9	63,2
Trecho IV- 60 Km2	35,8	61,3	69,4
Trecho V- 70 Km2	38,6	62,4	72,3
Trecho VI- 80 Km2	41,6	64,2	75,9
Trecho VII- 90 Km2	44,4	69,3	81,3
Trecho VIII- 100 Km2	46,9	75,2	86,6
Trecho IX- 110 Km2	49,3	80,9	91,7
Trecho X- 120 Km2	51,7	83	94,8
Trecho XI-130 Km2	54,4	86	99,6
Trecho XII- 140 Km2	56,3	88,7	103,8
Trecho XIII- 150 Km2	58,8	42,6	109
Trecho XIV- 156 Km2	60,2	98	111,9
<b>Vazão (em m3/s) para Tempo de Retorno 50 anos (Tr=50)</b>			
<b>Trecho do Canal p/ área de drenagem</b>	<b>Cenário 1970</b>	<b>Cenário 1990</b>	<b>Cenário 2000</b>
Trecho I- 30 Km2	27,8	55,6	55,6
Trecho II- 40 Km2	31,8	57,2	62,5
Trecho III- 50 Km2	36	62,1	70,3
Trecho IV- 60 Km2	36,7	68	76,9
Trecho V- 70 Km2	43	69,5	80,6
Trecho VI- 80 Km2	46,3	71,4	84,5
Trecho VII- 90 Km2	49,3	76,9	90,2
Trecho VIII- 100 Km2	52,1	83,6	96,2
Trecho IX- 110 Km2	54,8	89,8	102
Trecho X- 120 Km2	57,4	92,2	105
Trecho XI-130 Km2	60,4	95,5	111
Trecho XII- 140 Km2	62,6	98,7	115
Trecho XIII- 150 Km2	65,3	103	121
Trecho XIV- 156 Km2	66,9	107	124
<b>Vazão (em m3/s) para Tempo de Retorno de 100 anos (Tr=100 anos)</b>			
<b>Trecho do Canal p/ área de drenagem</b>	<b>Cenário 1970</b>	<b>Cenário 1990</b>	<b>Cenário 2000</b>
Trecho I- 30 Km2	30,4	60,8	60,8
Trecho II- 40 Km2	37,4	67,2	73,5
Trecho III- 50 Km2	39,5	68,2	77,1
Trecho IV- 60 Km2	43,6	74,7	84,5

Trecho V- 70 Km2	47,2	76,3	88,5
Trecho VI- 80 Km2	50,9	82,2	95,4
Trecho VII- 90 Km2	54,1	83,5	98,7
Trecho VIII- 100 Km2	57,1	91,6	105
Trecho IX- 110 Km2	60,2	98,7	112
Trecho X- 120 Km2	63,1	101	116
Trecho XI-130 Km2	66,2	104	121
Trecho XII- 140 Km2	68,6	108	126
Trecho XIII- 150 Km2	71,7	113	133
Trecho XIV- 156 Km2	73,5	117	137

**Tabela 10:** Comparativo das vazões de pico simuladas por trecho do canal fluvial do rio Baquirivu-Guaçu por trecho de área de drenagem. **Fonte:** DAEE (1975). **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

Trecho	Vazão de Projeto em m3/s
I	11
II	15
III	20
IV	25
V	35
VI	48
VII	65
VIII	82
IX	110
X	125
XI	137

**Tabela 11:** Vazões de Projeto por trecho do canal retilíneo artificial do rio Baquirivu-Guaçu. Fonte : DAEE (1975). **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

Parâmetros Hidráulicos do Canal Artificial o do rio Baquirivu-Guaçu *DAEE, 1975)											
Trecho do Canal*/Parâmetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Comprimento Total (em m)	4550	3830	6450	2230	4850	2890	1100	1230	750	210	452
Área da Seção Molhada (m2)	42	37	32	25	19	14	9	7	5,7	3,7	2,8
Declividade da Seção (m/m)	0,00106	0,00124	0,0014	0,0016	0,00196	0,00234	0,00422	0,004	0,0041	0,00795	0,00967
Velocidade Média na Seção (Q/s)	3,26	3,39	3,48	3,33	3,47	3,38	3,95	3,52	3,49	4,01	3,99

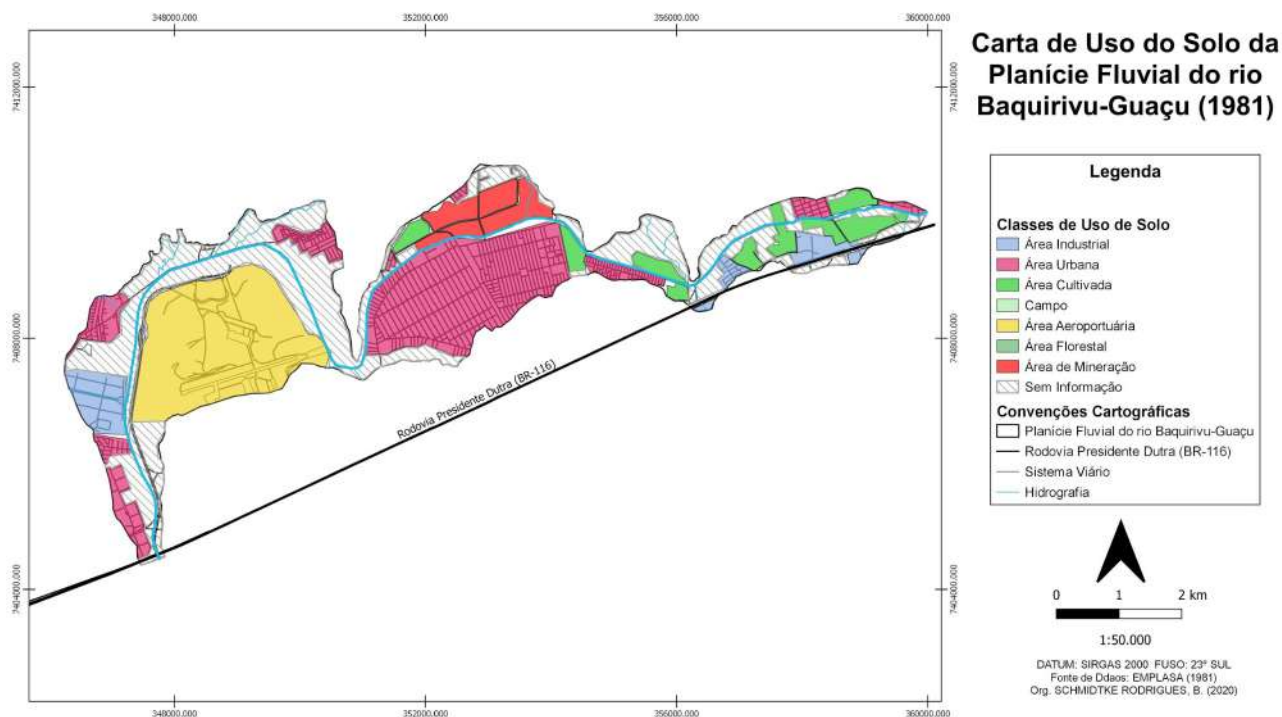
**Tabela 12:** Parâmetros hidráulicos estabelecidos para o canal artificial do rio Baquirivu-Guaçu. Fonte: DAEE (1975). **Org.** SCHMIDTKE, RODRIGUES, B. (2021)

\*trecho segundo DAEE, 1975

Após a canalização realizada pelo DAEE, ocorreram outras obras hidráulicas no canal fluvial do rio Baquirivu-Guaçu, no entanto, com caráter pontual. Na década de 1990 ocorreu a redução da extensão do canal do rio Baquirivu-Guaçu na área do Aeroporto Internacional de São Paulo, via construção de um trecho de canal artificial no limite da área aeroportuária.

No âmbito dos subsistemas de planície de inundação e terraço fluvial ocorreu a ampliação da área aeroportuária, instalação de loteamentos urbanos e industriais, a construção de sistema viário e sistema de drenagem artificial. É possível, a partir da figura 19, reconhecer que em 1981 há significativa expressão de padrões de apropriação urbano na planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu, com áreas de urbanas, industriais e aeroportuária, embora com presença também de mineração e agricultura. Em comparação com o cenário de 1962, verifica-se um aumento de área de apropriação e uso urbano, o que indica mudanças hidromorfológicas significativas nos subsistemas originais.

Neste cenário, a canalização do canal fluvial ativo original, as mudanças morfológicas, a remobilização ativa de materiais superficiais e a criação de descontinuidade espaciais entre morfologias originais e antropogênicas em função do padrão de apropriação urbana indicam mudanças significativas no regime de escoamento fluvial e nos processos de canal e dinâmica dos processos de extravasamento. O aumento de superfícies impermeabilizadas e com sistema de drenagem artificial e arruamentos também indicam aumento da tendência de produção de escoamento superficial. A tabela 13 indica em detalhe os efeitos hidromorfológicos dos padrões de apropriação e uso do solo identificado em 1981.



**Figura 19:** Carta de Uso do Solo da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu (1981). **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

Uso do solo e efeitos hidromorfológicos na planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período de perturbação ativa (1981)				
Padrão de apropriação	Uso do solo	Tipos de perturbação		Efeitos hidromorfológicos
		Morfologia	Materiais superficiais	
Urbano-industrial	Área aeroportuária	Supressão de área de planície de inundação e terraço fluvial, com aumento local de altitudes e mudanças de declive antropogênico. Construção de arruamentos e edificações.	Aterros com materiais antropogênicos diversos de espessura variável	Redução da capacidade de amortecimento de cheias e aumento das taxas de produção de escoamento superficial. Nas áreas de descontinuidade entre os aterros e as áreas de planície de inundação original, pode ocorrer a redução da dispersão dos fluxos de extravasamento e produção de aumentos locais das cotas de inundação
	Área urbana	Supressão de área de planície de inundação e terraço fluvial,	Aterros com materiais	Redução da capacidade de

		com aumento local de altitudes e mudanças de declive antropogênico. Construção de arruamentos densos e edificações.	antropogênicos diversos de espessura variável e impermeabilização da superfície	amortecimento de cheias e aumento das taxas de produção de escoamento superficial. Nas áreas de descontinuidade entre os aterros e as áreas de planície de inundação original e entre edificações pode ocorrer a redução da dispersão dos fluxos de extravasamento e produção de aumentos locais das cotas de inundação
	Área industrial	Supressão de área de planície de inundação e terraço fluvial, com aumento local de altitudes e mudanças de declive antropogênico. Construção de arruamentos e galpões.	Aterros com materiais antropogênicos diversos de espessura variável e impermeabilização da superfície	Redução da capacidade de amortecimento de cheias e aumento das taxas de produção de escoamento superficial. Nas áreas de descontinuidade entre os aterros e as áreas de planície de inundação original e entre edificações pode ocorrer a redução da dispersão dos fluxos de extravasamento e produção de aumentos locais das cotas de inundação
Mineração	Área de mineração	Supressão de área de planície de inundação com criação de depressões localizadas pela perda de materiais	Retirada de materiais originais de níveis de planícies de inundação	-----
Agrícola	Área agrícola	Supressão de áreas de planície de inundação e terraços fluviais	Remobilização de componente superficiais do solo	Favorecimento de processos de infiltração..

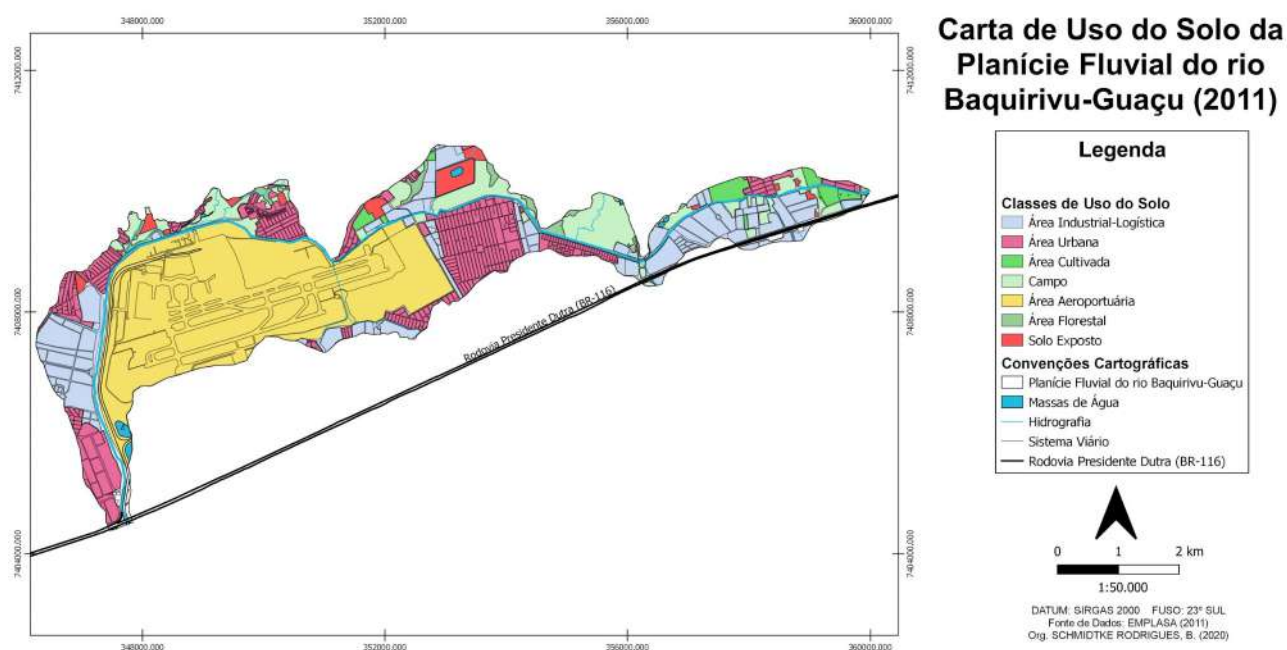
**Tabela 13:** Relação de padrões de apropriação, uso do solo e efeitos hidromorfológicos: período de perturbação ativa (1981). **ORG.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

### 5.2.3 Período de pós-perturbação

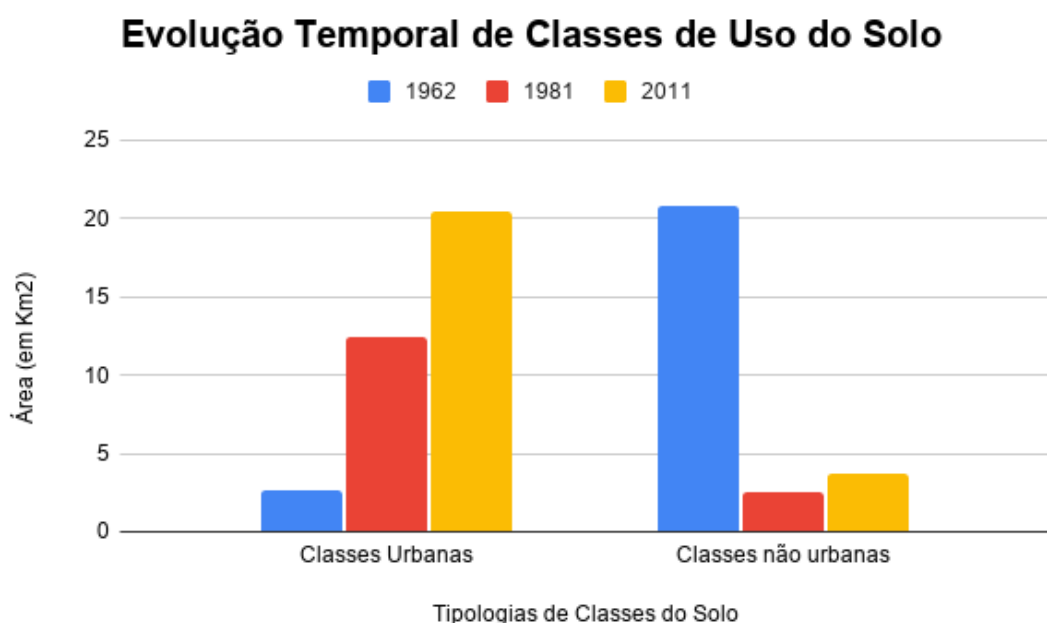
O período pós-perturbação abrange a fase do padrão de apropriação urbana consolidado no sistema geomorfológico da planície do rio Baquirivu-Guaçu. Neste sentido, verifica-se a generalização espacial de padrões de apropriação urbano-industrial e usos do solo correlatos no

cenário representativo desse período (2011), conforme a figura 21. Comparando a área total de área de classes de uso urbano entre 1981 e 2011 foi de cerca de 64,5%, e na comparação dos cenários de 1962 e 2011 ocorreu um aumento de cerca de 684% das áreas de classes urbanas. Por outro lado, observa-se uma redução expressiva dos usos não urbanos entre os cenários de 1962 e 2011, em uma virada de usos do solo dominantes, conforme a figura 22.

No âmbito hidromorfológico, este período apresenta o predomínio de materiais superficiais perturbados e morfologias antropogênicas vinculadas ao padrão de apropriação urbano-industrial sobre os subsistemas planície de inundação e terraço fluvial e canal fluvial ativo retificado. As tendências espaciais de processos, por conseguinte, apresentam significativas relações com as intervenções antropogênicas. A tabela 14 sistematiza a correlação entre padrão apropriação, usos do solo, tipos de perturbação e efeitos hidromorfológicos identificados no cenário de 2011.



**Figura 20:** Carta de Uso do Solo da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu (2011). **Org. SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)**



**Figura 21:** Gráfico evolutivo da área total de tipologias de classe de uso do solo no período entre 1962 e 2011. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

Uso do solo e efeitos hidromorfológicos na planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período de pós-perturbação (2011)				
Padrão de apropriação	Uso do solo	Tipos de perturbação		Efeitos hidromorfológicos
		Morfologia	Materiais superficiais	
Urbano-industrial	Área urbana	Supressão de área de planície de inundação e terraço fluvial, com aumento local de altitudes e mudanças de declive antropogênico. Construção de arruamentos e edificações.	Aterros com materiais antropogênicos diversos de espessura variável	Redução da capacidade de amortecimento de cheias e aumento das taxas de produção de escoamento superficial. Nas áreas de descontinuidade entre os aterros e as áreas de planície de inundação original, pode ocorrer a redução da dispersão dos fluxos de extravasamento e produção de aumentos locais das cotas de inundação
	Área industrial	Supressão de área de planície de inundação e terraço fluvial, com aumento local de altitudes e mudanças de declive	Aterros com materiais antropogênicos diversos de espessura variável e impermeabilização da superfície	Redução da capacidade de amortecimento de cheias e aumento das taxas de produção de escoamento superficial. Nas áreas de

		antropogênico. Construção de arruamentos densos e edificações.		descontinuidade entre os aterros e as áreas de planície de inundação original e entre edificações pode ocorrer a redução da dispersão dos fluxos de extravasamento e produção de aumentos locais das cotas de inundação
	Área aeroportuária	Supressão de área de planície de inundação e terraço fluvial, com aumento local de altitudes e mudanças de declive antropogênico. Construção de arruamentos e galpões.	Aterros com materiais antropogênicos diversos de espessura variável e impermeabilização da superfície	Redução da capacidade de amortecimento de cheias e aumento das taxas de produção de escoamento superficial. Nas áreas de descontinuidade entre os aterros e as áreas de planície de inundação original e entre edificações pode ocorrer a redução da dispersão dos fluxos de extravasamento e produção de aumentos locais das cotas de inundação
Agrícola	Área cultivada	Supressão de áreas de planície de inundação e terraços fluviais	Remobilização de componente superficiais do solo	Favorecimento de processos de infiltração.
Solo exposto	Solo exposto	Supressão de áreas de planície de inundação e terraços fluviais	Retirada de vegetação e componentes superficiais do solo	Redução da capacidade de infiltração e aumento das taxas de escoamento superficial, com possibilidade de geração de processos erosivos.

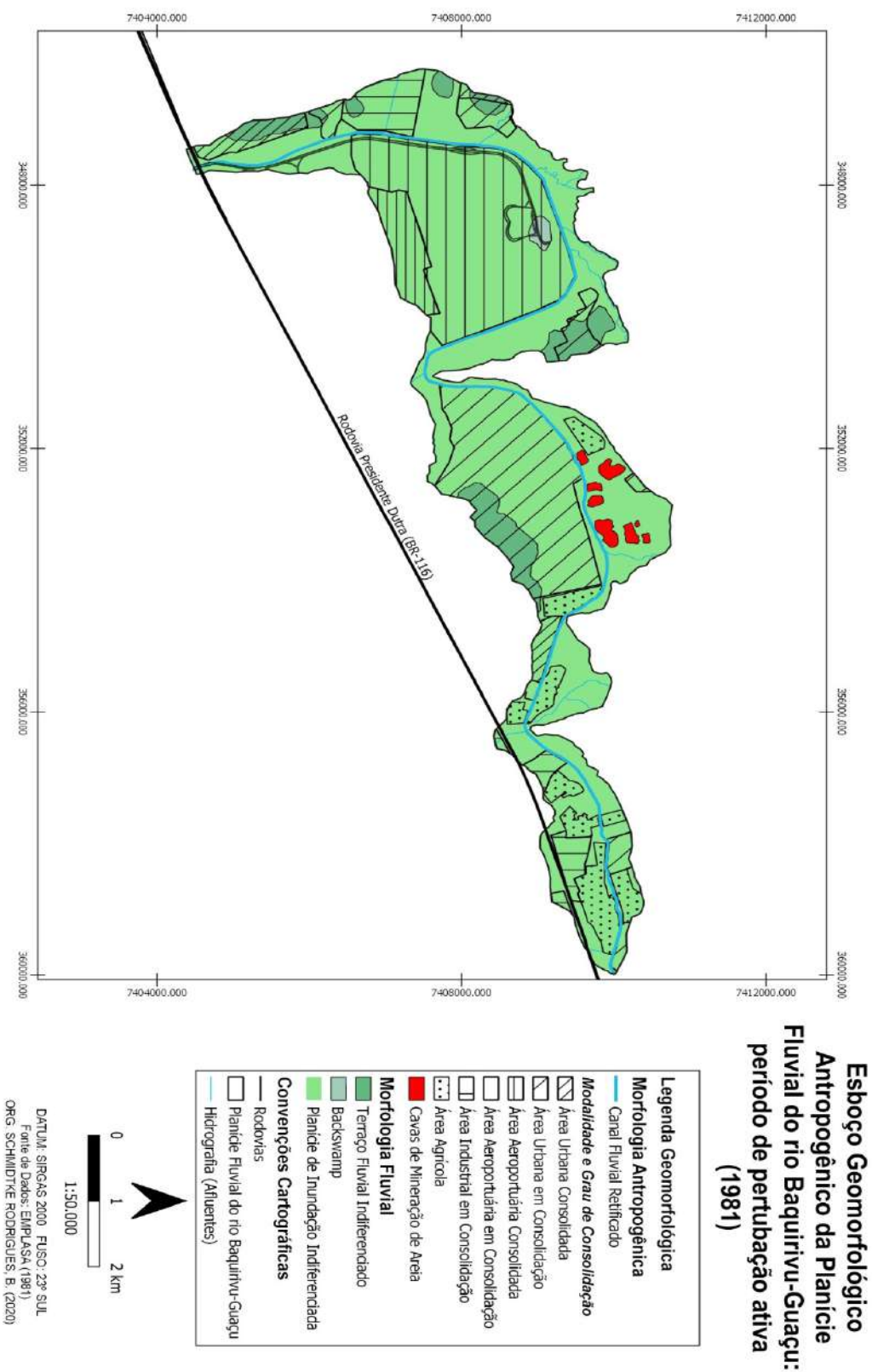
**Tabela 14:** Relação de padrões de apropriação, uso do solo e efeitos hidromorfológicos: período de pós-pertubação (2011). **ORG.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)
















### **5.3 Mudanças Antropogênicas: formas, materiais e tendências de processos**

#### **5.3.1 Descrições da morfologia antropogênica**

A partir dos esboços geomorfológicos antropogênicos dos cenários de 1981 (Figura 23 e Tabela 15) e 2011 (Figura 24 e Tabela 16) e da correlação de dados morfométricos são descritos a morfologia antropogênica desenvolvida sobre os subsistemas originais da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu nos períodos de perturbação ativa e pós-perturbação.

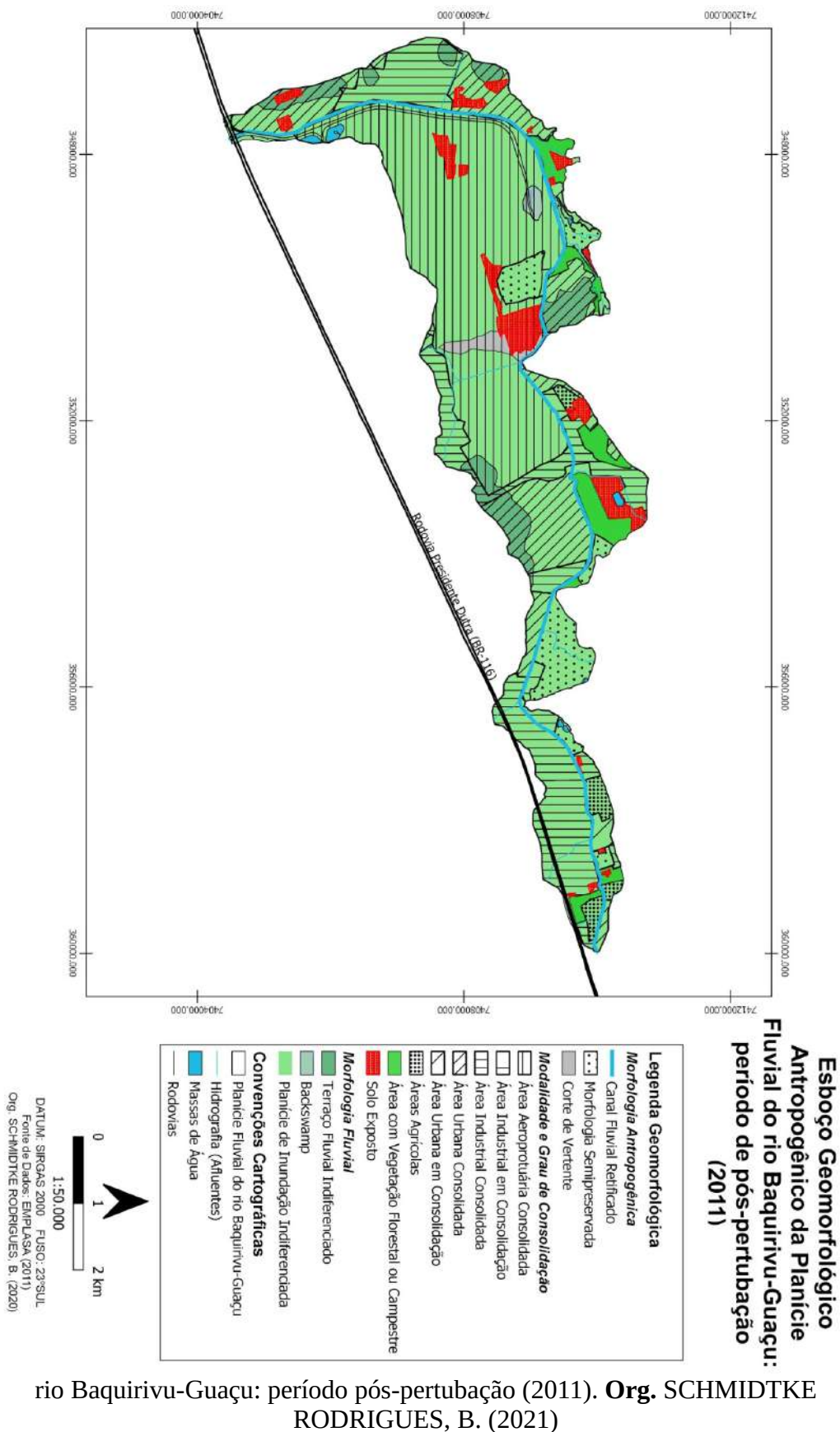


**Figura 22:** Esboço Geomorfológico Antropogênico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período perturbação ativa (1981). **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)


Legenda do Esboço Geomorfológico Antropogênico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: Cenário de Perturbação Ativa (1981)					
Sistema Geomorfológico	Sub-Sistema Original	Morfologia Original	Morfologia Antropogênica	Morfologia e Morfometria	Tendências de Processos Hidromorfodinâmicos
Planície Fluvial Meandrica do rio Baquirivu-Guaçu	Canal Fluvial	Canal Fluvial Ativo		Canal Retificado com índices de Sinuosidade (S) que variam entre 1,1 e 1,6.	Fluxos hidráulicos de alta competência com tendência a erosão das margens, soloapamento e assoreamento.
		Planície de Inundação Indiferenciada	Canal Fluvial Retificado		Superfícies impermeabilizadas com alta densidade de arruamentos e edificações com sistema de drenagem artificial. Altitudes variam entre 730 e 770 metros com declividades entre 0% e 2%. Podem ocorrer variações de altitude e declividade em função de aterros de material antropogênico.
	Área Urbana Consolidada				
	Área Aeroportuária Consolidada				
	Área Urbana em Consolidação			Superfícies em processo de impermeabilização com densidade de arruamento e edificações variáveis com processo de instalação de sistemas de drenagem artificial. Altitudes variam entre 730 e 770 com declividades entre 0% e 2%. Podem ocorrer variações de altitude e declividade em função de aterros com material antropogênico.	Tendência a geração de escoamento superficial, processos erosivos lineares e ocorrência pontual de inundação.
	Área Industrial em Consolidação				
	Área Aeroportuária em Consolidação			Superfícies com presença de vegetação com altitudes que variam entre 730 e 770 metros com declividades entre 0 e 2%.	Tendência à infiltração pela presença de vegetação
	Área Agrícola			Superfícies cavadas com materiais originais removidos e profundidades variáveis entre 2 e 5 metros, geralmente abaixo dos 730 metros de altitude.	
	Cavas de Mineração de Areia				
	Área Aeroportuária em Consolidação		Superfícies em processo de impermeabilização com densidade de arruamentos e edificações variáveis com processo de instalação de sistema de drenagem artificial. Presenciam baixas declividades e altitudes abaixo dos 730 metros. Podem ocorrer variações de altitude e declividade em função de aterros com material antropogênico.	Tendência a geração de escoamento superficial, processos erosivos lineares e ocorrência pontual de inundação.	
	Backswamp				
Terrapço Fluvial Indiferenciado	Terrapço Fluvial Indiferenciado	Área Urbana em Consolidação		Superfícies impermeabilizadas com alta densidade de arruamentos e edificações com sistema de drenagem artificial. Altitudes variam entre 750 e 760 metros e declividade variam de 2% a 5%. Podem ocorrer variações de declividade e altitude em função de aterros com material antropogênico.	Tendência a geração de escoamento superficial.
		Área Urbana em Consolidação			
		Área Industrial em Consolidação		Superfícies em processo de impermeabilização com densidade de arruamento e edificações variáveis com instalação de sistemas de drenagem artificial. Altitudes variam entre 750 e 760 com declividades entre 2% e 5%. Podem ocorrer variações de declividade em função de aterros com material antropogênico.	Tendência a geração de escoamento superficial e processos erosivos lineares.

**Tabela 15:** Legenda do Esboço Geomorfológico Antropogênico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período perturbação ativa (1981). **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

Figura 23: Esboço Geomorfológico Antropogênico da Planície Fluvial do



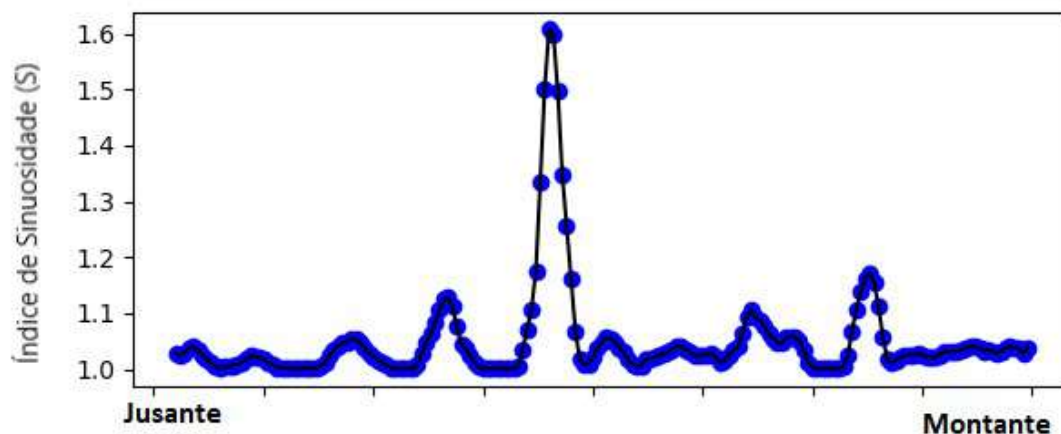
rio Baquirivu-Guaçu: período pós-perturbação (2011). Org. SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

Legenda do Esboço Geomorfológico Antropogênico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu						
Sistema Geomorfológico	Sub-sistema Original	Morfologia Original	Morfologia Antropogênica		Morfografia e Morfometria	Tendências de Processos Hidromorfodinâmicos
Planície Fluvial Meandrada do rio Baquirivu-Guaçu	Canal Fluvial	Canal Fluvial Ativo	Canal Fluvial Retificado		Canal Retilíneo com índices de Sinuosidade (S) que varia entre 1,1 e 1,3.	Tendências de Processos Hidromorfodinâmicos Fluxos hidráulicos de alta competência com tendência a erosão das margens, soloapamento e assoreamento.
					Superfícies impermeabilizadas com alta densidade de arruamentos e edificações com sistema de drenagem artificial. Altitudes variam entre 730 e 770 metros e declividades de 0% a 2%. Podem ocorrer variações de altitude e declividade em função de aterros com material antropogênico.	Tendência a geração de escoamento superficial e ocorrência pontual de inundação.
						
						
					Superfícies em processo de impermeabilização com densidade de arruamento e edificações variáveis com processo de instalação de sistemas de drenagem artificial. Altitudes variam entre 730 e 770 com declividades entre 0% e 2%. Podem ocorrer variações de altitude e declividade em função de aterros com material antropogênico.	Tendência a geração de escoamento superficial, processos erosivos lineares e ocorrência pontual de inundação.
			Planície de Inundação Indiferenciada			
					Superfícies com presença de vegetação cultivadas em campos com altitudes que variam entre 720 e 760 metros com declividades entre 0 e 2%.	Tendência à infiltração pela presença de vegetação.
					Superfícies com remanescentes vegetais, não necessariamente com características morfológicas originais preservadas com altitudes entre 730 e 770 metros com declividades entre 0% e 2%.	Tendência à infiltração pela presença de vegetação.
					Superfícies com materiais superficiais expostos com altitude que variam entre 730 e 770 metros com declividades entre 0% e 2%.	Tendência a geração de escoamento superficial e processos erosivos lineares.
					Superfícies impermeabilizadas com alta densidade de arruamentos e edificações com sistema de drenagem artificial. Predominam baixas declividades e altitudes abaixo de 730 metros. Podem ocorrer variações de altitude e declividade em função de aterros com material antropogênico.	Tendência a geração de escoamento superficial e ocorrência pontual de inundação.
			Baixoswamp			
						
					Superfícies impermeabilizadas com alta densidade de arruamentos e edificações com sistema de drenagem artificial. Altitudes variam entre 750 e 760 metros e declividade variam de 2% a 5%. Podem ocorrer variações de altitude e declividade em função de aterros com material antropogênico.	Tendência a geração de escoamento superficial.
			Terraço Fluvial			
			Terraço Fluvial Indiferenciado			
						

**Tabela 16:** Legenda do Esboço Geomorfológico Antropogênico da Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu: período pós-pertubação (2011). **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

No cenário antropogênico em perturbação ativa (1981) o canal fluvial ativo do rio Baquirivu-Guaçu apresentava morfologia predominantemente retilínea com sinuosidade máxima de 1,6 (figura 25) e extensão total de cerca de 20,37, com declividade média de 2,6m/Km. A partir do perfil longitudinal do canal fluvial ativo em 1981 (Figura 26) é possível verificar o aumento de declividade por trecho ao longo do médio e baixo em curso em relação ao perfil original.

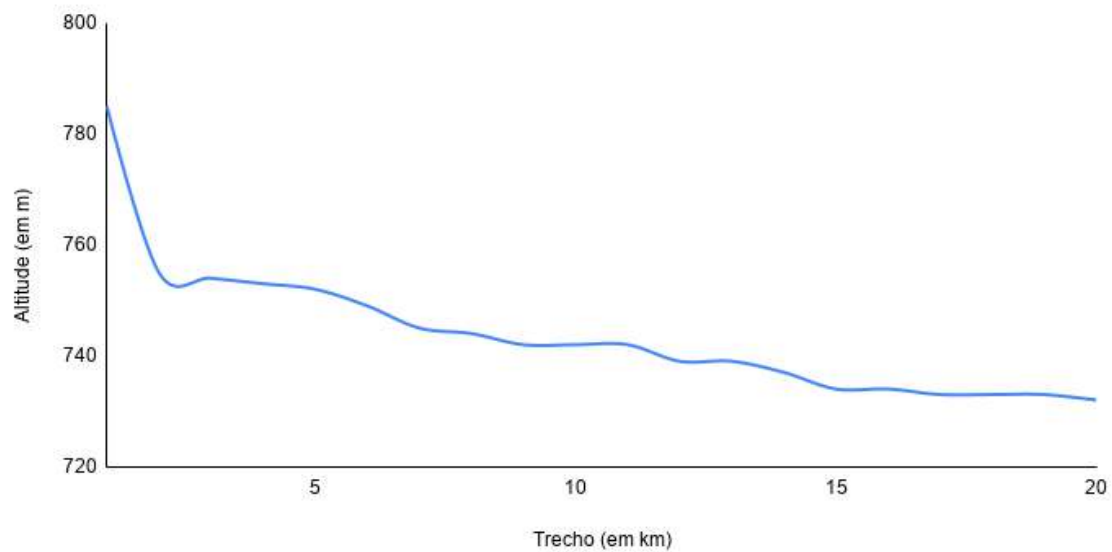
No âmbito dos subsistemas planícies de inundação e terraço fluvial verifica-se morfologias antropogênicas vinculadas ao padrão de apropriação urbano (área urbana, área industrial e área aeroportuária) predominantemente em estágio de consolidação. Em tais morfologias, são observados arruamentos com graus intermediários de impermeabilização e densidade variável de edificações, com descontinuidades morfológicas entre áreas impermeabilizadas e não impermeabilizadas. Observa-se também morfologias antropogênicas de cava de mineração de areia e áreas agrícolas., além de trechos com morfologia original.



**Figura 24:** Perfil de Sinuosidade do Canal Fluvial Retificado do rio Baquirivu-Guaçu em 1981. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)



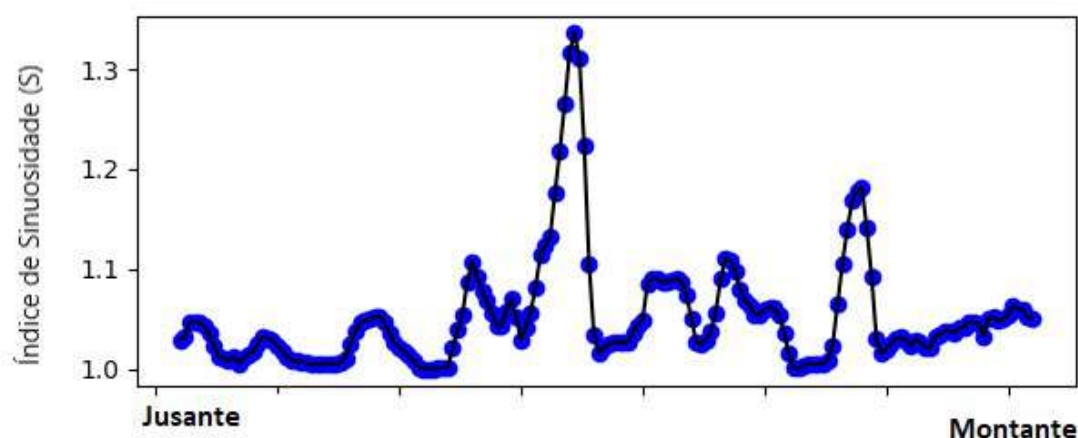
### Perfil Longitudinal do Canal Fluvial Antropogênico do rio Baquirivu-Guaçu (1981)



**Figura 25:** Perfil Longitudinal do rio Baquirivu-Guaçu em 1981. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

No cenário antropogênico de pós-perturbação (2011) verifica-se que o canal apresentou novamente uma redução de extensão total, apresentando cerca de 18,5 Km, com morfologia retilínea e sinuosidade máxima de 1,3 (figura 26) e declividade média de 2,8m/Km. Verifica-se a partir do perfil longitudinal do canal fluvial ativo em 2011 (figura 27) o aumento de declividade em comparação ao canal original e ao cenário de 1981 nos trechos médio e baixo, o que indica aumento de declividade total do canal.

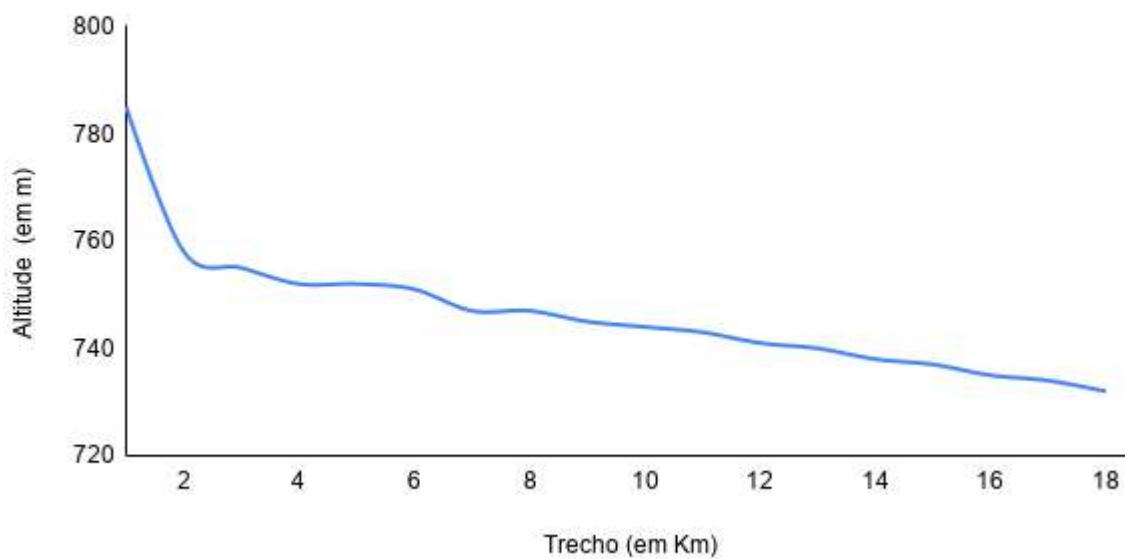
Nos subsistemas planície de inundação e terraço fluvial identificou-se o predomínio de morfologias antropogênicas vinculadas ao padrão urbano de apropriação em estágio consolidado, onde são observados alta densidade de edificações e arruamentos impermeabilizados e sistemas de drenagem artificial com volume de aterro variáveis. Observou-se também morfologias antropogênicas de solo exposto e área e fragmentos isolados de morfologia semi-preserveda de planície de inundação (Figura 29).



**Figura 26:** Perfil de Sinuosidade do Canal Fluvial Retificado do rio Baquirivu-Guaçu em 2011. Org. SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)



### Perfil Longitudinal do Canal Fluvial Antropogênico do rio Baquirivu-Guaçu (2011)



**Figura 27:** Perfil Longitudinal do rio Baquirivu-Guaçu em 2011. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)



**Figura 28:** Trecho semi-preservedo de morfologia de planície de inundação indiferenciada. **Fonte:** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

### 5.3.2 Mudanças nas formas e materiais superficiais e tendências espaciais de processos hidrogeomorfológicos

#### 5.3.2.1 Subsistema canal fluvial

A partir dos geoindicadores morfológicos de canal fluvial (tabela 17) nos 49 anos de urbanização monitorados na área de estudo verifica-se mudanças no padrão de canal de meândrico para retilíneo, com mudanças em parâmetros morfométricos significativos: redução dos índices de sinuosidade, aumento da declividade, redução da extensão total e redefinição da capacidade e geometria hidráulica (tabelas 10, 11 e 12) de canal pelas obras de canalização.

Geoindicadores: Canal Fluvial					
Parâmetro	1962	1981	2011	Variação Absoluta	Variação Relativa
Padrão de Canal	Meândrico/Sinuoso	Retilíneo	Retilíneo	-----	-----
Declividade (m/Km)	1,8	2,6	2,8	+1 m/Km	+56%
Comprimento Total (em Km)	29,05	20,37	18,5	-10,55 Km	-36,31%

**Tabela 17:** Comparação temporal de parâmetros de geoindicadores de canal fluvial. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

Os parâmetros dos geoindicadores presentes na tabela 17 apontam que as intervenções hidráulicas redefiniram as variáveis chaves do comportamento hidromorfodinâmico do canal fluvial, das quais destaca-se a sinuosidade, declividade e capacidade. Magalhães Jr. et. al.(2020) indicam que tais variáveis influenciam diretamente no balanço entre vazão e aceleração gravitacional, que por sua vez, se relacionam diretamente a velocidade de escoamento do fluxo fluvial e a ocorrência dos processos fluviais de canal.

O aumento da capacidade de canal redefiniu o limiar de margens plenas e ampliou a vazão máxima do canal fluvial ativo do rio Baquirivu-Guaçu. A redução da sinuosidade e aumento de declividade, por sua vez, favorecem a atuação da aceleração gravitacional sobre o fluxo fluvial, o que implica em aumento das velocidades do fluxo. Além do balanço entre vazão e velocidade, a mudança observada no geo indicador de padrão de canal sinaliza que as tendências espaciais de processos do canal original, relativamente bem definida entre erosão na margem côncava e deposição na margem convexa, também apresentaram modificações.

Portanto, a partir dos referenciais em geomorfologia fluvial (Christofolletti 1980, 1981; Knighton 1996, Stevaux e Latrubesse 2017 entre outros) e das mudanças morfológicas evidenciadas pelos geoindicadores de canal é possível interpretar efeitos nas tendências hidromorfodinâmicas do canal fluvial ativo: em vazões de maior magnitude, em função da concentração de água em altas

velocidades, há tendência de erosão via ação mecânica do fluxo fluvial de material das margens do canal, principalmente de áreas e/ou camadas mais friáveis, considerando as diferenças de propriedades (granulometria, coerência interna etc) entre os materiais que compõem as margens do canal, tanto originais (relacionados a sedimentação nas antigas planícies de inundação) quanto antropogênicos (aterros). A erosão mecânica pode ocasionar também o solapamento das margens do canal antropogênico, ampliando a largura de alguns setores do canal, como na figura 29, sobretudo quando o material mais friável localiza-se abaixo de camadas mais resistentes.



**Figura 29:** Solapamento na margem do canal fluvial antropogênico do rio Baquirivu-Guaçu no trecho da rua Jamil João Zarif, com indicação de ampliação da largura do canal. **Fonte:** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

As tendências de processos de sedimentação no canal também apresentam mudanças em relação ao canal original: em função da concentração de sedimentos no canal antropogênico, ocorre a formação de depósitos sedimentares (como barras centrais e laterais) em setores do canal com redução das velocidades do fluxo fluvial e durante os episódios de vazões de menor magnitude.

As tendências de processos de transporte fluvial, em função das mudanças morfológicas, também apresentam indicativos de mudança. O incremento de volume de água e velocidades do fluxo fluvial implicam em possíveis ampliação da capacidade e competência de transporte fluvial, que possibilitam a movimentação de maior quantidade de material durante vazões de maior



magnitude. Os tipos de materiais transportados pelo canal antropogênico também apresentam mudanças, uma vez que além dos materiais tipicamente fluviais (como argilas, areias e cascalhos), materiais de antropogênicos diversos (como plástico, resíduos de construção, madeira, esgoto etc) também passam a ser transportados pelo canal fluvial e também a compor os depósitos de canal, como mostra a figura 30.



**Figura 30:** Depósito sedimentar no canal fluvial antropogênico na Rua Jamil João Zarif. **Fonte:** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)

Considerando a variabilidade anual das vazões, os balanços e taxas espaço-temporais entre a formação de depósitos sedimentares e erosão e ampliação das margens do canal antropogênico indicam uma possível forma de ajuste dinâmico entre forma e processo (vazão/fluxo fluvial), que conforme Gurnell et. al. (2007) é um comportamento típico de rios canalizados.

Outro aspecto importante a ser considerado na avaliação das mudanças no âmbito do subsistema de canal fluvial são os limiares de conectividade (fluxo de matéria, energia e relações com comunidades bióticas) entre o canal fluvial ativo e o subsistema de planície de inundação. Neste aspecto, a partir da redefinição da capacidade do canal a partir das vazões de projeto, o limiar de margens plenas foi possivelmente ampliado, embora não existam dados fluviométricos anteriores às intervenções antrópicas suficientes para realizar esse dimensionamento de forma precisa.

Portanto, a partir da canalização do canal, o fluxo de água e material sedimentar do canal para planícies de inundação foi potencialmente reduzido ao longo do ano hidrológico, considerando as capacidades estabelecidas por trecho.

### 5.3.2.2 Subsistema Planície de Inundação

No âmbito do subsistema planície de inundação, a partir do geoindicador de área total de planície de inundação (Tabela 18), verifica-se que entre 1962 e 2011 ocorreu a redução de 91,40% das áreas totais de planície de inundação. Por outro lado, a partir dos indicadores de materiais superficiais antropogênicos (Tabela 19) observa-se o aumento das superfícies impermeabilizadas e urbanas contínuas. No período monitorado, portanto, há uma relação entre o aumento de superfícies impermeabilizada e urbanizadas e a supressão de área de planície de inundação, conforme a figura 31.

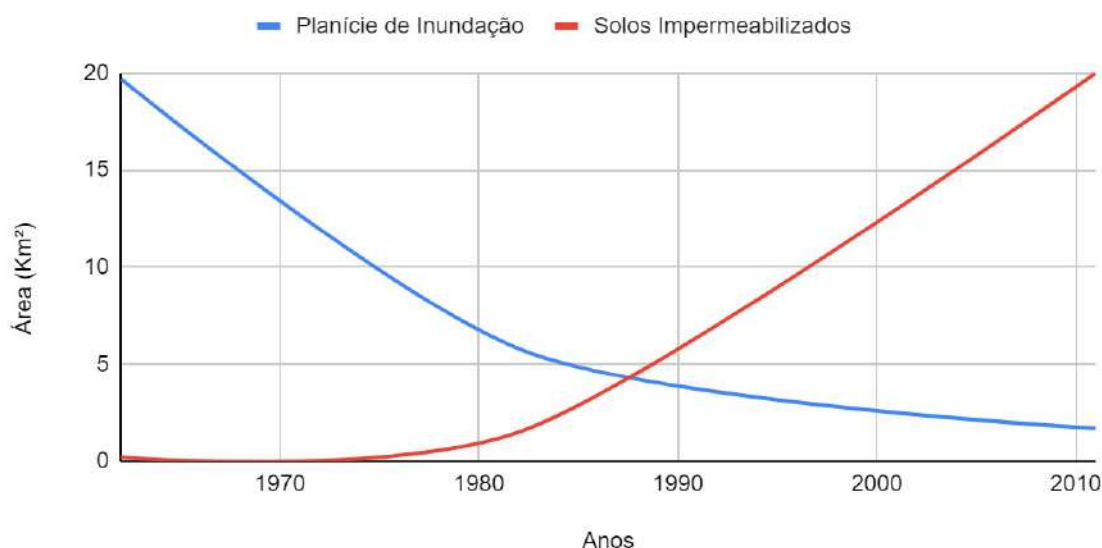
Geoindicadores: Planície de Inundação					
Parâmetro	1962	1981	2011	Variação Absoluta	Variação Relativa
Área Total (em Km <sup>2</sup> )	19,7	5,8	1,7	-18 Km <sup>2</sup>	-91,40%

**Tabela 18:** Comparação temporal de parâmetros de geoindicadores de planície de inundação. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

Geoindicadores: Materiais Superficiais Antropogênicos					
Parâmetro	1962	1981	2011	Variação Absoluta	Variação Relativa
Solos Impermeabilizados (em Km <sup>2</sup> )	0,2	1,5	20	+19,8 Km <sup>2</sup>	~+9800%
Áreas Urbanas Contínuas (em Km <sup>2</sup> )	0	0,7	4,4	+4,4 Km <sup>2</sup>	~+4200%

**Tabela 19:** Comparação temporal de parâmetros de geoindicadores de materiais superficiais antropogênicos. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

### Correlação temporal de indicadores: Planície de Inundação e Solos Impermeabilizados



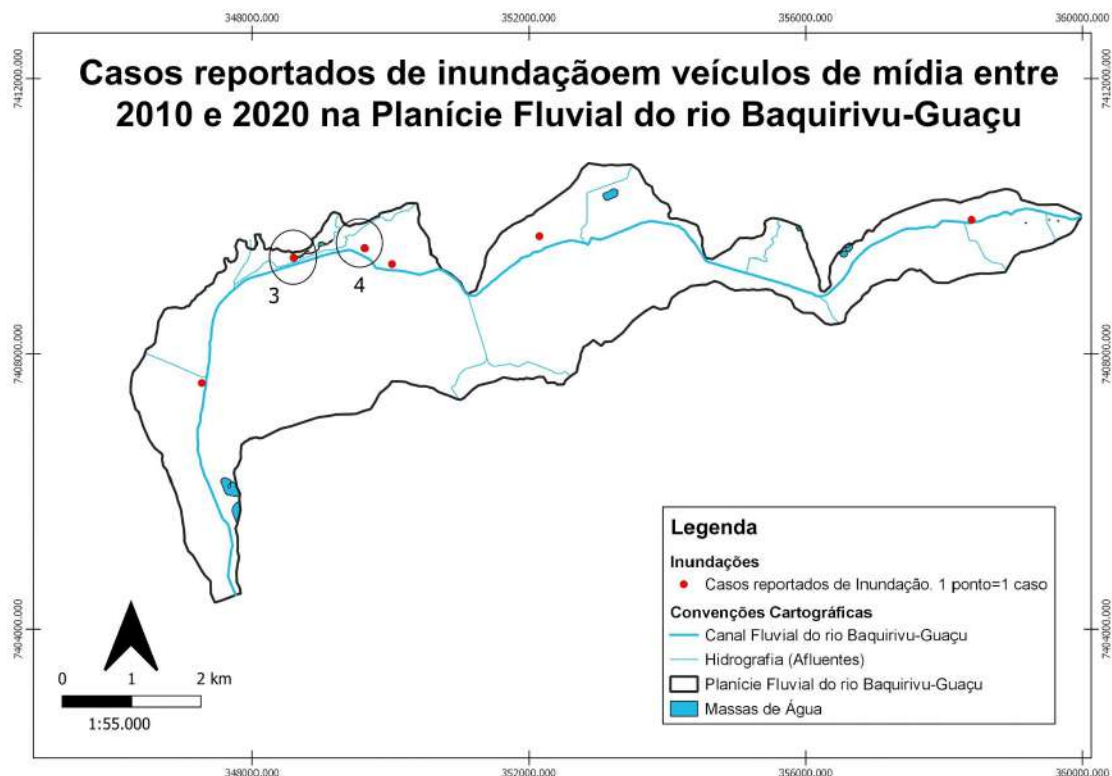
**Figura 31:** Gráfico correlativo do comportamento temporal de geoindicadores. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

A supressão de planícies de inundação vinculadas aumento expressivo de áreas impermeabilizadas e morfologias antropogênicas relacionadas ao padrão urbano de apropriação indica que, em termos de tendências espaciais de processos, ocorreu a redução da capacidade de amortecimento de cheias, correlação já indicada por Luz (2015), Rodrigues (2015) e e Rodrigues et. al. (2019). Neste sentido, há indicativos que a funcionalidade hidrológica das planícies de inundação em relação aos picos de cheia, ao longo do período de intervenção humana monitorado, foi reduzida significativamente. Os processos de sedimentação vinculados aos eventos de extravasamento também apresentaram redução significativa, implicando na concentração de sedimentos no canal fluvial ativo antropogênico.

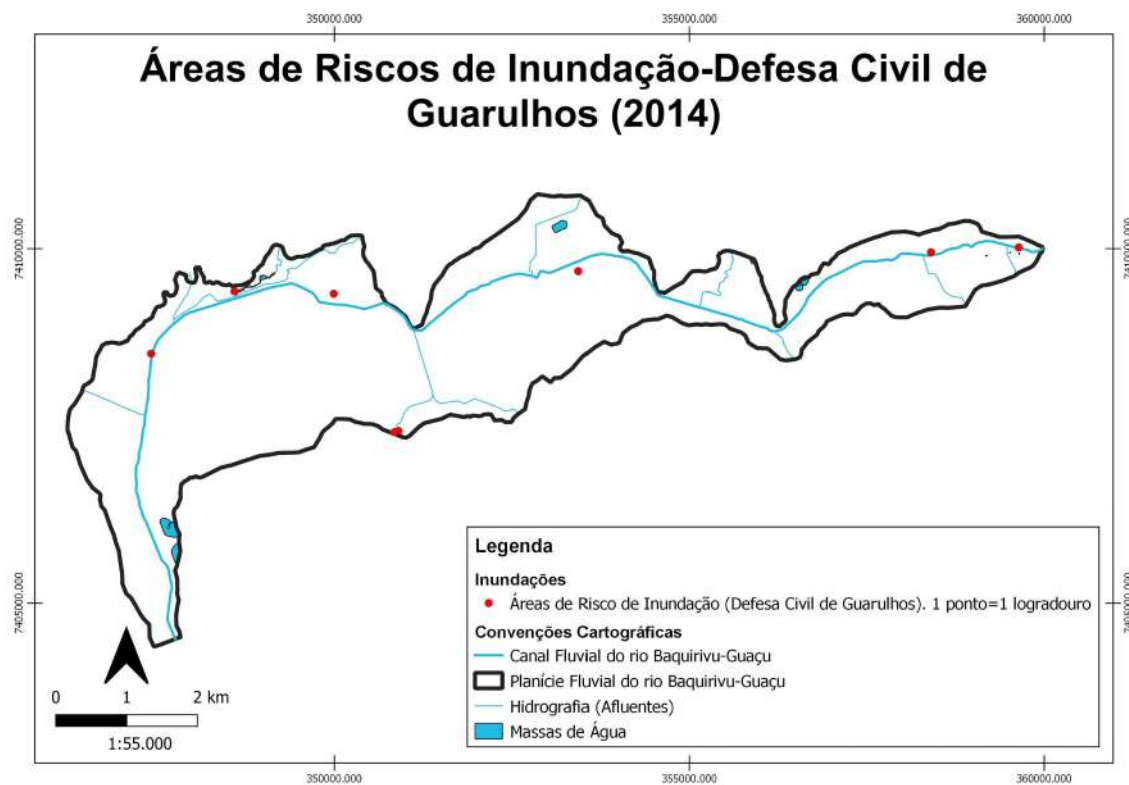
Considerados em conjunto, a redução da funcionalidade das planícies de inundação e as mudanças no comportamento hidromorfodinâmico do canal fluvial antropogênico indicam também potenciais mudanças nas tendências espaciais dos processos de inundação. A concentração do volume de água no canal fluvial fornecidos nos episódios de precipitação na bacia (anteriormente dispersadas nas planícies de inundação ao longo da extensão total do canal) transportado em altas velocidades tendem a concentrar os episódios de extravasamento em setores jusante da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu.

A partir da avaliação da espacialidade de casos reportados de inundação em veículos de mídia (figura 33) e localização dos logradouros considerados de risco para ocorrência

de inundação pela defesa civil de Guarulhos (figura 34) é possível observar a concentração em setores jusante na Planície do rio Baquirivu-Guaçu, embora ocorram casos reportados e logradouros considerados de risco em setores médios e montante da área. O mapa de densidade de Kernel dos casos reportados (figura 35) reforça a tendência de concentração de casos em setores a jusante, além de indicar medidas de influência pontual dos casos reportados de inundação em demais setores da área de estudo.

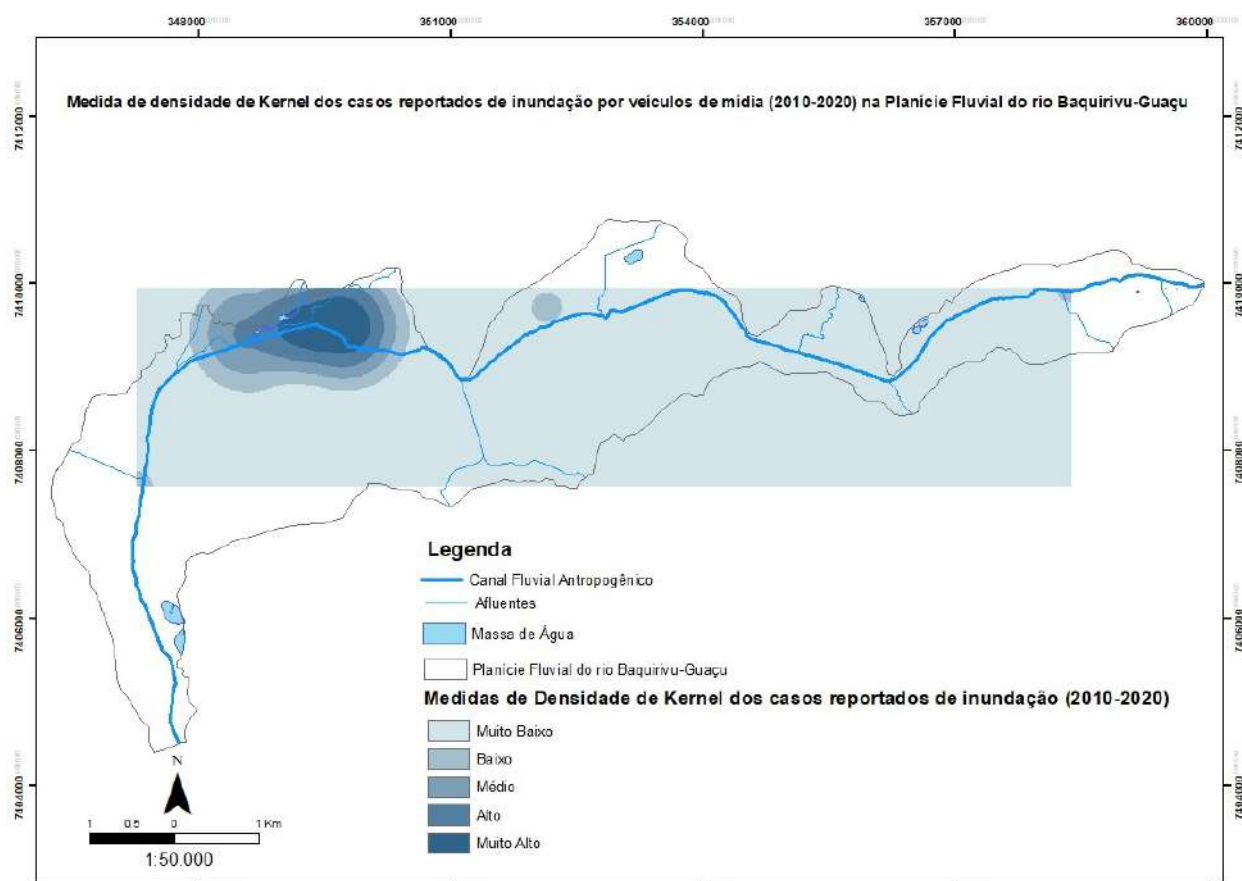


**Figura 32:** Mapa de casos reportados de inundação levantados em veículos de mídia entre 2010 e 2020 na Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)



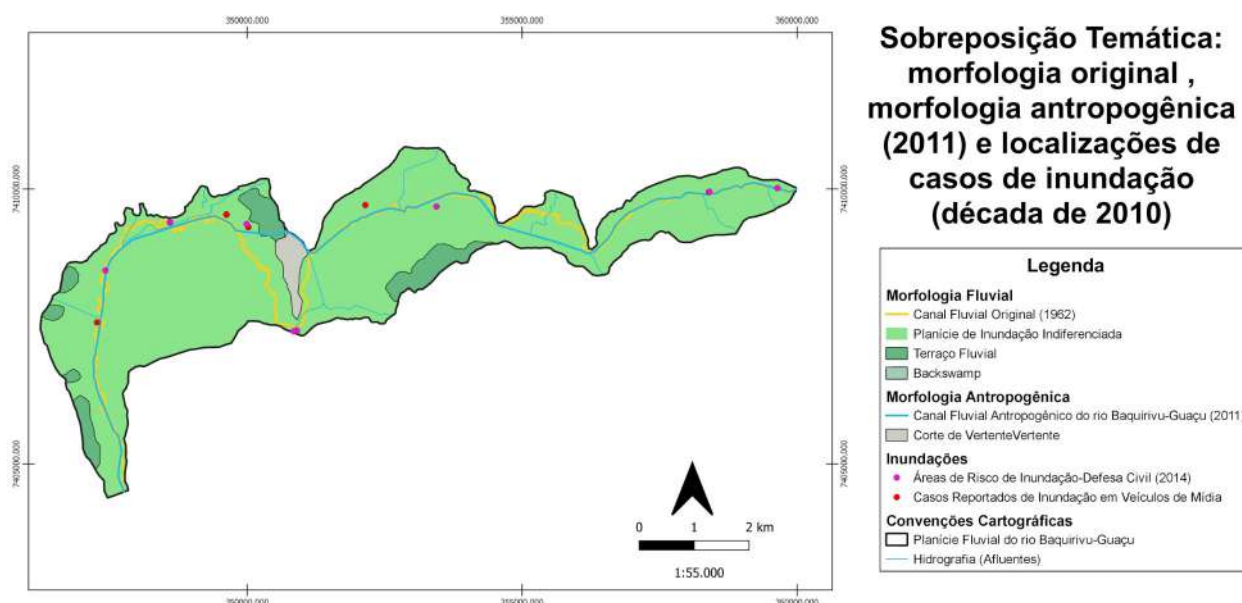
**Figura 33:** Mapas de Logradouros considerados de risco para ocorrência de inundações pela Defesa Civil de Guarulhos (2014). **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2020)





**Figura 34:** Mapa de densidade de Kernel dos casos reportados de inundação em veículos de mídia entre 2010 e 2020 na Planície Fluvial do rio Baquirivu-Guaçu. **ORG. SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)**

A partir da sobreposição de layers da morfologia original com o canal antropogênico e os casos reportados de inundação e áreas de risco (figura 36) verifica-se também que todas localizações coincidem com antigos setores de planície de inundação. Identifica-se também que a maior parte dos casos relatados no setor jusante localizam-se em setores de confluência de afluentes como o canal fluvial ativo do rio Baquirivu.



**Figura 35:** Sobreposição temática de layers: morfologia original, morfologia antropogênica e inundações. **Org.** SCHMIDTKE RODRIGUES, B. (2021)

Em função da limitação da série temporal de dados disponíveis, não é possível dimensionar e avaliar as mudanças nos padrões espaciais de eventos de inundação, porém, a partir das correlações da morfologia original e antropogênica e os dados anteriormente expostos é possível destacar dois indicativos significativos: as intervenções antropogênicas, sobretudo as obras hidráulicas no canal fluvial, não extinguiram a tendência de inundação nas planícies de inundação mas as reforçaram, embora que as mudanças hidromorfodinâmicas no âmbito do canal fluvial e planícies de inundação no cenário antropogênico atual indicam peso significativo sobre a localização setorial dos eventos de inundação ao longo do canal antropogênico rio Baquirivu.

É importante salientar a influência multiescalar da bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu, considerando os aspectos climáticos hidromorfológicos originais e antropogênicos, na ocorrência das inundações, sobretudo em aspectos como magnitude e frequência das vazões de pico. Trabalhos anteriores como o de Campos e Oliveira (2014) indicam, por exemplo, que a impermeabilização intensiva da bacia do rio Baquirivu-Guaçu é um importante fator na ocorrência de inundações na área de estudo, sobretudo em função do grande volume de água produzido em eventos de precipitação.

### **5.3.3 Dimensões de mudanças: escalas, magnitudes e efeitos no sistema hidrogeomorfológico da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu**

Considerando os geoindicadores de morfologia e materiais superficiais antropogênicos apresentados e discutidos anteriormente, é possível verificar que em cerca de meio século de urbanização monitorada na área de estudo as intervenções humanas vinculadas a urbanização causaram mudanças de alta magnitude nos subsistemas originais da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu. Tais mudanças afetaram parâmetros morfológicos e hidráulicos do canal fluvial, atributos da forma e materiais das planícies de inundação e implicaram em ajustes mútuos entre formas e processos considerando o princípio de ajuste mútuo entre forma e processo (Chorley 1962; Christofolletti, 1980).

Neste sentido, é possível reconhecer que no período monitorada, a ação humana afetou o conjunto de aspectos geomorfológicos (formas, materiais superficiais e tendências de processos) da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu. Conforme a proposta de Brundsen (1996) é possível, a partir dos geoindicadores e esboços geomorfológicos, reconhecer que a urbanização na área de estudo correspondeu a um evento geomorfológico instantâneo, no qual em um período de menor de 100 anos observa-se mudanças significativas nas tendências vinculadas ao trabalho geomorfológico da área de estudo.

A partir do escopo da teoria dos sistemas (Chorley, 1962; Christofolletti, 1980; Mattos e Perez Filho, 2010) é possível também interpretar que tais mudanças implicam também na circulação interna de matéria e energia da área de estudo, considerando, por exemplo, a redução da conectividade e dispersão de picos de vazão e material sedimentar a partir do canal fluvial nas planícies de inundação.

Portanto, é possível reconhecer o peso da variável antropogênica sobre o sistema da planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu a partir da década de 1970 como uma indutora de ajustes e mudanças importante. Na leitura de Peloggia (2019), pode se reconhecer também o peso da “agência humana”, que atua de modo ativo e intencional, sobre o sistema geomorfológico do rio Baquirivu-Guaçu de forma a exercer peso sobre a ocorrência, limiares e controle sobre os processos hidrogeomorfológicos e aspectos morfológicos a partir de intervenções diretas e indiretas (Goudie e Viles, 1997), seja na escala da própria Planície Fluvial como também da bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu.

## **5.4 Avaliação de geomorfologia aplicada: breves apontamentos**

A aplicação do conhecimento geomorfológico é, conforme Rodrigues (1997) um processo de adaptação do conhecimento produzido pela pesquisa geomorfológica para contextos

específicos tais como planejamento físico-territorial. Portanto, a geomorfologia aplicada inclui os produtos e conceitos da pesquisa básica e as interpretações e apropriações requeridas pelo campo de aplicação, e conforme Rodrigues (1997) implica em “se ir além” das questões da pesquisa básica. Neste sentido, neste item se apresenta breves indicações sobre as possibilidades e limitações da aplicação dos resultados obtidos em dois campos potenciais de aplicação: controle de riscos associados a inundação e restauração fluvial.

#### **5.4.1 Inundações**

Conforme Baker (1994) a geomorfologia é fundamental no reconhecimento e interpretação dos sinais e evidência da ocorrência de inundações, e neste sentido, é um dos conhecimentos base para a elaboração de estratégias de redução de danos e combate às inundações. Nesta perspectiva, as possibilidades de aplicação dos resultados obtidos se dão na interpretação dos fatores causais das inundações e na integração com avaliação de áreas de risco de inundação, sobretudo em função de identificação de áreas com maior susceptibilidade de ocorrência de inundações, principalmente em função do reconhecimento das morfologias (tanto originais quanto antropogênicas), dos materiais superficiais e tendências de processos associados.

O aspecto transdisciplinar e multiescalar das inundações demandaria, no entanto, os aprofundamentos e integração dos resultados e metodologia com abordagens de hidráulica, engenharia e urbanismo e com a escala da bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu. Portanto, a ampliação e detalhamento dos mapeamentos de morfologia original e antropogênica (considerando a escala da Planície Fluvial e Bacia Hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu) e a integração com modelos hidrológicos e hidráulicos (como realizados por Veneziani, 2014 e Simas, 2017) e a integração com metodologias de avaliação de risco são possibilidades de aplicações da abordagem metodológica e resultados obtidos na pesquisa na área de combate a inundações.

#### **5.4.2 Restauração fluvial**

A restauração fluvial, por sua vez, têm por objetivo, conforme Ollero Ojeda e Fabre (2007) permitir que sistemas fluviais que apresentam diferentes graus de perturbação antrópica voltem a apresentar e exercer funcionalidades hidrogeomorfológicas e ecológicas a partir de perspectivas temporais de médio e longo prazo. A inserção dos resultados obtidos na pesquisa para a restauração fluvial abrangeriam a escala de planície fluvial e poderiam abranger dois conjuntos de aplicação: o auxílio na definição de objetivos de restauração, as espacialidades potenciais e o monitoramento de resultados projetos:

- A magnitude e tipologia de mudanças morfológicas e em materiais superfícies, definidas pelos geoindicadores, podem ser utilizados na determinação do grau de perturbação no sistema fluvial, e a partir da integração com outros parâmetros (relacionados a qualidade de água, urbanização, rede sanitária, viabilidade técnica financeira etc) podem auxiliar a definir os objetos e métricas para a execução dos projeto de restauração, sobretudo no âmbito da qualidade e integridade “física” do sistema fluvial conforme indica Newson e Large (2006);
- As espacialidades potenciais, sobretudo, relacionados a identificação de áreas de planície de inundações passíveis de recuperação morfológica e funcionalidades hidromorfodinâmicas considerando a abordagem e resultados da cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva;
- A comparação temporal de parâmetros de geoindicadores morfológicos e de materiais superficiais e atualizações de esboços geomorfológicos a partir de rotinas de mapeamentos poderia compor o monitoramento dos resultados efetivos na qualidade física do sistema fluvial de projetos de restauração, no que Downs (2001) denomina de avaliação pós-projeto de restauração.

Essas inserções potenciais demandariam, no entanto, como no caso das inundações, integrações transdisciplinares e multiescalares, considerando as diferentes dimensões e aspectos da restauração que conforme Findaly e Taylor (2006) envolvem além da dimensão hidrogeomorfológica, aspectos sanitários, biológicos, de participação social, urbanísticos, políticos e de viabilidade técnico-econômica tanto na escala de bacia hidrográfica quanto de planície fluvial.

## 6 Conclusões

A partir dos resultados obtidos e discussões realizadas, considera-se que o trabalho alcançou o objetivo elencado, onde foi possível reconstituir e dimensionar o histórico de intervenções humanas na planície fluvial do rio Baquirivu-Guaçu, de forma a possibilitar a interpretação de efeitos hidromorfológicos nas tendências espaciais de processos. A partir dos geoindicadores empregados foi possível estabelecer verificar que a urbanização, nos últimos 50 anos, foi a indutora de mudanças nos atributos morfológicos e de materiais superficiais na área de estudo, com destaque para o padrão e morfometria do canal fluvial ativo do rio Baquirivu-Guaçu e áreas de planície de inundação e solos impermeabilizados.

Os resultados a partir dos geoindicadores aplicados se compatibilizam com os resultados de pesquisas desenvolvidas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e sistematizados em Rodrigues et. al. (2019) na qual se reconhecem mudanças de alta magnitude em atributos das formas materiais e processos de sistemas fluviais meândricos no processo de urbanização centenária na metrópole de São Paulo. Neste sentido, os resultados obtidos aqui reforçam os indicativos que no contexto das planícies e sistemas fluviais do alto Tietê, a urbanização do último século, foi o principal fator causal de mudanças geomorfológicas e impacto.

No entanto, se reconhece limitações no âmbito da avaliação das mudanças dos processos hidromorfodinâmicos. Assim, recomenda-se aprofundamentos em trabalhos futuros sobre a avaliação das mudanças nos processos hidromorfodinâmicos e sua correlação espaço-temporal com as mudanças morfológicas e em materiais superficiais, a partir do maior detalhamento dos esboços geomorfológicos, metodologias de avaliação de materiais e depósitos sedimentares, mensuração de taxas e balanços de processos erosivos, deposicionais e vazão fluvial, monitoramento de mudanças morfológicas posteriores no âmbito do canal por obras a partir dos parâmetros levantados no trabalho e modelagens hidráulicas (como executado em Veneziane, 2014 e Simas, 2017).

No âmbito específico da avaliação de tendências espaciais de processos de inundação, os aprofundamentos futuros recomendados se referem a avaliação das espacialidades dos relatos como forma de interpretar as mudanças antropogênicas na morfologia e materiais superficiais em planícies fluviais. Em função da ausência de dados de monitoramento hidrológico sistemático e da pandemia Covid-19, ocorreram limitações de acesso a arquivos físicos para levantamento de dados sobre a ocorrência de inundações. Sendo assim, não foi possível reunir conjunto de dados históricos abrangentes de toda a cronologia de intervenções antropogênicas. Portanto, para trabalhos futuros se recomenda:

- levantamento de dados históricos e monitoramento dos casos relatados de inundação desde o período de pré-intervenção (década de 1960) e execução de mapeamentos para avaliar as espacialidades em cada período e identificar possíveis mudanças e correlação com a morfologia antropogênica e intervenções humanas;
- a avaliação, a partir de base de dados mais abrangente, dos dois indicativos do padrão espacial dos casos de inundações na área de estudo no período pós-intervenção para identificar com maior precisão a relação entre morfologia antropogênica e inundações: concentração de ocorrência em setores de planície de inundação a jusante e em áreas de confluência de afluentes como canal fluvial ativo do rio Baquirivu;
- avaliação da densidade de Kernel como ferramenta auxiliar da investigação da espacialidade de casos de inundação em planícies fluviais.

As indicações de aplicação dos resultados da pesquisa embora breves, considerando o objetivo da pesquisa, mostraram-se significativos e recomenda-se, em trabalhos posteriores, avaliar de forma específica a aplicação dos resultados (devidamente aprofundados e revisados para cada fim) nas temáticas citadas.

## 7 Referências Bibliográficas

- AB'SÁBER. A. N. **Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo**. Tese (Doutorado). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1957.
- ALMEIDA, F. F. M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**. n. 51 p. 47-56, 1964.
- ANDRADE, M. R. M DE, **Cartografia de Aptidão para Assentamento Urbano do Município de Guarulhos**. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- ARNEDO, M. T. E. Cartografia Geomorfológica Temática y Aplicada. In: MONNÉ, J. L. P. (ed.). **Cartografia Geomorfológica Basica y Aplicada**. Logroño: Geoforma Ediciones SL, 1997.
- ATIQUE, F; BURATTINI, G; DIAS, M. Urbanização, transformações espaciais e pressupostos para a leitura patrimonial em Guarulhos. **Revista Do Museu De Arqueologia e Etnologia**, n. 26, p. 115-150, 2016. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/revmae/article/view/119018>> . Acesso em: 03 Jan 2020.
- BAKER, V. R. Geomorphological understanding of floods. **Geomorphology**. v. 10. p. 139-156, 1994. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0169555X94900132>>. Acesso em 24 Jul. 2020.
- BERGER, A. R. Assessing rapid environmental change using geoindicators. **Environmental Geology**. v. 32, p. 36-44, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs002540050191>. Acesso em: 21. Jun. 2021.
- BERGES, B. **Geomorfologia Urbana Histórica aplicada à análise das inundações na bacia hidrográfica do Córrego da Mooca-São Paulo/SP**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.



BOGUS, L. L. M.; VÉRAS, M. P. B. A reorganização metropolitana de São Paulo: espaços sociais no contexto da globalização. **Cadernos da Metrópole**. São Paulo, v. 2 n.3. p. 81-98, 2000. Disponível em: <<https://revistas.pucsp.br/index.php/metropole/article/view/9329>>.. Acesso em: 24 jan. 2021.

CAMPOS, D. C.; OLIVEIRA, A, M. S. O quadro tecnogênico das inundações do rio Baquirivunguaçu, Arujá e Guarulhos, SP. **Quaternary and Environmental Geosciences**. Curitiba, v.5, n.2. p. 93-102, 2014. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/35486>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

CHIN, A. Urban transformation of river landscapes in a global context. In: **37th Binghamton Geomorphology Symposium :The Human Role in Changing Fluvial Systems, 2006. Anais Eletrônicos**. Disponível em : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06002637>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Blucher, 2º ed 1980  
\_\_\_\_\_. **Geomorfologia Fluvial: Volume 1-O canal Fluvial**. São Paulo: Editora Blucher, 1981.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and General Systems Theory. **Geological Survey Professional Paper**. Washington, 1962.

COLTRINARI, L., McCALL, G. J. H. Geo-Indicadores: ciências da terra e mudanças ambientais. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo, v. 9, p. 5-11. 1995. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53687/57650>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

CUSTÓDIO, V. A **persistência das inundações na Grande São Paulo**. Tese (Doutorado). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.  
\_\_\_\_\_. **Escassez de água e inundações na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Humanitas/FAPESP, 2012.

DAEE-DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Banco de Dados Hidrológicos. Disponível em: <<http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>>. Acesso em: 09 dez. 2018.

DEMEK, J. (ed) **Manual of Detailed Geomorphological Mapping**. Prague, IGU Commission on Geomorphological Survey and Mapping, 1972.

DINIZ, H. N. **Estudo do Potencial Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu em Guarulhos e Arujá, SP**. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

DINIZ, H; DUARTE, U. Caracterização Geológica e Hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu na Região de Guarulhos, SP. **Revista Universidade de Guarulhos, Guarulhos**, v. 1, p. 51-61, 1996.

DOWNS, P. Geomorphological evaluation of river restoration schemes: principles, method, monitoring, assessment, evaluation. Progress? In: NIJLAND, H. J.; CALS, M. J. R. (editors). **River Restoration in Europe**. Wageningen: European Center for River restoration, 345 p.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA SOLO, 2018

FINDLAY, S. J. ; TAYLOR, M. P. Why Rehabilitate Urban River Systems? **Wiley on behalf of The Royal Geographical Society**. v. 38 n. 3, p. 312-325, 2006.

FERNANDES, M. C. V.; OLIVEIRA, E. S.; QUEIROZ, W. **Momentos da Industrialização Guarulhense: do Nascimento das Fábricas ao Neoliberalismo**. In: Guarulhos Tem História: Questões sobre História Natural, Social e Cultural. São Paulo: Ananda Gráfica e Editora, 2008.

GRIGOROWITSCHS, H. **Estudo das propriedades hidromórficas de solos e depósitos no setor inferior de vertentes e em fundos de vale na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Cotia/Planalto de Ibiúna**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

GOUDIE, A. S.; VILES, H.. **The Earth Transformed: An introduction to human impacts on the environment**. Oxford: Oxford University Press. 276 p. 1997

GURNEL, A. et. al. Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology , Ecology and Opportunities for Change. **Geography Compass**. v. 1, n.5 , p. 1118-1137, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-8198.2007.00058.x>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

HART, M. G. **Geomorphology Pure and Applied**. Londres: Allen & Unwin (Publishers) Ltd., 1986.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo (Volume I)**. São Paulo: IPT, 1981.

KNIGHTON, A. D. **Fluvial Forms and Processes: a New Perspective**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1998.

LEE, E. M. Geomorphological Mapping. **Land Surface Evaluation for Engineering Practice. Geological Society of London, Engineering Geology, Special Publications**. Londres, v. 18, p. 53-56, 2011. Disponível em: <<https://egsp.lyellcollection.org/content/18/1/53>>. Acesso em: 15 Dez. De 2020.

LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. Defining the Anthropocene. **Nature**. v. 519, p. 171-180, 2015.

LUZ, R. A. DA. **Geomorfologia da planície fluvial do rio Pinheiros entre os bairros de Pinheiros, Butantã e Cidade Jardim, São Paulo (SP)**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

\_\_\_\_\_. **Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do rio Pinheiros, São Paulo (SP), ao longo do processo de urbanização**. Tese (Doutorado). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MAGALHÃES JR. A. P. et. all. **Morfodinâmica Fluvial**. In: MAGALHÃES JR. A. P.; BARROS, L. F. P. (Org.) Hidrogeomorfologia: Formas, Processos e Registros Sedimentares Fluviais. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

MACEDO, D. R.; MAGALHÃES JR. ,A. P. **Restauração e Reabilitação de Curso d' Água**. In: MAGALHÃES JR. A. P.; BARROS, L. F. P. (Org.) Hidrogeomorfologia: Formas, Processos e Registros Sedimentares Fluviais. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

GOUVEIA, I. C. M. C. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da geomorfologia antropogênica na bacia hidrográfica do Rio Tamanduateí, na região metropolitana de São Paulo**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

\_\_\_\_\_. A cidade de São Paulo e seus rios: uma história repleta de paradoxos», **Confins (Online)**. São Paulo, v. 27, 2016. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/10884?lang=pt>>. Acesso em 02 Fev. 2021.

\_\_\_\_\_. ; RODRIGUES, C. Mudanças morfológicas e efeitos hidrodinâmicos do processo de urbanização na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí – RMSP. **GEOUSP Espaço E Tempo**. São Paulo v. 21. n.1, 257-283, 2017. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/105342>>. Acesso em 02 Jan. 2020.

NELSON, M. D., LARGE, A. R. G. 'Natural' rivers, 'hydromorphological quality' and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 31, p. 1606-1624, 2006.

NIR, D. Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology. Jerusalem: Ketem Pub. House, 1983.

OLLERO OJEDA, A.; FEBRE, M. S. Función, problemática y restauración de ríos y riberas. **Revista de Andorra**. Andorra, v. 7, n. 1. p. 61-83, 2007. Disponível em: <<http://www.celandigital.com/revista-de-andorra/41-publicaciones/revista-de-andorra/5175-revista-de-andorra-7>>. Acesso em: 11 abr. 2021.

OGUCHI, T, et. al. Data Sources. In: PARON, P. SMITH, M. J.; GRIFFITHS, J. S. **Geomorphological Mapping: Methods and Applications**. Oxford: Elsevier, 2011

OTTO, J. C. et. al. Cartography: Design, Symbolisation and Visualisation of Geomorphological Maps. In: PARON, P. SMITH, M. J.; GRIFFITHS, J. S. **Geomorphological Mapping: Methods and Applications**. Oxford: Elsevier, 2011

PELOGGIA, A. U. G. Conceitos fundamentais da análise de terrenos antropogênicos: o estudo da agência geológico-geomorfológica humana e de seus registros. **Revista do Instituto Geológico. São Paulo**, v. 40 n,1, 2019. Acesso em: <<https://revistaig.emnuvens.com.br/rig/article/view/626>>. Acesso em: 24 jul. 2020.

RODRIGUES, C. **Geomorfologia Aplicada: Avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico territorial e ambiental brasileiros**. Tese (Doutorado). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

Rodrigues, C. **On antropogeomorphology**. In: REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 1999, Anais. Rio de Janeiro, International Association of Geomorphologists, 1999.

\_\_\_\_\_. **A urbanização da Metrópole sob a perspectiva da Geomorfologia: Tributo a leituras geográficas**. In: Carlos, A. F. A. OLIVEIRA, A. U. de. Geografias de São Paulo: Representações e Crises da Métropole. São Paulo: Editora Contexto, 2004.

\_\_\_\_\_. Morfologia Original e Morfologia Antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na Metrópole Paulista. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo, v. 17 p. 101-111, 2005. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47278>> . Acesso em: 27 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Avaliação do Impacto Humano em Sistemas Hidro-geomorfológicos: desenvolvimento e aplicação da metodologia na Grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo, v. 20 p. 111-125, 2010. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47245/50981>> . Acesso em: 27 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano: o exemplo das planícies fluviais na metrópole de São Paulo. **Ge USP-Espaço e Tempo**. São Paulo, v. 19, n. 2, p. 325-348, 2015. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/ge USP/article/view/102805>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

RODRIGUES, C. et. al. Antropoceno e mudanças geomorfológicas: sistemas fluviais no processo centenário de urbanização de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico. São Paulo**, v. 40 n,1, 2019. Acesso em: <<https://revistaig.emnuvens.com.br/rig/article/view/626>>. Acesso em: 24 jul. 2020.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a questão da Taxonomia do relevo . **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo, v. 6, p.17 -29, 1992. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47108>> . Acesso em: 6 jul. de 2018.

ROSS, J. L. S. MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Revista do Departamento de Geografia da USP. São Paulo, v. 10, p. 41-58 1996. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53703>>. Acesso em: 30 set. 2018.

SANTOS, M. (1982) **Manual de Geografia Urbana**. São Paulo: Edusp, 3ª edição, 2012.

\_\_\_\_\_. (1993) **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: Edusp, 5ª edição, 2013.

SAVIGEAR, R. A. G. A Technique of Morphological Mapping. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 55 n. 3, 1965.

SIMAS, I. T. H. **Análise retrospectiva de episódios de inundações na Bacia Hidrográfica de Rio Aricanduva-São Paulo**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

STEVAUX, J. C. LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson Et Cie Editeurs, 1965.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>>. Acesso em: 03 Jan. 2020.

VENEZIANI, Y. **A abordagem da geomorfologia antropogênica e de modelagens hidrológica e hidráulica na bacia do Córrego Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

**MODELO DE FICHA DE LEITURA DA PESQUISA DOCUMENTAL**

**Arquivo/Acervo:**

**Suporte:**   Físico ( )    Digital ( )

**Tipo Documental:**

**Responsáveis/Autores:**

**Título:**

**Data:**

**Local da Publicação:**

**Volume:**

**Total de Volumes:**

**Geoindicadores:** SIM ( )   NÃO ( )

**Dados:** Empíricos ( )    Projeto ( )

**Referência Temporal:**

**Referência Espacial:**

**Grupo de Indicador:**

Morfologia ( )

Material Superficial ( )

Processos ( )

**Intervenção Antropogênica:** SIM ( )   NÃO ( )

**Referência Temporal:**

**Referência Espacial:**

**Dados de Intervenção:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Justificativas para Intervenção:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Outros Dados ou Informações Relevantes para a Pesquisa: SIM ( ) NÃO ( )**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Transcrição de Trechos do Documento**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## ESPAÇO PARA TRANSCRIÇÃO DE INDICADORES

### Morfologia

Sistema Indicador	Indicador	Parâmetro	Medida	Referência Temporal	Referência Espacial	Condição (Original ou Antropogênica)

### Materiais Superficiais

Sistema Indicador	Indicador	Parâmetro	Medida	Referência Temporal	Referência Espacial	Condição (Original ou Antropogênica)

### Processos

Sistema Indicador	Indicador	Parâmetro	Medida	Referência Temporal	Referência Espacial	Condição (Original ou Antropogênica)