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

RODOLFO ALVES DA LUZ

**Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo
(SP), ao longo do processo de urbanização.**

Versão corrigida

São Paulo

2015

RODOLFO ALVES DA LUZ

**Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo
(SP), ao longo do processo de urbanização.**

Tese apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Geografia Física
Orientadora: Profa. Dra. Cleide Rodrigues

Versão corrigida

São Paulo

2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

Rodolfo Alves da Luz

Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo (SP),
ao longo do processo de urbanização.

Tese apresentada ao Departamento de
Geografia da Faculdade de Filosofia Letras e
Ciências Humanas da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Doutor.
Área de Concentração: Geografia Física.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

À Marta Eichemberger Ummus, com amor e
admiração, por ser a ponte quando as
águas estão turbulentas e a brisa quando a
calmaria é demasiada.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Cleide Rodrigues, pelas valiosas orientações e por abrir as janelas que permitiram o meu crescimento intelectual.

Aos Profs. Drs. Ian Douglas, Nigel Lawson e Martin Evans e à secretária Susan Johnson (Sue) pela confiança em nosso trabalho e pela atenção e carinho que nos receberam na Universidade de Manchester.

Ao Departamento de Geografia da USP pela oportunidade, em especial ao corpo de funcionários da Secretaria de Pós-Graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de doutorado e, juntamente com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de doutorado sanduíche no exterior via programa ciências sem fronteiras.

Ao departamento de comunicação da Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A (EMAE), ao engenheiro Hassan M. Barakat do Centro de Controle de Emergências (CGE) da Prefeitura de São Paulo e ao geólogo Hugo Rocha do Metrô de São Paulo pela disponibilização de dados essenciais para o desenvolvimento da pesquisa.

À Maria Isabel Torres da Fundação Energia e Saneamento pelo pronto atendimento quando da aquisição das fotografias aéreas e das pesquisas aos arquivos históricos da fundação.

À Rosi Rodrigues, Silvia de Jesus e ao Raymundo Diniz por revisar os dados estatísticos e as equações matemáticas.

À Roseli Eichemberger pela revisão gramatical do texto.

Ao Sr. Renato Alves da Luz por construir meu alicerce e edificar com maestria o restante da obra, e a Sra. Maria Creusa Silva da Luz por promover, proteger e cuidar atentamente de minha trajetória.

RESUMO

LUZ, R. A. **Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo (SP), ao longo do processo de urbanização.** 2014. 245 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

O sistema fluvial meândrico do Rio Pinheiros em São Paulo (SP) tem passado por muitas mudanças geomorfológicas devido a intervenções antrópicas decorrentes da urbanização. A hipótese motivadora é a de que estas mudanças apresentam magnitudes maiores ou equivalentes àquelas registradas em condições naturais ou não urbanizadas. A pesquisa foi realizada por meio de técnicas oriundas da geomorfologia antrópica e histórica, do mapeamento geomorfológico e da análise de geoindicadores de mudanças nas formas da Terra, nos materiais superficiais e nos processos. Por meio da elaboração de três cartas geomorfológicas na escala de 1:25.000 representativas de distintos estágios de perturbação antrópica (pré-perturbação, perturbação ativa e pós-perturbação), foi possível identificar e dimensionar as mudanças históricas no sistema hidromorfológico desde 1930. Os resultados revelaram a elevada magnitude e alta eficiência das intervenções humanas diretas e indiretas nas morfologias e processos hidromorfológicos. Mudanças esperadas para ocorrer em condições naturais ou não urbanas em intervalos de 1 em 10^3 a 1 em 10^4 anos podem se tornar eventos mais frequentes e instantâneos devido à urbanização (1 em 10^0 a 1 em 10^2 anos), fazendo as fontes históricas bastante adequadas para a sua identificação. Em apenas 21 anos, o canal meândrico pré-urbano foi substituído por um canal artificial retilíneo, seu comprimento foi reduzido em 44,9% e sua largura foi aumentada em 184,9%. O canal anterior transportava sedimentos finos e matéria orgânica num fluxo d'água constante para jusante. O canal atual tem uma vazão baixa e controlada artificialmente por estruturas de engenharia, que podem reverter o fluxo d'água para montante, fazendo com que o antigo sistema fluvial fosse transformado em um sistema próximo ao lacustre. A maioria dos sedimentos, matéria orgânica e poluentes é depositada no leito do canal, gerando problemas ambientais e de assoreamento. Nos últimos 80 anos, a antiga planície de inundação foi suprimida e novos níveis de terraços foram criados pela atividade humana, especialmente por aterros, cujo volume foi estimado em $16,28 \times 10^6 \text{ m}^3$. As inundações por extravasamento do canal foram reduzidas por causa das estruturas de controle de cheias, e ficam restritas às suas margens imediatas. Entretanto, a capacidade de atenuação das inundações da planície de inundação e baixos terraços foi perdida, e a frequência e magnitude das inundações foram potencializadas por causa da rede de drenagem urbana deficiente, da obstrução por aterros e pela construção de avenidas de fundo de vale nos rios afluentes. Compreender mudanças de tal magnitude auxilia na gestão dos rios e planícies urbanas, nos levantamentos geotécnicos e na identificação das possibilidades de recuperação ambiental, onde as funções ecológicas, hidrológicas e sociais dos sistemas fluviais devem ser restauradas.

Palavras-chave: Geomorfologia Antrópica; Sistemas fluviais urbanos; Planície do Rio Pinheiros.

ABSTRACT

LUZ, R. A. **Geomorphological changes in the River Pinheiros fluvial plain, São Paulo, during the urbanisation processes.** 2014. 245 f. Thesis (Doctoral) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

The urbanised meandering fluvial system of River Pinheiros in São Paulo, Brazil, has undergone many geomorphological changes due to human interventions during the urban development. The central hypothesis is that geomorphological changes related to urbanisation over a fluvial plain in tropical humid environment present magnitudes higher than, or similar to, natural or non-urban systems. These changes can be explained by using such techniques as anthropic and historical geomorphology, geomorphological mapping, and geoindicators of change in landforms, materials and processes. Three 1:25,000 geomorphological maps of representative stages of intervention (pre-disturbance, active disturbance and post-disturbance) helped to establish, measure and compare historical changes in the hydromorphological system since 1930. The results revealed the great magnitude and high efficiency of direct and indirect human interventions on fluvial landforms and hydromorphological processes. Changes that might be expected to occur at intervals of 1 in 10^3 to 1 in 10^4 years in natural conditions can become much more frequent events (1 in 10^0 to 1 in 10^2 years) due to urbanisation, making the historical sources quite suitable for the identification of these modifications. In just 21 years the pre-urban meandering channel was replaced by a straight and artificial canal, with the length being reduced by 44.9%, the width being increased by 184.9%. The previous fluvial channel carried fine sediments and organic matter in a constant downstream water flow. The current canal has the water flow artificially controlled by engineering structures which can be reversed upstream and, nowadays, behaves as a series of lakes with negligible flow. Most of sediments, organic matter and pollutants are deposited in the canal bed, generating siltation and environmental problems. During the last 80 years the previous floodplain level was eliminated and new terrace levels were created by human activity, particularly by landfills whose volume was estimated to be $16.28 \times 10^6 \text{ m}^3$. Floods by channel overflow were reduced by the engineering structures and are restricted to the nearest banks. However, the flood attenuation capacity of the floodplain and lower terraces was lost and the flood frequency and magnitude was enhanced due to deficient urban drainage, landfill blockage and where the tributaries were recovered by roads. Understanding changes of this magnitude can assist in river and flood management in urban areas, in geotechnical surveys and in the landscape reclamation.

Keywords: Anthropic Geomorphology; Urban rivers systems; River Pinheiros Fluvial Plain.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Hipótese e Objetivos.....	17
1.2	Justificativas	18
1.3	Escolha da área.....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO	22
2.1	Geomorfologia	22
2.2	Cartografia Geomorfológica.....	28
2.3	Geomorfologia Fluvial.....	31
2.4	Geomorfologia Antrópica	41
2.4.1	Geomorfologia e urbanização	50
2.4.2	Geomorfologia e urbanização em planícies fluviais	54
3	PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	67
3.1	Levantamento	70
3.1.1	Dados Morfológicos.....	70
3.1.2	Materiais superficiais.....	75
3.1.3	Processos hidromorfológicos	75
3.1.4	Sistematização cartográfica	79
3.1.5	Análises e Interpretações.....	80
3.2	Capacidade de atenuação de cheias.....	81
4	REGIME HIDROLÓGICO, GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA ...	83
4.1	Regime hidrológico do Alto Tietê	83
4.2	Aspectos geológicos.....	85
4.3	Aspectos geomorfológicos.....	91
5	PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA E INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS NA PLANÍCIE FLUVIAL	102
6	RESULTADOS	115
6.1	Geomorfologia Pré-urbana da Planície Fluvial do Rio Pinheiros – Estágio Pré-perturbação.....	115
6.1.1	Subsistemas hidromorfológicos – Estágio Pré-Urbano	118
6.2	Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 1949 – Estágio de Perturbação Ativa	123
6.2.1	Uso da terra e tipologia de intervenção – Estágio de Perturbação Ativa (1949)	123
6.2.2	Subsistemas hidromorfológicos – Estágio de Perturbação Ativa (1949)	126
6.3	Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 2012 – Estágio Pós-Perturbação.....	134
6.3.1	Uso da terra e tipologias de intervenção – Estágio Pós-Perturbação (2012)	135

6.3.2	Subsistemas hidromorfológicos - Estágio Pós-Perturbação (2012)	139
6.4	Materiais superficiais e estratigrafia dos depósitos	147
6.4.1	Compartimentação topográfica e volume de aterros	151
6.5	Mudanças na morfologia do sistema	160
6.6	Mudanças na hidrodinâmica do sistema	168
6.6.1	Hidrodinâmica do canal	168
6.6.2	Hidrodinâmica das cheias	178
7	INTERPRETAÇÕES E AVALIAÇÕES QUALITATIVAS E QUANTITATIVAS	193
7.1	Eventos geomorfológicos em condições naturais e no sistema hidromorfológico urbanizado do Rio Pinheiros	193
7.2	Implicações Hidrodinâmicas e Inundações	199
7.3	Geomorfologia aplicada	205
7.3.1	Gerenciamento e controle de enchentes	205
7.3.2	Geotecnia	212
7.3.3	Recuperação ambiental	213
8	CONCLUSÕES	223
9	BIBLIOGRAFIA	227

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Crescimento populacional no Município de São Paulo e na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)	15
Figura 2	- Localização da área de estudo	21
Figura 3	– Tempo necessário para o desenvolvimento da forma, tempo de permanência da forma produzida e tamanho	26
Figura 4	– Padrões de canal e sistemas deposicionais associados	33
Figura 5	– Migração lateral em sistemas meândricos e faciologia resultante	34
Figura 6	– Croqui esquemático de uma planície fluvial com os subsistemas e formas associadas	34
Figura 7	– Bloco diagrama mostrando os principais elementos morfológicos dos sistemas meândricos	35
Figura 8	– Tipos de abandonos de canal em sistemas meândricos	36
Figura 9	– Principais parâmetros geométricos de um canal meândrico	36
Figura 10	– Mudanças na largura, profundidade média e velocidade média com relação à descarga/vazão. Córrego Seneca em Dawsonville, Maryland (EUA)	38
Figura 11	- Aumento da vazão média de inundação (R) em função da área impermeável e da canalização do sistema de drenagem	57
Figura 12	– Inundações em leitos urbanizados	58

Figura 13 – Diferenças no amortecimento do hidrograma de inundações em razão da retificação do canal.....	59
Figura 14 – A síndrome da planície de inundação.	62
Figura 15 – Aerofotos utilizadas. Estágio Pré- Urbano (Pré- Perturbação) e Estágio de Perturbação Ativa.	73
Figura 16 – Localização da Estação Meteorológica do Observatório do IAG e de outras do entorno da Bacia Hidrográfica do Rio Pinheiros que tiveram dados compilados.....	77
Figura 17 – Estimativa da coluna d'água em uma planície de inundação e baixos terraços durante um evento chuvoso	81
Figura 18 – Regime hidrológico do Rio Tietê na altura da antiga Ponte Grande (próximo a atual Ponte das Bandeiras).	83
Figura 19 – Mapa geológico da área de estudo.	85
Figura 20 – Estratigrafia do segmento central da Bacia Sedimentar de São Paulo.....	87
Figura 21 – Correlação entre a sedimentação quaternária no Município de São Paulo, idades, paleoclimas e paleovegetação.....	91
Figura 22 – Mapa geomorfológico da Região Metropolitana de São Paulo.	92
Figura 23 - Mapa geomorfológico de Ab'Sáber (1957) com a localização da área de estudo.....	94
Figura 24 - Perfil A-B, Linha 4 Amarela do Metrô de São Paulo e correlação com o mapa de Ab'Sáber (1957).....	94
Figura 25 – Perfil Geomorfológico da Planície Fluvial do Rio Pinheiros ao longo da Linha 4 – Amarela do Metrô	100
Figura 26 – Mudanças morfológicas no canal fluvial meândrico do Rio Pinheiros. Ocorrência no Holoceno.	101
Figura 27 – Sistema hidráulico artificial no canal do Pinheiros.....	105
Figura 28 – Concurso das marginais, área pontual 1. Projeto da equipe do arquiteto Bruno Padovano.	109
Figura 29 – Expansão urbana sobre a Planície Fluvial do Rio Pinheiros.	110
Figura 30 – Construção de interceptador de esgoto abaixo da Marginal Pinheiros.....	112
Figura 31 – Bombeamento do lençol freático no bairro do Brooklin.....	113
Figura 32 – Esquema de bombeamento do lençol freático por grandes edificações.....	113
Figura 33 – Carta da Geomorfologia Pré-Urbana da Planície Fluvial do Rio Pinheiros.....	116
Figura 34 – Legenda detalhada da Carta da Geomorfologia Pré-Urbana da Planície Fluvial do Rio Pinheiros	117
Figura 35 – Diagrama de descarga do Rio Pinheiros de acordo com observações de 1924 e 1925.....	119

Figura 36 – Relação entre profundidade (W) e vazão (Q) a partir dos dados de Brito (1926).....	119
Figura 37 - Afloramento rochoso na planície de inundação. Av. Alvarenga, nº1972.	122
Figura 38 – Ruptura de declive do terraço nível 2. Av. Cardeal Arco Verde x Av. Rebouças.	122
Figura 39 – Mapa de uso e ocupação da terra em 1949.....	124
Figura 40 – Legenda do Mapa de Uso da Terra em 1949 (Figura 39).	126
Figura 41 – Carta da Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 1949 – Estágio de Perturbação Ativa	128
Figura 42 – Legenda detalhada da Carta da Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 1949 – Estágio de Perturbação Ativa.....	129
Figura 43 – Fragmento de aerofoto de 1949 com destaque para a diferenciação entre meandro aterrado e meandro abandonado.	130
Figura 44 – Fragmento de aerofoto com exemplificação dos aterros mapeados.	133
Figura 45 – Mapa de uso e ocupação da terra em 2012.....	136
Figura 46 – Legenda do Mapa de uso da terra em 2012 (Figura 45).	138
Figura 47 – Carta da Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 2012 – Estágio Pós-Perturbação	141
Figura 48 – Legenda detalhada da Carta da Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 2012 – Estágio Pós-Perturbação	142
Figura 49 – Seções transversais médias do Canal Pinheiros Superior e Inferior.	144
Figura 50 – Aterro do Parque Villa-Lobos.	146
Figura 51 – Aterro do Parque do Povo.....	146
Figura 52 – Depósitos tecnogênicos no Parque Villa-Lobos.	147
Figura 53 – Perfil vertical típico dos depósitos da antiga planície de inundação.	148
Figura 54 – Detalhe da estratigrafia da área com destaque na descontinuidade entre sistemas fluviais e o embasamento pré-cambriano.....	150
Figura 55 – Fragmento da carta topográfica do SARA BRASIL S/A (1930) e pontos cotados de apoio à compartimentação topográfica da Planície Fluvial Pré-Urbana do Rio Pinheiros.	151
Figura 56 - Fragmento da carta topográfica do EMPLASA (1972/74) e remanescentes pré-urbanos com pontos cotados de apoio à compartimentação topográfica da Planície Fluvial Pré-Urbana do Rio Pinheiros.....	152
Figura 57 – Perfil topográfico típico da Planície Fluvial do Rio Pinheiros Pré-Urbana e compartimentos geomorfológicos	152
Figura 58 – Compartimentação topográfica e cotas altimétricas da planície de inundação e dos níveis terraceados da Planície Fluvial do Rio Pinheiros Pré-urbana.....	154

Figura 59 – Modelo Digital de Terreno da Planície Fluvial do Rio Pinheiros de 2004 e aterros mapeados em 2012.....	155
Figura 60 – Altura média dos aterros mapeados em 1949.....	156
Figura 61 – Volume estimado dos aterros mapeados em 1949.	157
Figura 62 - Altura média dos aterros mapeados em 2012	158
Figura 63 - Volume estimado dos aterros mapeados em 2012.....	159
Figura 64 – Perfis geomorfológicos e estágios de perturbação antrópica. Santo Amaro / Guarapiranga.	163
Figura 65 - Perfis geomorfológicos e estágios de perturbação antrópica. Cidade Jardim / Itaim.	164
Figura 66 - Perfis geomorfológicos e estágios de perturbação antrópica. Butantã / Pinheiros.....	165
Figura 67 - Perfis geomorfológicos e estágios de perturbação antrópica. Jaguaré / Leopoldina.	166
Figura 68 – Perfis transversais justapostos e mudanças morfológicas.	167
Figura 69 - Nível d'água máximo e mínimo a montante da Usina da Traição e a montante da Estrutura do Retiro entre 1980 e 2013.....	172
Figura 70 – Vazões bombeadas médias anuais na Usina Elevatória da Pedreira.....	174
Figura 71 – Operação de controle de cheias no Canal Pinheiros.	175
Figura 72 – Número de dias com reversão de fluxo do Canal por ano e precipitação anual entre 1993 e 2013.	177
Figura 73 – Reconstituição de inundação periódica no sistema hidromorfológico pré-urbano do Rio Pinheiros.....	180
Figura 74 – Reconstituição de inundação ocasional no sistema hidromorfológico pré-urbano do Rio Pinheiros.....	181
Figura 75 - Reconstituição da fase de secamento pós-inundação no sistema hidromorfológico pré-urbano do Rio Pinheiros.	182
Figura 76 – Perfil geomorfológico típico da Planície Fluvial do Rio Pinheiros Pré-Urbano e coluna d'água máxima na fase de enchimento.....	183
Figura 77 – Grande enchente de 1929 na confluência dos Rios Pinheiros e Tietê.....	185
Figura 78 – Grande enchente de 1929 na região de Pinheiros.....	185
Figura 79 – Suposta área alagada na enchente de 1929.....	187
Figura 80 – Pontos e tipo de inundação na Planície Fluvial do Rio Pinheiros.....	190
Figura 81 – Rebaixamento da via marginal sob a Ponte da Cidade Jardim sem inundação (acima) e inundada (abaixo).	191
Figura 82 – CEAGESP inundado em janeiro de 2010.....	192
Figura 83 – Ilhas e bancos marginais no Canal Pinheiros. Resultado da estiagem que tem atingido a Bacia do Alto Tietê no ano de 2014.	200

Figura 84 – Modificações na dinâmica hidrológica e sedimentar no sistema hidromorfológico da planície fluvial do Rio Pinheiros decorrentes da urbanização.	203
Figura 85 – Placa de alerta da bacia de armazenamento de inundações do Rio Irwell, Lower Kersal, Salford, Reino Unido.	207
Figura 86 – Rio Irwell em primeiro plano e bacia de armazenamento com campos de futebol ao fundo. Lower Kersal, Salford, Reino Unido.	207
Figura 87 – Bacia de armazenamento em operação. Entrada das águas do extravasamento do Rio Irwell nos terrenos ocupados por campos de futebol.	208
Figura 88 – Localização da Bacia de Armazenamento de Inundações de Salford e ocupação urbana em na Região Metropolitana de Manchester. Setas indicam a direção do Rio Irwell.	208
Figura 89 – Localização dos remanescentes com menor grau de perturbação sobre a antiga planície de inundação.	210
Figura 90 – Unidades geomorfológicas pré-urbanas e localização da área remanescente na região do Panamby sobre a aerofoto de 1948.	214
Figura 91 – Último remanescente da planície de inundação do Rio Pinheiros com aterro da Marginal Pinheiros ao fundo.	215
Figura 92 - Unidades hidromorfológicas pré-urbanas e localização da área remanescente na região do Panamby sobre imagem de satélite de 2008.	215
Figura 93 – Urbanização atual no entorno do Canal de Navegação de Manchester.	218
Figura 94 – Canal recuperado e utilizado para festivais de natação.	218
Figura 95 – Projeto Pomar Urbano. Fonte: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2011).	221

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações Meteorológicas pesquisadas e número de anos sem registro entre 1933 e 2003.	78
Tabela 2 – Medições de vazão realizadas no Rio Pinheiros entre 1924 e 1925 pela Comissão de Melhoramentos do Rio Tietê (BRITO, 1926).	118
Tabela 3 – Uso da terra em 1949 e respectivas áreas.	123
Tabela 4 - Unidades morfológicas mapeadas e graus de perturbação urbana. Estágio de Perturbação Ativa (1949).	127
Tabela 5 - Uso da terra em 2012 e respectivas áreas.	135
Tabela 6 – Áreas das unidades morfológicas mapeadas conforme o grau de perturbação urbana. Estágio Pós-Perturbação (2012).	140
Tabela 7 – Geoindicadores de mudanças na morfologia da Planície Fluvial do Rio Pinheiros entre o estágio pré-urbano (1933) e os estágios de intervenção antrópica (1949 e 2012).	161

Tabela 8 - Registro de medições de vazão realizadas no Rio Pinheiros entre 1915 e 1925:	169
Tabela 9 – Número de observações realizadas por mês e médias mensais de vazão:	170
Tabela 10 – Níveis d'água máximos e mínimos (em metros) do Canal Pinheiros a montante e a jusante da Usina da Traição e a montante da Estrutura do Retiro de 1980 a 2013. Destaque para os picos máximos e mínimos..	171
Tabela 11 – Eventos de reversão para controle de cheias do Canal Pinheiros por mês e ano de outubro de 1992 até dezembro de 2013.	176
Tabela 12 – Áreas tomadas pelas águas em cada fase de inundação no sistema hidromorfológico pré-urbano do Rio Pinheiros	183
Tabela 13 – Volume máximo d'água estimado durante as inundações periódicas e ocasionais no sistema hidromorfológico do Rio Pinheiros pré-urbano.	184
Tabela 14 – Capacidade de armazenamento e cotas de extravasamento do Canal Pinheiros.....	188
Tabela 15 – Mudanças nos processos de canal e taxas erosão representativas da substituição do canal pré-urbano pelo canal artificial entre 1936 e 1957 = 21 anos.....	195
Tabela 16 – Volume estimado de aterros e taxa de deposição em cada estágio de perturbação antrópica (1949 e 2012).	196

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação taxonômica dos fatores geomorfológicos segundo Cailleux & Tricart, (1956).	24
Quadro 2 – Esquema geral de classificação do relevo da Terra segundo Mescerjakov (1968), 1968.	24
Quadro 3 – Quadro simplificado da classificação do relevo segundo Ross (1992).	25
Quadro 4 – Escalas temporais e terminologia dos eventos geomorfológicos.	26
Quadro 5 - Geoindicadores passíveis de análise na pesquisa.....	68
Quadro 6 - Aerofotos e bases cartográficas utilizadas na pesquisa.....	72
Quadro 7 – Amostra de aerofotos utilizadas e de overlays resultantes da restituição morfológica.....	74
Quadro 8 - Mudanças hidromorfológicas na Planície Fluvial do Rio Pinheiros ocorridas durante o processo de urbanização.....	194
Quadro 9 – Mudanças históricas na sinuosidade de canais meândricos.	196
Quadro 10 – Exemplos de planos de gerenciamento de inundações do Reino Unido e Região Metropolitana de Manchester conforme a escala.	211

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa pretende, então, explorar o aparato teórico-metodológico da Geomorfologia em análises voltadas às mudanças espaciais em sistemas fluviais em áreas urbanas, por meio da comparação dos efeitos das intervenções antrópicas com aquelas esperadas em sistemas naturais e da compreensão dos graus de transformação sofridos pelo sistema.

É conhecido o fato de que, ao longo da História da humanidade, as cidades têm se desenvolvido em localidades próximas a rios, e que a grande expansão urbana decorrente da Revolução Industrial levou a modificações intencionais nos canais fluviais e à construção sobre as planícies de inundação e baixos terraços. Intervenções como o represamento de suas cabeceiras para abastecimento d'água, o uso das águas para fins industriais e a intensa ocupação das planícies de inundação, fazem com que os rios comecem a ter seus fluxos e taxas de erosão e sedimentação modificados, além de receberem altas cargas sedimentares e de poluentes.

A expansão urbana tem resultado na drenagem de terrenos que originalmente são ocupados por inundações, assim como na construção de reservatórios, na retificação e ampliação da calha dos rios, na construção de margens e diques artificiais, ou na disposição de aterros sobre as planícies de inundação. Muitas destas atividades reduzem a capacidade de atenuação das cheias pelas planícies, a despeito das intervenções de engenharia para controle de cheias aumentarem a capacidade de transporte do canal (DOUGLAS, 1983; HOCKIN, 1985; GREGORY, 1987).

O crescimento das áreas urbanas está se acelerando ao redor do mundo. Até mesmo em cidades onde o crescimento populacional é relativamente pequeno, áreas

urbanas estão se expandindo, modificando o modo no qual os processos geomorfológicos atuam sobre as formas da superfície (DOUGLAS, 2005a). Apesar de ter diminuído as taxas de crescimento da população, a cidade de São Paulo e a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) ainda apresentam crescimento populacional (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008), que foi expressivo nos últimos cem anos, quando os rios paulistanos passaram a ser modificados para receber parte das estruturas urbanas da cidade (Figura 1).

Figura 1 – Crescimento populacional no Município de São Paulo e na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

A pesquisa parte do pressuposto de que as modificações impressas na paisagem pelas intervenções das sociedades humanas ao longo do tempo podem ser avaliadas e dimensionadas por meio da Geomorfologia (NIR, 1983; TOY; HADLEY, 1987; GOUDIE, 1993), e que a urbanização resulta em processos de natureza geomorfológica direta e efetiva (DOUGLAS, 1983; DOUGLAS &

LAWSON, 2000; GUPTA, 2002; RODRIGUES, 2004; 2010; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010).

A Geomorfologia propõe uma abordagem integrada entre os três principais componentes da superfície da Terra (HART, 1986): 1) *as formas* (morfologia); 2) *os materiais* (solos, rochas, água, vegetação, materiais tecnogênicos) e; 3) *os processos* (intemperismo e pedogênese, hidrodinâmica, erosão, transporte e deposição). O reconhecimento integrado destes componentes constitui a essência da pesquisa geomorfológica e, na maior parte das vezes, é realizado pela identificação da espacialidade desses fenômenos.

A principal técnica de obtenção deste reconhecimento espacial integrado advém da cartografia geomorfológica, que também permite avaliar mudanças espaciais com base em análises históricas (GREGORY, 1985a; GURNELL, PEIRY e PETTS, 2003; TRIMBLE, 2008). No entanto, esse instrumental metodológico vem sendo preferencialmente utilizado em sistemas e agentes geomorfológicos ditos naturais ou pouco perturbados pela ação antrópica (RODRIGUES, 2005).

Os procedimentos analíticos da pesquisa são baseados em produtos cartográficos e gráficos, orientados à indicação de determinadas categorias de mudanças ocorridas em aspectos da geomorfologia da planície fluvial do rio Pinheiros. Essas categorias serão parametrizadas por meio da definição de geoindicadores de mudanças ambientais em meio tropical úmido, e em sistemas hidromorfológicos urbanizados (COLTRINARI e McCALL, 1995; BERGER, 1996; COLTRINARI, 1996; GUPTA, 2002; RODRIGUES e COLTRINARI, 2004; RODRIGUES, 2010).

A interpretação e o dimensionamento destas mudanças são realizados por meio da análise geomorfológica retrospectiva e evolutiva da área sobre estes

produtos cartográficos e gráficos, considerando momentos históricos representativos dos três principais estágios de intervenção da história da cidade, conforme Wolman (1967), Douglas (1983), Nir (1983) e Toy e Hadley (1987): o estágio pré-perturbação, o estágio de perturbação ativa e o estágio pós-perturbação.

1.1 Hipótese e Objetivos

A hipótese motivadora da pesquisa é a de que as mudanças geomorfológicas resultantes do alto grau de perturbação antrópica, decorrentes da urbanização sobre uma planície fluvial em meio tropical úmido, apresentam magnitudes maiores ou equivalentes àquelas registradas em condições naturais ou não urbanizadas.

Parte-se do pressuposto de que a abordagem teórico-metodológica selecionada está habilitada a avaliar a hipótese e atingir seus principais objetivos:

- reconhecer e dimensionar as mudanças resultantes da ação antrópica direta e indireta na planície fluvial do Rio Pinheiros, e;
- comparar estas mudanças com eventos semelhantes registrados em condições naturais ou pouco perturbadas.

Objetivos específicos também auxiliam na avaliação da hipótese de pesquisa, são eles:

- desenvolver e avaliar potencialidades da cartografia geomorfológica retrospectiva e do uso de fontes históricas em resgatar as características geomorfológicas originais de sistemas fluviais intensamente urbanizados, especialmente em cidades de industrialização moderna como São Paulo;

- desenvolver o uso dos geoindicadores para avaliação quantitativa das mudanças ocorridas em sistemas fluviais meândricos;
- avaliar as possibilidades de aplicação do conhecimento gerado por este tipo de pesquisa no planejamento ambiental e urbano.

1.2 Justificativas

O entendimento da ação humana como uma ação geomorfológica efetiva tem gerado referenciais teóricos e conceituais válidos para a análise e interpretação das implicações que este tipo de intervenção exerce sobre os processos geomorfológicos originais (NIR, 1983; VERSTAPPEN, 1983; GREGORY e WALLING, 1987; TOY e HADLEY 1987; GOUDIE e VILES, 1997). Porém, há algum consenso a respeito da necessidade de que este tipo de abordagem avance no sentido de gerar dados representativos de diversos domínios morfogenéticos e de diversas modalidades de ações antrópicas (TRICART, 1977; GOUDIE, 1993; RODRIGUES, 2004).

O processo de urbanização da cidade de São Paulo, assim como o de toda região metropolitana, resultou em uma ocupação de alto impacto no meio físico, particularmente nas planícies fluviais e bacias hidrográficas, que foram significativamente modificadas. A urbanização tem gerado ou potencializado fenômenos geográficos associados a riscos ambientais (AB'SABER, 2004; 2007), o que pode ser compreendido por meio do reconhecimento de como as diferentes modalidades e estágios de urbanização da cidade desencadearam diferentes situações e instabilidades nas morfologias e processos fluviais.

Entendemos que uma abordagem metodológica guiada pelos preceitos da “Geomorfologia Antrópica”, principalmente pela análise cartográfica retrospectiva

e evolutiva, com a adoção de determinados geoindicadores tais como: formação de terraços, supressão da planície de inundação; mudanças morfológicas do canal; transformações na área, volume e taxas de deposição, possibilita a obtenção de parâmetros válidos para o dimensionamento das mudanças e para o reconhecimento dos graus de perturbação e impactos ocorridos no sistema fluvial do Rio Pinheiros ao longo do processo de urbanização da cidade.

O reconhecimento e dimensionamento destas mudanças advindas da urbanização também contribuem para o planejamento urbano e ambiental na cidade de São Paulo, uma vez que os dados e produtos gerados permitem a avaliação de como a ocupação da área pode ter contribuído para gerar ou potencializar determinados riscos ambientais associados às combinações de fatos antrópicos e naturais que ali ocorrem, além de orientar e gerar diretrizes para propostas de recuperação ambiental.

1.3 Escolha da área

Dentre os sistemas geomorfológicos existentes, são os sistemas fluviais que apresentam maior sensibilidade aos *inputs* de curta duração (TRICART, 1977) como, por exemplo, as mudanças antrópicas. Portanto, análises sobre uma planície fluvial específica podem revelar os impactos das ações mais recentes sobre o sistema como um todo, devido às respostas morfológicas mais imediatas a estes impactos.

Originalmente, a planície fluvial do Rio Pinheiros continha morfologia representativa da dinâmica hídrica e sedimentar associada aos sistemas fluviais meândricos de regiões de clima tropical úmido. Em linhas gerais, este sistema apresentava canais meândricos com carga sedimentar predominantemente fina

(silte e argila) e suspensão, e morfologias fluviais típicas de sistemas fluviais meândricos, como os diques marginais, *backswamps*, meandros abandonados com seus diversos graus de colmatagem, níveis terraceados e barras laterais (RODRIGUES, 2004), parcialmente identificados pelos mapeamentos de Ab'Sáber (1957), Rodrigues (2006), Parolin (2009) e Luz (2010).

Essas morfologias encontram-se hoje totalmente descaracterizadas pelas inúmeras e sobrepostas interferências urbanas diretas e indiretas ocorridas na área. Portanto, a geração de novos produtos gráficos e cartográficos que promovam o detalhamento da atual Geomorfologia Antrópica da planície e dos indicadores morfológicos das mudanças ali ocorridas permitirá a análise dos efeitos da urbanização em seus processos hidromorfológicos. Num contexto global, essa análise é representativa de mudanças em um sistema fluvial meândrico sob clima tropical úmido de uma área metropolitana.

Tendo em vista que nenhuma avaliação de mudanças ambientais advindas de ações antrópicas se faz sem o reconhecimento do funcionamento original do sistema estudado, o acesso a documentos históricos e geográficos representativos deste momento é essencial para o desenvolvimento da pesquisa (HOOKE e KAIN, 1982; NIR, 1986; TOY e HADLEY, 1987; GURNELL *et al.*, 2003; RODRIGUES, 2004; TRIMBLE, 2008). Portanto, a escolha da área de estudo é justificada pela existência e relativa facilidade de acesso a esse tipo de documento, tais como cartas históricas e aerofotos antigas, que possibilitam o reconhecimento da morfologia original do sistema, conforme demonstrado em inventários e pesquisas arquivísticas de Rodrigues (2001b) e Carvalho (2006) e, especificamente para a planície do rio Pinheiros, no estudo de Luz (2010).

Considerando os fatos mencionados e o grau de intervenção antrópica da área, definiu-se como área de estudo a planície fluvial do Rio Pinheiros do bairro de Santo Amaro até a sua foz no rio Tietê (Figura 2).

Figura 2 - Localização da área de estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO

2.1 Geomorfologia

A Geomorfologia tem como objeto principal o estudo das **formas** de relevo terrestre, porém, a forma por si só, faz da Geomorfologia uma ciência de caráter meramente descritivo. Para ir além da descrição, a explicação das formas passa então pelo entendimento dos **processos** (CHRISTOFOLETTI, 1974; HART, 1986; MARQUES, 1994), que são as forças motoras endógenas e exógenas geradoras das formas de relevo terrestre (PENCK, 1953 *apud* ROSS, 1992)¹.

Somam-se a esses dois elementos (forma e processo) o estudo dos **materiais** que “cobrem a face da terra” (WHALLEY, 1990), considerados como tudo aquilo que constitui a camada mais superficial da crosta terrestre, sustentando as formas que identificamos na paisagem (WHALLEY, 1976; DACKOMBE; GARDINER, 1983; VERSTAPPEN, 1983; HART, 1986). Estes são também designados como *materiais superficiais*, que podem conter ou não materiais pedológicos, sedimentos inconsolidados, rochas e materiais tecnogênicos.

Portanto, o efetivo estudo das formas da superfície passa necessariamente pelo entendimento dos processos responsáveis por elas e pela observação das propriedades dos materiais que as compõem. Estes três elementos – formas, processos e materiais – possuem relações dinâmicas e devem ser analisados de maneira integrada (AB'SABER, 1969).

O reconhecimento das relações dinâmicas entre estes três elementos da pesquisa geomorfológica tem como base teórica a abordagem sistêmica, uma vez que permite a compreensão dos fenômenos naturais de forma integrada. A teoria

¹ PENCK, W. **Morphological Analysis of Land Forms**. London: MacMillan and Co., 1953.

geral dos sistemas considera as relações dinâmicas entre os componentes do sistema e os fluxos de energia e matéria que nele ocorrem, assim como os fluxos entre sistemas vizinhos (TRICART, 1977; RODRIGUES, 2001a).

A gama de escalas têmporo-espaciais dos fenômenos geomorfológicos é extensa e intervém na escolha dos métodos para seu estudo e na natureza da análise interpretativa a ser realizada (TRICART, 1965; CRUZ, 1985; KOHLER, 2002). O entendimento destas escalas é essencial para a análise, interpretação e comparação dos eventos geomorfológicos.

Alguns autores propõem relações têmporo-espaciais e ordens de grandeza que servem de referência para os estudos geomorfológicos. Cailleux & Tricart (1956) buscam estabelecer uma relação entre o tamanho da forma e sua idade (Quadro 1). Mescerjakov (1968) apresenta as ordens espaciais das formas terrestres segundo seus aspectos morfoestruturais e morfoesculturais (Quadro 2).

Ordem G	Unidade de superfície	Características das Unidades-Exemplos	Unidades Climáticas correspondentes	Mecanismos genéticos comandando o relevo	Ordem de grandeza de permanência T/
I	10^7	Continentes, Bacias oceânicas (configuração do globo)	Grandes conjuntos zonais, comandados por fatores astronômicos	Diferenciação da crosta terrestre, SIAL e SIMA	10^9 anos
II	10^6	Grandes conjuntos estruturais (Escudo Escandinavo, Tetis, B. do Congo)	Grandes tipos de clima (interferência de influências geográficas com fatores astronômicos)	Movimento da crosta terrestre como a formação dos geosinclinais, influências climáticas sobre a dissecação	10^8 anos
III	10^4	Grandes unidades estruturais (Bacia de Paris, Jura, Maciço Central)	Feições nos tipos de clima, mas sem grande importância para a dissecação	Unidades tectônicas tendo ligação com a Paleogeografia. Velocidade de dissecação influenciada pela litologia	10^7 anos
IV	10^2	Unidades tectônicas elementares: maciços montanhosos, <i>horsts</i> , fossas	† Climas regionais de influência geográfica sobretudo nas regiões montanhosas	Influência predominante da tectônica, secundária da litologia	
SOLEIRA DE COMPENSAÇÃO ISOSTÁTICA					
V	10	Acidentes tectônicos: anticlinal, sinclinal, <i>mont</i> etc.	Climas locais influenciados pela disposição do relevo	Predominância da Litologia e Tectostática. Influências estruturais clássicas	10^7 anos 10^6 anos
VI	10^{-2}	Formas de relevo: crista, terraço, moraina, cone de dejeção etc.	Mesoclima diretamente ligado a forma (nicho de nivação, por exemplo)	Predominância do fator morfodinâmico influenciado pela litologia	10^4 anos
VII	10^{-6}	Microformas: lentes de solifluxão, solos poligonais, ravinas	Microclima diretamente ligado à forma por autocatalise (ex: lapíais)	Microclima diretamente ligado à forma por autocatalise (ex: lapíais)	10^2 anos
VIII	10^{-8}	Feições microscópicas: detalhes de corrosão, de polimento etc.	Microambiente	Influência da dinâmica e da textura da rocha	

Quadro 1 - Classificação taxonômica dos fatores geomorfológicos segundo Cailleux & Tricart, (1956).
Fonte: Kohler, (2002).

SUPERFÍCIE Km ²	ELEMENTOS MORFOESTRUTURAIS (morfotectônica do relevo de continentes e depressões oceânicas)	CATEGORIAS MORFOESCULTURAIS DO RELEVO (Terra Firme)	CATEGORIAS MORFOESCULTURAIS DO RELEVO (Fundo dos Oceanos e Mares)
10^7 a 10^6	Morfotecturas de 1ª ordem – massas continentais (incluindo plataformas continentais)	Zonas morfoesculturais (morfoclimáticas) zonas de morfoesculturas criogênicas, glaciais, fluviais, áridas e outras	Zonas morfoesculturais: - zonas circumpolares de formas glaciais - zonas de altitudes temperadas - zonas tropicais equatoriais
10^6 a 10^5	Morfotecturas de 2ª ordem Planos de plataforma, zonas montanhosas (orogênicas)		
10^5 a 10^3	Morfoestruturas de 1ª ordem- planaltos, baixas regiões planas, cadeias de montanhas, depressões extensas etc.	Províncias morfoesculturais, províncias de morfoesculturas fluviais do tipo mediterrâneo, províncias de erosão glacial, províncias de acumulação etc	
10^3 a 10^2	Morfoestruturas de 2ª ordem – bombeamentos tectônicos marcados no relevo, depressões tectônicas etc	Regiões morfoesculturais de morainas frontais, regiões de relevo cárstico etc.	
10^2 a 10	Morfoestruturas de 3ª ordem – anticlinais marcadas no relevo, fossas recentes, cumeadas etc.	Formas particulares do relevo determinadas sobretudo pelos fatores exogenéticos. Vales fluviais, formas cársticas, etc	Vales submarinos, formas de acumulação de icebergs
10 a 10^{-1}	Microrelevo tectônico, diques, fendas	Pequenas formas de relevo de origem exógena. Solos poligonais, pequenos hidrolacólitos	

Quadro 2 – Esquema geral de classificação do relevo da Terra segundo Meserjakov (1968), 1968.
Fonte: Rodrigues (2009).

Inspirado em Meserjakov (1968), Ross (1992) apresentou uma proposta taxonômica do relevo para fins cartográficos, identificando as escalas têmoro-espaciais constantes no Quadro 3.

	1º TAXON Unidades Morfoestruturais	2º TAXON Unidades Morfoesculturais	3º TAXON Padrões de Formas Semelhantes
Modelado	Estruturas Dobradas metamorfizadas ou não, configuradas em cinturões orogênicos	Planaltos e serras alongadas, depressões anticlinais e sinclinais e serras residuais	Padrões de formas em cristas, morros e serras
Gênese	Dobramentos gerados a partir de bacias geossinclinais por movimentação crustal	Esculturação por ciclos erosivos que abriram depressões, aplanaram topos e deixaram formas residuais altas	Processos esculturais por dissecação
Cronologia	Diferentes idades. Dobramentos do Pré-Cambriano, Paleo-Mesozóico e Cenozóico	Idades diversas com testemunhos pré-Cenozóicos nos topos planos e altos e nas superfícies de erosão	Idades-fases alternadas secas, úmidas com incisão dos talvegues no Pleistoceno/Holoceno
Modelado	Plataforma ou crátons com ou sem cobertura sedimentar e ocorrência de intrusões – superfícies aplanadas antigas e relevos residuais	Depressões marginais às bacias sedimentares – serras e planaltos residuais de cobertura de plataforma e planaltos em áreas de intrusões e vulcanismo antigo.	Padrões de formas em colinas baixas com vales pouco entalhado nas depressões, morros altos muito dissecados nos planaltos
Gênese	Estruturas complexas que sofreram fases de metamorfismo, magmatismo e ciclos erosivos	Esculturação das depressões marginais por exumação através de eversão, geração concomitante dos planaltos residuais	Processos esculturais por dissecação generalizada
Cronologia	Idades diversas no pré-Cambriano médio e inferior	Idades – Depressões abertas no Cenozóico exumando superfícies aplanadas antigas (pré-Cambriano)	Incisão de talvegues no Pleistoceno-Holoceno
Modelado	Bacias sedimentares amplas com estruturas horizontais ou pouco inclinadas	Depressões periféricas, depressões embutidas, planaltos em patamares, chapadas em bordas de bacias, planaltos residuais	Padrões de formas em colinas de topos convexos e colinas amplas de topos planos com vales de entalhamento variado
Gênese	Formadas por longas fases de sedimentação marinha e continental	Processos erosivos circundenudacionais desencadeados a partir de epirogênese pós-Cretáceo por fases climáticas alternadas secas/úmidas em áreas tropicais	Processos esculturais por dissecação generalizada
Cronologia	Diferentes idades – ao longo do Fanerozóico (Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico)	Idades – abertura das depressões ao longo do Cenozóico sobretudo no Neógeno ressaltando os planaltos nas bordas das bacias	Incisão dos vales no Pleistoceno/Holoceno
	4º TAXON Formas Individualizadas	5º TAXON Tipos de vertentes	6º TAXON Formas lineares ou areolares recentes
Modelado	Cristas monoclinais de bordas de anticlinais e abas de sinclinais; morros isolados ou não no interior das depressões anticlinais	Tipos de vertentes de todos os padrões de forma:	Estes tipos de formas ocorrem em todos os tipos de vertentes
Gênese	Dissecação generalizada com desgaste das vertentes	1 – Modelado dos setores de vertente: a) plano, b) convexo, c) côncavo, d) retilíneo, e) patamares planos, f) patamares em rampa, g) patamares convexos e h) escarpas	1) Modelados: ravinas, voçoroca, cicatrizes de deslizamentos
Cronologia	Pleistoceno/Holoceno	2) Gênese:	2) Gênese: ação antrópica
Modelado	Colinas com diferentes tamanhos	- Setores planos, patamares planos: tendência à infiltração d'água, espessamento do solo e fraca ação mecânica da água. Prevalece a ação química e erosão laminar.	Ravinas: preferencialmente nas vertentes retilíneas e convexas
Gênese	Dissecação com desgaste das vertentes	- Setores convexos, retilíneos, patamares em rampas: tendência a menor infiltração e ao escoamento difuso, passando a concentrado na base, tendência à erosão laminar nos trechos altos e concentrada nos trechos de baixa vertente	Voçoroca: preferencialmente nas vertentes retilíneas, patamares, vertentes côncavas.
Cronologia	Pleistoceno/Holoceno		Cicatrizes de deslizamentos: nas vertentes escarpadas e retilíneas. Secundariamente nas convexas, dependendo da intensidade e volume de chuvas
Modelado	Colinas de topos convexos e colinas de topos planos e amplos	- Setor côncavo: tendência a escoamento concentrado, erosão mecânica com sulcos, ravinas e voçorocas.	
Gênese	Dissecação com desgaste das vertentes através de entalhamento dos vales	- Setor escarpado: tendência a deslizamentos e desmoronamentos	
Cronologia	Pleistoceno/Holoceno		Idades: processos erosivos atuais, associados à inadequação dos manejos e usos dos recursos naturais.

Quadro 3 – Quadro simplificado da classificação do relevo segundo Ross (1992).

Fonte: Moroz Caccia-Gouveia (2010).

Segundo Tricart (1977), as ações antrópicas têm um papel significativo nas escalas têmporo-espaciais dos fenômenos geomorfológicos, e suas derivações podem destruir e construir as formas num tempo bem menor do que nos sistemas naturais. Para Rodrigues (2004), a observação das ações antrópicas implica em incorporar temporalidades e espacialidades próprias, tendo como necessidade a consideração das escalas têmporo-espaciais maiores, além da consideração multi-escalar.

Além das escalas, os fenômenos geomorfológicos e os processos que os geram são resultados da extrapolação de determinados limiares geomórficos, que são limites de processos cumulativos que interrompem uma sequência particular de eventos e introduzem uma nova sequência (RODRIGUES, 2004), e refletem em mudanças significativas na paisagem. O sistema então é submetido a um *stress*, que pode ser externo ou interno, e que gera um novo contexto geomorfológico que se sobrepõe ao anterior de tal maneira que gera uma complexa variedade de mudanças, e que pode inclusive impedir o retorno do mesmo às condições prévias (SCHUMM, 1977).

A análise do papel dos agentes antrópicos e da urbanização sobre os fenômenos geomorfológicos e suas escalas têmporo-espaciais auxiliam diretamente na avaliação comparativa da magnitude das mudanças antrópicas frente às magnitudes existentes nos sistemas naturais ou não urbanizados, que é objetivo principal da tese. Além disso, o reconhecimento dos limiares ultrapassados ou não pelas intervenções antrópicas é que permitirá a compreensão das possibilidades de recuperação do sistema, ou seja, irá

demonstrar até que ponto o sistema geomorfológico pode retornar as condições pré intervenção antrópica (GOUDIE, 1993; RODRIGUES, 2004).

2.2 Cartografia Geomorfológica

O reconhecimento dos fenômenos geomorfológicos é realizado, muitas vezes, por sua espacialização em mapas. Para Van Zuidam (1982), nem sempre o objeto de estudo da Geomorfologia pode ser explicado verbalmente, mas sim descritos por mapas.

Nos mapas geomorfológicos são identificadas principalmente as formas do terreno, assim como suas medidas e dimensões. Porém, faz-se necessário também demarcar os materiais superficiais, os processos e a cronologia e idade das formas (TRICART, 1965; COLTRINARI, 1984; HART, 1986; HAYDEN, 1986)

O grau de padronização e o grau de uniformização das unidades de mapeamento dependem da escala espacial da área mapeada. No caso da Geomorfologia, a escala define a categoria de fenômenos que será mapeada em primeiro plano, considerando que a unidade geomórfica básica deve ser cuidadosamente selecionada para ser homogênea e indivisível na escala escolhida (HAYDEN, 1986).

Tricart (1965) e Coltrinari (1982) compartimentam as formas terrestres segundo sua escala em:

- 1) Relevo. Conjunto das grandes unidades que se distinguem na paisagem, de dimensões quilométricas, onde os aspectos estruturais são mais representativos, sendo passíveis de cartografiação em mapas de escalas pequenas ($\leq 1:500.000$);

2) Modelado. Conjunto das formas associadas à atuação direta ou indireta do clima sobre o relevo, passíveis de cartografiação nas cartas geomorfológicas de detalhe (1:5.000 a 1:25.000) e semi-detalhe (1:50.000 e 1:100.000).

Demek (1967), preocupado com a representação cartográfica das formas conforme sua escala considera três unidades taxonômicas básicas: 1) superfície geneticamente homogênea; 2) formas de relevo e; 3) tipo de relevo. Para o autor as escalas pequenas (1.000.000 e menores) se baseiam na representação dos tipos de relevo, enquanto as médias (1:200.000 a 1:500.000) devem representar as formas concretas do relevo e suas partes, mas já abarcando todos os dados necessários à delimitação dos tipos de relevo e, deste modo, fazer a transição para mapas de escalas pequenas. No caso dos mapas geomorfológicos detalhados (1:10.000 a 1:50.000), o principal conteúdo deve ser as formas de relevo concretas e suas partes, que é feito pela decomposição destas formas de relevo em superfícies geneticamente homogêneas.

Além de seu valor científico puro, os mapas geomorfológicos oferecem subsídios essenciais a projetos de desenvolvimento e gestão territorial, e a estudos de impacto e diagnóstico ambiental, auxiliando assim no uso mais racional da terra (KLIMASZEWSKI, 1982). Eles também são a base de outros mapas e diagnósticos preocupados com a análise sintética da paisagem e com a estabilidade do meio físico, como mapas de fragilidade ambiental (ROSS, 1994), definição de unidades para planejamento regional (ZONNEVELD, 1989), estudos de unidades da paisagem (BERTRAND, 1971; SOTCHAVA, 1978; KLINK, 1981),

estudos de estabilidade do meio (TRICART, 1977; TRICART; KIEWIETDEJONGE, 1992), dentre outros.

Quando inserido dentro da pesquisa geomorfológica clássica, o mapa geomorfológico não se configura apenas como uma tradução gráfica de uma análise geomorfológica, mas sim como a base desta análise, onde são compreendidas as relações espaciais por meio dos compartimentos geográficos identificados.

Isso faz com que este tipo de carta tenha um valor analítico intrínseco constituindo o objetivo da investigação geomorfológica, confundindo-se, inclusive, com seu próprio objeto de estudo, já que auxilia no entendimento genético, dinâmico e espacial das formas da superfície. Isso ocorre principalmente nas escalas maiores, entre 1:5.000 e 1:25.000, excepcionalmente 1:50.000 e 1:100.000, quando o mapa é concebido nos moldes das cartas geomorfológicas de detalhe (TRICART, 1965; COLTRINARI, 1984; RODRIGUES, 1997a).

As cartas geomorfológicas de detalhe devem conter informações:

- Morfométricas - dimensões da forma e dos materiais superficiais;
- Morfográficas - forma real de cada feição da superfície terrestre;
- Morfodinâmicas - processos responsáveis pela configuração atual da paisagem;
- Morfocronológicas - fase morfogenética da forma.

Porém, nem sempre estes níveis de informações são satisfatoriamente alcançados (COLTRINARI, 1982).

Apesar dos esforços de integração das legendas dos mapas geomorfológicos durante a década de 1960, que culminou na publicação do *Manual of Detailed Geomorphological Mapping* (DEMEK, 1972), ainda existe uma grande

diversidade e discordância a este respeito (HAYDEN, 1986). A elaboração de uma legenda uniforme é uma ideia muito ambiciosa de se colocar em prática (KLIMASZEWSKI, 1982), seja devido aos diferentes interesses e finalidades dos mapas geomorfológicos, seja por causa da complexidade intrínseca da ciência geomorfológica (RODRIGUES, 1997a).

Os preceitos e conceitos aqui apresentados direcionam o mapeamento geomorfológico aplicado na pesquisa, auxiliando tanto na definição dos fenômenos geomorfológicos a serem cartografados conforme a escala utilizada, quanto na definição dos elementos da legenda. As cartas geomorfológicas da planície fluvial urbanizada do rio Pinheiros, em escala 1:25.000, em diferentes estágios de perturbação antrópica são a base das análises e dimensionamentos das mudanças ocorridas no sistema.

2.3 Geomorfologia Fluvial

A análise sistêmica permite o entendimento da planície fluvial como um sistema hidromorfológico bem definido, pois possui características geomorfológicas próprias, com formas geradas a partir, principalmente, das ações fluviais, que são sustentadas por determinados materiais superficiais, e que possuem processos genéticos e evolutivos específicos. Estas características geomorfológicas são objeto de estudo da Geomorfologia Fluvial.

A Geomorfologia Fluvial interessa-se pelos processos, formas e materiais relacionados ao escoamento dos rios, englobando assim estudos dos cursos d'água, planícies fluviais e das bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1974; CUNHA, 1994).

A classificação de padrões de canal, bastante enraizada na literatura geomorfológica, foi apresentada por Leopold *et al.* (1964) e separou os rios em três tipos básicos de canais: retilíneo, meândrico e entrelaçado (*braided*). Há também o padrão anastomosado (*anastomosing*), semelhante ao entrelaçado, porém com margens estáveis e predomínio de carga em suspensão (MORISAWA, 1985; KNIGHTON, 1998).

Com base neste conceito, é admitido que o padrão dos canais é função de interações entre um grupo de variáveis contínuas que se interagem, portanto, cada canal seria associado a uma combinação particular destas variáveis. Dentre estas variáveis, podemos citar a vazão, profundidade, comprimento, gradiente, raio hidráulico, dentre outras; porém, o problema ainda é identificar as variáveis mais significativas e como elas controlam o padrão do canal.

É importante notar que estes tipos de canais possuem uma evidente correlação entre a morfologia fluvial (forma) e os sedimentos que as compõem (materiais) que, por sua vez, resultam dos processos que atuam, ou que já atuaram, no sistema (Figura 4).

Padrões de canal	Modelos arquitetônicos fluviais	Elementos arquitetônicos fluviais
meandering meandrante		LA - Macroformas de acreção lateral FF - Finos da planície de inundação CH - Canal
braided entrelaçado		GB - Barras de seixos e cascalhos e formas de leito SG - Sedimentos de fluxos gravitacionais
anastomosing anastomosado		SB - Formas de leito arenosas CS - Depósitos de rompimento de dique

Figura 4 – Padrões de canal e sistemas deposicionais associados.
Modificado de Miall (1996).

O Rio Pinheiros em seu estágio *pré-perturbação* era meandrante. A revisão bibliográfica nos apresenta as principais características geomorfológicas desses sistemas fluviais.

Sistemas Meândricos

A maior parte dos sedimentos depositados neste tipo de sistema é oriunda da migração lateral do canal fluvial depósito resultante tem como característica básica a granodecrescência ascendente (Figura 5).

Nos casos onde a planície de inundação passa por um processo de acumulação vertical, cada pacote que representa a granodecrescência ascendente pode ser considerado como um ciclo de deposição meândrico, pois é resultado da migração lateral do canal e subsequente formação da planície de

inundação, até que o canal retorna a este ponto e dá início a um novo ciclo de deposição.

Figura 5 – Migração lateral em sistemas meândricos e faciologia resultante.
Fontes: (A) Knighton (1998), e (B) Walker (1983).

Conforme Leopold *et al.* (1964), Tricart (1966), Christofolletti (1974; 1981) e Bridge (2003), uma planície fluvial meândrica tem como base três subsistemas fluviais típicos: Canal Fluvial, Planície de Inundação e Terraço Fluvial, (Figura 6).

Figura 6 – Croqui esquemático de uma planície fluvial com os subsistemas e formas associadas.

Org.: Rodolfo A. da Luz.

Em escalas maiores, cada um destes subsistemas possuem unidades hidromorfológicas específicas que, por sua vez, constituem subsistemas próprios (Figura 7):

Figura 7 – Bloco diagrama mostrando os principais elementos morfológicos dos sistemas meândricos.

Fonte: Walker (1983).

Subsistema do canal fluvial²

Corresponde ao leito menor da planície, zona que contém os caudais habituais do rio. É onde ocorre a vazão de margens plenas (vazão que preenche o leito menor do canal fluvial, acima da qual ocorrerá o transbordamento para a planície de inundação). Apresenta as seguintes unidades morfológicas:

- Canal ativo: em sistemas meândricos possuem uma seção transversal assimétrica em seus trechos curvos, com uma margem côncava e profunda onde o fluxo é mais rápido e uma margem convexa e rasa onde o fluxo é mais lento.
- Meandros ou canais abandonados (*oxbow*): representa os trechos abandonados das curvas meândricas que, ao serem separados do canal ativo do rio, passam a sofrer processos de colmatção. Os abandonos podem ocorrer de três maneiras (Figura 8): 1) pelo encurtamento do

² Optou-se por utilizar o termo “canal fluvial” para diferenciá-lo da terminologia “canal”, que muitas vezes se refere a canais artificializados, como é o caso do Canal Pinheiros, conforme terminologia adotada pela Empresa Metropolitana de Águas e Energia S. A. (EMAE) (fonte: www.emae.sp.gov.br/canais.htm).

meandro; 2) pela separação do meandro em função do corte do pedúnculo (*cutoff*) e; 3) pelo deslocamento súbito de uma parte ou conjunto do canal meândrico (avulsão) (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Figura 8 – Tipos de abandonos de canal em sistemas meândricos.
Fonte: Christofolletti (1981).

- Barras de acreção lateral (*point bars*): ambiente de deposição nas margens convexas dos canais ativos, compostas por sedimentos grosseiros (principalmente areais) depositados numa primeira etapa de sedimentação, recobertos por sedimentos mais finos depositados por correntes secundárias numa segunda etapa de evolução (NANSON, 1980; BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

Os canais fluviais meândricos podem ser analisados segundo alguns parâmetros geométricos (Figura 9).

Figura 9 – Principais parâmetros geométricos de um canal meândrico.
Modificado de Christofolletti (1974) e Mangelsdorf *et al.*, (1990)

Estes parâmetros geram informações que podem ser aproveitadas em interpretações cronológicas e paleoambientais (CHRISTOFOLETTI, 1974), e são indicadores quantitativos úteis para a avaliação do impacto humano em sistemas hidro-geomorfológicos (RODRIGUES, 2010).

Dentre estes parâmetros geométricos, os mais passíveis de uso na presente pesquisa são a largura do canal (W), o comprimento do canal (L) e o índice de sinuosidade (Is), que é a relação entre o comprimento do canal e o comprimento do eixo do vale (T) (Equação 1).

$$Is = \frac{L \text{ (comprimento do canal)}}{T \text{ (comprimento do vale)}} \quad (1)$$

A análise das relações entre estas variáveis morfológicas com as variáveis de processos, como vazão e velocidade, geram equações que são determinadas por meio de estudos de “geometria hidráulica”, principalmente para canais de leito móvel, onde são comuns as equações de potência (LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964; WHARTON *et al.*, 1989; WHARTON, 1995; KNIGHTON, 1998) (Equação 2).

$$y = a x^{\beta} \quad (2)$$

Onde y é a variável dependente de x , e α e β são coeficientes a serem determinados. Assim, podem ser estabelecidas relações matemáticas entre, por exemplo, descarga e largura do canal (W), descarga e velocidade média, ou descarga e profundidade do canal (Figura 10).

Figura 10 – Mudanças na largura, profundidade média e velocidade média com relação à descarga/vazão. Córrego Seneca em Dawsonville, Maryland (EUA).
Fonte, Leopold *et al.* (1964).

Subsistema da planície de inundação

Corresponde ao leito maior, periodicamente ocupado pelas águas das inundações, quando a vazão de margens plenas é superada e ocorre o transbordamento do canal. A planície de inundação é também parte do canal natural do rio durante as inundações (leito maior sazonal) (HOCKIN; WHITTLE; BAILEY, 1978; BRIDGE, 2003).

Para sistemas meândricos, Nanson & Croke (1992) identificam dois processos principais de formação das planícies de inundação: 1) acreção lateral por meio das barras (*point-bars*); 2) acreção vertical por meio dos fluxos de cheia.

As seguintes unidades morfológicas são reconhecidas:

- Cordões marginais convexos ou arco meândrico (*meander scrolls* ou *ridge-swale*) - saliências e depressões nas margens convexas das curvas meândricas formados à medida que o canal fluvial migra lateralmente em direção à margem côncava, devido à acreção lateral.
- Diques marginais (*levee*) - cristas ou saliências formadas acima da superfície da planície de inundação e adjacentes ao canal fluvial, geralmente contendo material de maior granulometria depositado durante as fases de transbordamento.
- *Backswamp* (Bacias de inundação ou *floodbasin*) - terrenos baixos localizados entre os diques marginais e os terraços ou vertentes onde predominam depósitos de sedimentos finos. Funciona como áreas de amortecimento para as vazões de pico devido ao represamento das águas das inundações, que são direcionadas gradualmente ao lençol freático.
- Depósitos de rompimento de dique (*crevasse splay*) - depósitos formados durante as cheias pelo rompimento dos diques marginais.

Subsistema dos terraços fluviais

Constituem planos horizontais topograficamente mais altos que a planície de inundação e, devido a sua posição altimétrica, o intervalo de recorrência das inundações nos terraços é maior.

Os terraços podem ser definidos como antigas planícies de inundação que foram abandonadas, sendo compostos então pelos materiais sedimentares típicos destas planícies (LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964).

Fundamentalmente, a formação de terraços ocorre por dois tipos de controles, que podem atuar de maneira individual ou conjunta (RICHARDS, 1985):

1) mudanças no nível de base relativo³; 2) variações na vazão e na carga sedimentar imposta pela bacia hidrográfica. Estes controles podem ser resultados tanto de mudanças climáticas quanto de alterações tectônicas, e geram sequências evolutivas que possibilitam arranjos diversos entre os terraços (CHRISTOFOLETTI, 1981).

É comum a ocorrência de sequências de terraços de diferentes níveis altimétricos e idades. Terraços mais altos e mais antigos são raramente atingidos por cheias e sua gênese está ligada a mudanças no nível de base decorrentes de eventos externos como mudanças climáticas ou eventos tectônicos. Os terraços mais baixos e mais recentes são atingidos ocasionalmente por cheias e podem ser resultado da dinâmica interna do sistema, como uma resposta a variações cíclicas na vazão e carga sedimentar que não são relacionadas a mudanças no nível de base (SCHUMM, 1977).

Os conceitos trabalhados em Geomorfologia Fluvial apresentam as características do sistema hidromorfológico que predominava no rio Pinheiros até a sua retificação e aterramento de sua planície: *sistemas meândricos*. A caracterização da área em seu estágio *pré-perturbação*, ou seja, antes da urbanização, passa pelo levantamento das referências morfológicas, sedimentares e hidrodinâmicas típicas deste tipo de sistema, principalmente aquelas relacionadas aos sistemas meândricos de alta sinuosidade em meio tropical úmido.

³ Nível de base, no caso dos rios, é considerado o nível máximo onde um canal pode ser efetivamente erosivo, controlando toda dinâmica erosiva e sedimentar que ocorre a montante deste nível, ou seja, o ponto limite abaixo do qual a erosão das águas correntes não pode trabalhar (GUERRA, 1980; GOUDIE, 2006; OSTERKAMP, 2008).

2.4 Geomorfologia Antrópica

Os sistemas geomorfológicos vêm sofrendo modificações antrópicas desde a pré-história (GOUDIE, 1981; TOY; HADLEY, 1987; HOOKE, 2000), porém, conforme Goudie & Viles (1997), a manipulação antrópica na era moderna se caracteriza por:

- 1º crescimento veloz dos modos pelos quais os humanos afetam o meio em decorrência do avanço tecnológico;
- 2º mudanças na escala dos impactos. Problemas que antes afetavam somente uma pequena área têm se tornado problemas regionais ou até mesmo globais;
- 3º provável aumento na complexidade, magnitude e frequência dos impactos;
- 4º agravamento dos impactos devido ao aumento do consumo e crescimento populacional.

Segundo Gregory (1985a), apesar do efeito da atividade humana sobre o ambiente ser muito claro e crescente, o seu significado não atraiu muita atenção dos geógrafos físicos até os anos 1950 e 1960. No entanto, alguns trabalhos anteriores a esse período são considerados referências importantes para a Geomorfologia Antrópica.

Para Goudie (1993), a preocupação a respeito do poder do homem como agente geomorfológico já existia no fim do século XVIII e início do XIX, em estudos de cientistas como Fabre, Sarrel, Lyell e Humboldt, que se referiram principalmente às mudanças hidrológicas causadas pelo desmatamento. Porém, vários autores reconhecem que o trabalho “*Man and Nature*”, de George Perkins Marsh de 1864, se configura como um marco neste tema (NIR, 1983; GREGORY, 1985a; GOUDIE, 1993; RODRIGUES, 2004), pois ele enfatiza a magnitude e perspectivas futuras das mudanças feitas pelo homem (GREGORY; WALLING, 1987).

Posteriormente, o trabalho do geógrafo russo A. I. Woeikof de 1901, intitulado “*De l’influence de l’homme sur la nature*”, ganha destaque por ser o primeiro a introduzir questões sociais na análise, chamando a atenção para o crescimento das cidades e para o aumento das áreas de campo às custas das florestas (NIR, 1983).

R. L. Sherlock em 1922 retoma o tema ao publicar o trabalho “*Man as a Geological Agent*”. Segundo Nir (1983) e Gregory & Walling (1987), o estudo de Sherlock trata pela primeira vez das diversas atividades humanas, incluindo a atividade industrial e tecnológica, além de considerar a ação humana um agente de denudação, muitas vezes mais poderoso do que todos os agentes atmosféricos combinados.

Até a metade do século XX, a preocupação da ação humana como agente geomorfológico aparece principalmente no que diz respeito à conservação dos solos, refletindo o crescimento da consciência de um problema global que já chamava a atenção: a erosão dos solos e uso agrícola das terras (GREGORY & WALLING, 1987). Segundo Nir (1983), neste período surgem estudos que fazem referências diretas ao entendimento do homem como agente geomorfológico, como, por exemplo, Aufrère que em 1929 publica um trabalho sobre agricultura com um capítulo intitulado “*L’Homme, agent géomorphologique*” e, Fels que em 1935 publica “*Der Mensch als Gestalter der Erde*”.

Durante os anos 1950 e 1960 a Geomorfologia Antrópica começa a se delinear como ramo da ciência geomorfológica. Tricart (1953 *apud* NIR, 1983)⁴ emprega o termo “*homme, agent d’érosion*” e atribui ao homem a introdução na natureza de processos geomorfológicos até então desconhecidos. Em 1955, o

⁴ TRICART, J. La géomorphologie et les hommes. **RdGD**, 4, 1953, p. 113-156.

simpósio internacional “*Man’s Role in Changing the Face of the Earth*” reúne especialistas de diversas áreas para tratar do tema e, segundo Gregory & Walling (1987), os trabalhos de Marsh e Woeikof foram os grandes estímulos intelectuais do simpósio.

Durante a década de 1960, começam a ser elaboradas propostas de categorização das mudanças causadas pela atividade humana na paisagem, e se inicia uma nova onda de pesquisas envolvendo questões até então negligenciadas, como a influência da urbanização no meio natural (NIR, 1983).

O reconhecimento da Geomorfologia Antrópica como um ramo da ciência geomorfológica é analisada por Fels, em 1965, em seu artigo “*Nochmals: Anthropogene Geomorphologie*”. Inicialmente, o autor destaca que os estudos anteriores subestimavam a atividade humana como agente criador de formas da superfície. Em seguida, Fels (1965) demonstra a necessidade de tratamento sistemático dos processos geomorfológicos antrópicos, e classifica os impactos antrópicos nas formas da superfície em: impactos diretos (movimentos de massa causados por construções, mineração e agricultura, e impactos sobre as águas continentais devido ao seu uso); e impactos indiretos (desmatamento e alterações climáticas).

Ao analisar a ação humana como um agente geomorfológico efetivo, Brown (1970) situa o *homo sapiens* junto aos processos exógenos, assim como as geadas, o intemperismo químico, a erosão pela água corrente, a movimentação do gelo, os sopros dos ventos e o quebrar das ondas. O autor distingue três categorias de ação geomorfológica antrópica: 1) Direta - modificações intencionais na forma da superfície; 2) Incidental, mas com efeitos diretos – efeitos secundários de uma ação intencional, por exemplo, subsidência sobre

túneis de mineração; 3) Indireta, modificações nos processos geomorfológicos, por exemplo, a potencialização da ocorrência de movimentos de massa após o desmatamento da vertente.

Além de sua influência nos processos exógenos, Demek (1973) destaca que a ação antrópica também afeta os processos endógenos, produzindo terremotos e movimentos isostáticos por meio de grandes estruturas de engenharia como os reservatórios, e de grandes explosões como as produzidas por bombas atômicas. O autor também considera os efeitos da ação antrópica em diferentes zonas climato-geomorfológicas.

Durante a década de 1970, a necessidade de uma melhor compreensão da relação homem-meio, reforçada pela ampliação das preocupações ambientais, fez com que a ação antrópica passasse definitivamente a ser elemento essencial da pesquisa em Geografia Física. Chorley (1973 *apud* GREGORY & WALLING, 1987)⁵, ao analisar as relações sistêmicas na Geografia Física, afirma que qualquer metodologia de análise geográfica que não reconheça o controle do ambiente exercido pelas sociedades humanas está condenada à obsolescência. Tricart (1977) propõe a classificação dos meios de acordo com seus graus de estabilidade, inserindo os processos antrópicos como uma importante modalidade de processos superficiais.

O avanço do tema durante a década de 1970 permite que estudos específicos a respeito do significado da atividade antrópica sobre determinados processos e elementos estudados pelo geógrafo físico sejam desenvolvidos(GOUDIE, 1981; GREGORY; WALLING, 1987). As pesquisas passam também a se preocupar em definir bases metodológicas para o

⁵ CHORLEY, R. J. Geography and human ecology. In: R. J. CHORLEY (Ed.). **Directions in Geography**. London: Methuen, 1973, p. 155-169.

dimensionamento da desigual distribuição dos diferentes níveis de influência antrópica (DREW, 1986).

No fim da década de 1970, a Geomorfologia Antrópica já é aceita plenamente como um ramo da Geomorfologia (NIR, 1983; RODRIGUES, 1999), há um maior desenvolvimento de propostas metodológicas de dimensionamento dos impactos antrópicos no relevo, e da sistematização destes impactos em categorias, aprofundando as propostas de Fels (1965) e Brown (1970).

A ação humana sobre a superfície modifica a composição das formas por meio de materiais artificiais, denominados “depósitos tecnogênicos” (PELOGGIA, 1997). De acordo com Chemekov (1983 *apud* OLIVEIRA, 1990)⁶ os depósitos tecnogênicos podem ser: 1) construídos: transporte e deposição por ação direta, por exemplo aterros, corpos de rejeito, bota-foras; 2) induzidos: processos naturais modificados, por exemplo, assoreamento; 3) modificados: alterações na composição química e física de depósitos naturais pré-existentes, por exemplo, via efluentes, esgoto, adubos. Estes depósitos passam a ser marcantes na paisagem e nos registros estratigráficos após a Revolução industrial, caracterizando inclusive um novo, mas ainda informal, período geológico, o Antropoceno (ZALASIEWICZ *et al.*, 2008; PRICE *et al.*, 2011; ZALASIEWICZ *et al.*, 2011) .

Desta maneira, o homem é hoje reconhecido como um agente ativo nas modificações das formas, dos materiais e dos processos da superfície da Terra. Nir (1983) considera que o homem interfere diretamente no estado de equilíbrio dos sistemas naturais (*steady state*), e chama a atenção para a necessidade de se avaliar o papel desta interferência no sistema, tendo em vista as seguintes

⁶ CHEMEKOV, Y. F. Technogenic Deposits. Abstracts of 11th Inqua Congress, Moscow, 3, 1983, p. 62,

categorias de intervenção: retirada da cobertura vegetal, pastagem, agricultura, meios de transporte, gestão dos rios, gestão das áreas costeiras e assentamentos humanos. O autor propõe uma metodologia de pesquisa que inclui na abordagem geomorfológica, a abordagem histórica e a abordagem socioeconômica, que seriam integradas pela abordagem de planejamento (*planner's approach*).

Fontes históricas podem fornecer importantes informações para datações e análises dos processos geomorfológicos ao longo dos últimos 100 anos (VERSTAPPEN, 1983; GOUDIE, 1993; RODRIGUES, 2004), principalmente nos países do “Novo Mundo” onde, especialmente os mapas históricos, apresentam com boa qualidade cartográfica os sistemas naturais antes das intervenções antrópicas (HOOKE; KAIN, 1982). Esta abordagem é operacionalizada por meio da análise de documentos geográficos como aerofotos, cartas e imagens de satélite e radar de diferentes períodos (RODRIGUES, 2001b); levantamentos hidráulicos e climáticos (vazão, pluviosidade etc.); estruturas permanentes na paisagem (pontes, represas, estradas etc.); cadastros fundiários; fotografias antigas; descrições de naturalistas, viajantes e escritores; dados arqueológicos; depósitos de lixo; entrevista com antigos moradores (GURNELL; PEIRY; PETTS, 2003; TRIMBLE, 2008; MOROZ-CACCIA GOUVEIA; RODRIGUES, 2012).

Toy & Hadley (1987) também ressaltam a importância da abordagem histórica, mais especificamente com relação ao dimensionamento dos impactos antrópicos no relevo, e consideram que os parâmetros primordiais para tal dimensionamento seriam a área, a intensidade (magnitude), a duração e os efeitos. Os autores ainda consideram que um estudo geomorfológico com foco na análise e dimensionamento dos impactos deve ser dividido em três recortes temporais: 1) estágio de pré-perturbação, quando o sistema não apresentava

qualquer pressão antrópica; 2) estágio de perturbação ativa, quando o sistema sofre uma grande pressão antrópica representada por grandes mudanças em sua configuração anterior; 3) estágio pós-perturbação, quando o sistema passa a responder às pressões antrópicas de alta magnitude anteriores (DOUGLAS, 1983; NIR, 1983; RODRIGUES, 1997a).

Goudie (1993) destaca a necessidade de se aprofundar o entendimento das sensibilidades e dos limiares dos sistemas geomorfológicos por meio da implantação de estudos de longo prazo em locais específicos. Estudos que tenham o objetivo de gerar uma base de dados a respeito das mudanças ambientais de influência antrópica ou não, e das taxas e mecanismos que comandam os processos geomorfológicos. O monitoramento destes locais e destes mecanismos seria possível por meio de análises de sequências cartográficas (abordagem histórica), produtos de sensoriamento remoto e técnicas de datação.

O dimensionamento e a identificação da magnitude dos processos e das mudanças ambientais oriundas da ação humana passam também pela compreensão das escalas têmporo-espaciais envolvidas, tanto aquelas relativas aos processos naturais quanto as relativas aos processos antrópicos. Para Turner *et al.* (1990), a atividade antrópica pode provocar mudanças ambientais em três escalas espaciais: Intrarregional, Inter ou Transrregional e Regional-Global, e requer atenção do pesquisador aos dois tipos de mudanças globais:

- 1) mudanças sistemáticas: aquelas que operam globalmente nos maiores sistemas da geosfera-biosfera, como a emissão de gases na atmosfera por atividades industriais, agrícolas e de transportes, e a mudança no albedo devido ao desmatamento;

2) mudanças cumulativas, que representam a acumulação global de mudanças locais, como poluição do ar e da água, extinção e alteração genética de espécies, desmatamento, esgotamento de solos.

No entanto, ainda faltam respostas adequadas para a identificação das contribuições das dinâmicas natural e antrópica segundo sua escala, principalmente no que diz respeito às escalas espaciais globais e escalas temporais acima das milenares (COLTRINARI, 2001).

Ao revisar os estudos que consideram a atividade humana na superfície terrestre até a década de 1990, Rodrigues (1997a; 2004) ressalta que não havia até então um real aproveitamento dos mesmos, pois, apesar da disponibilidade de noções, categorias, princípios e metodologias fornecidos, o conhecimento gerado vinha sendo reproduzido de maneira descontínua e desarticulada.

Durante a década de 1990, essa lacuna começou a ser parcialmente preenchida. A crescente preocupação com as mudanças ambientais globais promoveu, nas Ciências da Terra, um esforço em direção à sistematização dos estudos a respeito do dimensionamento destas mudanças (RODRIGUES, 2004). Neste período foram definidos parâmetros, técnicas, medidas, escalas e indicadores para a observação padronizada das mudanças nas taxas, magnitude e frequência dos processos geomorfológicos, sejam eles gerados pela ação antrópica ou não, e que foram denominados como *geoindicadores* (COLTRINARI; MCCALL, 1995; BERGER, 1996; COLTRINARI, 1997).

A sistematização dos *geoindicadores* de mudanças ambientais articula estudos até então pouco convergentes (RODRIGUES, 2004), e colabora no aprofundamento da compreensão dos limites entre os efeitos dos processos naturais e aqueles dos processos antrópicos (COLTRINARI, 2001). A lista inicial

de geoindicadores tem sido então complementada e reformulada, tendo em vista os diversos domínios morfoclimáticos, sistemas geomorfológicos, modalidades de intervenção antrópica e escalas têmporo-espaciais (COLTRINARI, 1996; GUPTA, 2002; RODRIGUES; COLTRINARI, 2004; RODRIGUES, 2010).

A quantificação de alguns geoindicadores, como a análise de taxas de retirada e deposição de materiais por atividades antrópicas realizada por Douglas & Lawson (2000), sugere que as massas envolvidas nestas transferências representem mais do que o dobro da quantidade de materiais transferidos dos rios para os oceanos. Os autores afirmam então que, em termos de escavação e preenchimento de setores da superfície da Terra, a atividade antrópica é o agente geológico mais eficiente do presente.

Rodrigues (2004) apresenta 10 princípios basilares para a avaliação e dimensionamento da atividade antrópica na superfície terrestre:

- 1 – Observar as ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre.
- 2 - Investigar padrões de ações humanas significativos para a morfodinâmica.
- 3 – Investigar a dinâmica e a história cumulativa das intervenções humanas, iniciando com os estágios pré-perturbação.
- 4 – Empregar diversas e complementares escalas espaço-temporais.
- 5 – Empregar e investigar as possibilidades da cartografia geomorfológica de detalhe.
- 6 – Explorar a abordagem sistêmica e a teoria do equilíbrio dinâmico.
- 7 – Utilizar a noção de limiares geomorfológicos e a análise de magnitude e frequência.
- 8 – Dar ênfase à análise integrada de sistemas geomorfológicos.
- 9 – Levar em consideração as particularidades dos contextos morfoclimáticos e morfoestruturais.
- 10 – Ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia dos processos derivados e não derivados de ações antrópicas.

A sistematização mais recente da Geomorfologia Antrópica como ramo da Geomorfologia é apresentada por Szabó *et al.* (2010), onde a Geomorfologia Antrópica é reconhecida como uma disciplina de caráter aplicado, relacionando-se diretamente com a abordagem sistêmica, a gestão ambiental e a ecologia da paisagem.

Szabó, Dávid e Lóczy (2010), destacam que a magnitude das mudanças de origem antrópica depende da intensidade da intervenção antrópica e da suscetibilidade do sistema físico. Os autores reconhecem que a ação antrópica pode até mesmo superar a efetividade dos processos exógenos naturais, mas que seria insignificante quando comparada às forças naturais endógenas.

A sistematização leva ao reconhecimento de dois tipos de processos antrópicos e três tipos de formas de superfície geradas pela ação antrópica. Os processos seriam divididos em processos diretos (construção, escavação e intervenções hidrológicas); e processos indiretos (aceleração da erosão e sedimentação, subsidência, rupturas de vertente, desencadeamento de terremotos devido a explosões). As formas de superfície resultantes seriam: as formas de escavação, as formas de agradação e as formas de aplainamento. Além disso, são identificados oito campos de pesquisa da Geomorfologia Antrópica: mineração, indústria, urbanização, transportes, gestão das águas, agricultura, atividades militares e guerras e turismo e esportes (SZABÓ; DÁVID; LÓCZY, 2010).

2.4.1 Geomorfologia e urbanização

Conforme visto em Nir (1983), a ação antrópica no relevo deve ser entendida como um conjunto de modalidades de intervenção, dentre estas modalidades está a urbanização. Lima (1990), ao analisar os efeitos da urbanização revela que essa

modalidade de intervenção pode estar diretamente relacionada às mudanças diretas na morfologia.

É no momento em que a urbanização passa a ter grande expressão espacial ao redor do mundo que a preocupação com suas consequências no meio físico se amplia (RODRIGUES, 2004), sendo que a década de 1970 registra os primeiros trabalhos de Geografia Física Urbana (GREGORY & WALLING, 1987). Cooke (1976) e Coates (1976 *apud* BATHERELLOS, 2007)⁷ ao tratar da Geomorfologia Urbana destacam o caráter aplicado da disciplina, uma vez que o cientista deve ir além da produção do conhecimento do ambiente físico urbano, pois ele deve estar envolvido em tomadas de decisão a respeito do planejamento e gestão da cidade e dos riscos geomorfológicos associados.

A construção de uma cidade cria novas paisagens, que envolvem uma significativa transformação na circulação de energia, água e materiais do sistema físico pré-existente (DOUGLAS, 1983). Estas transformações resultam na interrupção dos processos de formação dos solos nas áreas construídas e pavimentadas, na formação de novos solos nos parques e jardins, na redução da rede hidrográfica e na reconstrução e regularização dos divisores de água (KOTLOV, 1972 *apud* NIR, 1983)⁸.

As principais consequências geomorfológicas da urbanização são (DOUGLAS, 1983; GUPTA, 2002; CSIMA, 2010):

- Diminuição da superfície de escoamento devido à impermeabilização.
- Esgotamento do lençol freático.

⁷ COATES, D. **Urban Geomorphology**. Colorado: USA Geological Society of America, Sp. Paper 174, 1976. 166 p.

⁸ KOTLOV, E. V. Modification in the geological environment resulting from growth of cities. **24th. Intern. Congr. Geol.**, Symposium 1, Eng. Geol., Ottawa, Geol. Surv. of Canada, 1971, p. 36.

- Acentuação da instabilidade de vertentes levando ao aumento da recorrência e magnitude de processos geomorfológicos associados a erosões e movimentos de massa.
- Alterações nos canais fluviais naturais.
- Aumento da recorrência e magnitude das enchentes.
- Formação de novas superfícies junto a edificações e outras estruturas (terraços, taludes, drenagens e reservatórios artificiais etc.).
- Destruição da maioria das pequenas feições morfológicas devido às construções.
- Desabamento de cavas artificiais produzidas durante obras de engenharia.
- Formação de aterros, resultantes da acumulação de resíduos e lixo.
- Preenchimento de depressões naturais ou artificiais por entulho de obras ou materiais escavados durante a instalação de fundações.

Para Lima (1990) e Rodrigues (2004), o entendimento da urbanização como um fenômeno geomorfológico deve, além de buscar dimensionar a intervenção urbana nos processos, materiais e formas da superfície, reconhecer as várias modalidades de intervenção antrópica relacionada à urbanização, conforme a classe social e técnicas de apropriação do meio físico envolvidas.

Rodrigues (2005) salienta que a urbanização pode ser detalhada conforme o padrão de arruamento, densidade das edificações e lotes, pela fase de consolidação urbana, ou ainda de acordo com a extensão, profundidade e densidade das novas formas e volume de remanejamento ou substituição de materiais superficiais (DOUGLAS; LAWSON, 2000; RODRIGUES; COLTRINARI, 2004; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010; CLARO, 2013).

Vários autores apontam para a necessidade de se reconhecerem os estágios pré-urbanização e os diversos estágios de consolidação urbana (DOUGLAS, 1983; VERSTAPPEN, 1983; TOY; HADLEY, 1987; RODRIGUES,

1997b), que podem ser divididos minimamente em três (WOLMAN, 1967; DOUGLAS, 1983; NIR, 1983; LIMA, 1990):

- 1) estágio pré-perturbação: predominantemente rural, quando, no geral, as forças geomorfológicas se encontram estáveis⁹;
- 2) estágio de perturbação ativa: quando os terrenos estão totalmente expostos às influências exógenas devido às atividades construtivas;
- 3) estágio pós-perturbação¹⁰: uma nova morfologia se estabelece, sobre superfície pavimentadas, com canais fluviais canalizados ou retificados.

Os principais métodos para a realização deste reconhecimento são a abordagem histórica (NIR, 1983; DOUGLAS, 1983; DOUGLAS, 2005a; TOY; HADLEY, 1987; GOUDIE, 1993; RODRIGUES, 2001b), e a cartografia geomorfológica (COOKE, 1976; RODRIGUES, 2004).

A abordagem histórica é essencial para os estudos geomorfológicos em ambientes urbanos, uma vez que há uma grande dificuldade em estabelecer limites claros entre os efeitos dos processos naturais e aqueles dos processos antrópicos devido à intensa dinâmica de ocupação destes ambientes. Portanto, tanto a caracterização pré-perturbação quanto a dos estágios de ocupação urbana, muitas vezes tem de ser baseada em estudos históricos. O uso da historiografia, iconografia, cartografia antiga e toponímia em estudos geomorfológicos em áreas urbanas é demonstrado por Rodrigues (2010), Moroz-Caccia Gouveia & Rodrigues (2012) e Berges (2013), enquanto proposta de análise geomorfológica sistematizada, configura-se no que Rodrigues & Goudie (no prelo) denominam de Geomorfologia Urbana Histórica.

⁹ Estabilidade não remete à inatividade. O conceito indica que os elementos ativos do sistema estão em equilíbrio uns com os outros, num certo tempo e espaço, em estado de ajustamento contínuo (HACK; GOODLETT, 1960; NIR, 1983; AHNERT, 1994).

¹⁰ Este não deve ser entendido como o estágio final, uma vez que uma cidade em constante transformação socioeconômica nunca atingirá um estágio final (NIR, 1983)

A cartografia geomorfológica, especificamente nas escalas de detalhe, potencializa a discriminação e dimensionamento dos efeitos das ações antrópicas, permite análises retrospectivas e evolutivas e auxilia na identificação de ações e agentes sociais envolvidos (RODRIGUES, 2004). Além disso, os mapas subsidiam a gestão ambiental (VERSTAPPEN, 1983), fornecem bases para o planejamento urbano e são instrumentos de transferência de informação (GUPTA; AHMAD, 1999).

Geoindicadores também auxiliam no reconhecimento das mudanças antrópicas em ambientes urbanos, porém, as características intrínsecas à urbanização devem ser consideradas. Ao apresentar uma lista de geoindicadores passíveis de serem utilizados em ambientes urbanos tropicais, Gupta (2002) destaca a rapidez e intensidade na qual esse tipo de ambiente é degradado, o que requer a aplicação de geoindicadores que possam registrar séries de mudanças rápidas de curto-prazo e de vários tipos.

2.4.2 Geomorfologia e urbanização em planícies fluviais

Segundo Rodrigues (2004), dentre as análises geomorfológicas voltadas à urbanização, tem havido um predomínio de estudos de bacias hidrográficas e aos sistemas fluviais. Possivelmente, esse predomínio ocorra por causa da significativa modificação, visível na escala da vida humana, que os sistemas fluviais passam a sofrer por causa da urbanização pós-industrial.

Terrenos próximos aos rios são locais favoráveis ao desenvolvimento de uma cidade, porém, devido à dinâmica de cheias, as planícies de inundação e os canais fluviais estiveram relativamente livres da ocupação urbana por séculos, deixando a ocupação restrita aos terraços fluviais. Com o crescimento industrial a partir do fim do século XIX cresce a demanda por terra nas cidades, fazendo com

que as planícies de inundação e os canais fluviais passassem a ser urbanizados (DOUGLAS, 1983).

Os sistemas fluviais urbanos passam então a sofrer modificações diretas por causa da premente necessidade de controle de enchentes, do aumento da vazão do canal devido ao aumento do escoamento da bacia hidrográfica por causa da impermeabilização, e da drenagem dos terrenos inundáveis (GREGORY, 1985b; GREGORY, 1987; HOCKIN, 1985; PORTO *et al.*, 1993). As principais intervenções diretas no sistema são: construção de reservatórios; retificação, canalização e alargamento de canais; manipulação das margens e construções de diques; aterramento da planície de inundação.

Evidências documentais e mapas têm sido utilizadas para auxiliar na reconstrução da paisagem fluvial pré-industrial, para determinar taxas, magnitudes, componentes e localização das mudanças nos rios e planícies; para prever instabilidades, futuras mudanças e os efeitos de novos impactos sobre os rios; e para avaliar a extensão e distribuição dos ajustes do canal fluvial (PETTS, MOLLER e ROUX, 1989; GREGORY, DAVIS e DOWNS, 1992). As rápidas respostas dos canais fluviais quando submetidos a algum *stress*, como a urbanização, tornam-nos bastante adequados para aplicação da abordagem histórica, justamente por envolver uma escala temporal apropriada para o registro destas mudanças (HOOKE; KAIN, 1982)

Os efeitos da urbanização nos sistemas geomorfológicos fluviais dependem das características físicas locais e das características e estágio da urbanização. As generalizações a respeito desses efeitos devem ser realizadas com cautela, principalmente em meio tropical úmido, onde há uma escassez de

estudos (CHIN, 2006) e dados disponíveis (GUPTA; AHMAD, 1999). No entanto, a revisão bibliográfica indica algumas aproximações, ainda que genéricas.

2.4.2.1 Efeitos Hidrodinâmicos e inundações urbanas

Segundo Kibler (1982 *apud* GOUDIE & VILES, 1997)¹¹, a urbanização resulta na seguinte sequência de efeitos hidrodinâmicos: diminuição da interceptação e evapotranspiração durante o estágio de desmatamento; diminuição da infiltração, rebaixamento do lençol freático e aumento dos fluxos torrenciais durante o estágio de perturbação ativa (construções); aumento da área impermeabilizada e do escoamento durante o estágio de pós-perturbação; enchentes locais e concentração dos fluxos de água após a implantação de galerias pluviais e regularização de canais.

A urbanização resulta em um aumento da vazão de pico em até 7 vezes (TUCCI, 2003) (Figura 11) e na redução do tempo de retardamento do canal fluvial às vazões (CARTER, 1961 *apud* NIR, 1983¹²; GREGORY, 1977; PARK, 1977; MORISAWA, 1985; RICHARDS, 1985; PORTO *et al.*, 1993; GOUDIE; VILES, 1997; CHURCH *et al.*, 2009). Chin (2006) identifica um aumento de 2 a 4 vezes na vazão de pico e uma diminuição pela metade a um quinto do tempo de retardamento do canal às vazões de cheia.

¹¹ KIBLER, D. F. (Ed.) **Urban stormwater hydrology**. Washington DC: American Geophysical Union, 1982.

¹² CARTER, A. W. Magnitude and frequency of floods in suburban areas. **US. Geol. Surv. Prof. Pap.**, 424, 1961, p. 9-11.

Figura 11 - Aumento da vazão média de inundação (R) em função da área impermeável e da canalização do sistema de drenagem.

Fonte: Leopold (1968 *apud* TUCCI; BERTONI, 2003)¹³.

A urbanização também é responsável pelo aumento da produção de sedimentos no sistema, seja pela exposição dos solos durante as fases construtivas da cidade, seja pela geração de resíduos sólidos (lixo), e pela deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea. Há ainda a potencialização da deposição de sedimentos e lixo e a redução do escoamento pluvial e fluvial devido à obstrução de fluxos d'água por aterros, construções e redes de drenagem inadequadas (TUCCI; BERTONI, 2003).

A quantidade de água no sistema também pode ser modificada pela importação e exportação de água por causa de sistemas de transposições entre bacias, comumente feita para fins de abastecimento e despejo de esgotos (RICHARDS; WOOD, 1977; LINDH, 1972).

A urbanização também altera a frequência e magnitude das inundações. De acordo com Douglas *et al.* (2007) as inundações em áreas urbanas e seus impactos são frequentemente causadas por uma combinação de fatores naturais

¹³ LEOPOLD, L.B. **Hydrology for Urban Planning**: A Guide Book on the Hydrologic Hydrologic Effects on Urban Land Use. USGS circ. 554, 1968, 18p.

e antrópicos, incluindo mudanças na bacia hidrográfica e no uso da terra da planície de inundação, crescimento populacional, crescimento de estruturas viárias e intervenções de engenharia hidráulica. Douglas *et al.* (2010) apontam dois tipos de inundações urbanas:

1) inundações fluviais: relacionadas ao transbordamento dos canais fluviais, quando a vazão de margens plenas é superada, recobrando a planície de inundação e baixos terraços, atingindo normalmente uma área ampla (Figura 12). A urbanização raramente irá influenciar nos eventos extremos de inundações fluviais, decorrentes dos mais elevados picos de vazões do canal (DOUGLAS, 1983);

Figura 12 – Inundações em leitos urbanizados.
Fonte: Tucci & Bertoni (2003)

2) inundações pluviais: relacionadas a eventos locais de chuva sobre terrenos de baixa permeabilidade e estrutura de drenagem urbana deficiente, atingindo normalmente uma pequena área. Aterros também podem funcionar como barreiras para o fluxo das águas, potencializando este tipo de inundação (BERGES, 2013).

As medidas para controle das inundações podem ser do tipo estrutural e não-estrutural (HOCKIN; WHITTLE; BAILEY, 1978; DOUGLAS *et al.*, 2007). As estruturais buscam diminuir a magnitude e frequência das inundações por meio

da modificação do sistema fluvial, na grande maioria das vezes feitas pela ampliação da calha do canal e implantação de estruturas de engenharia hidráulica. As medidas não-estruturais buscam reduzir os impactos por meio da convivência da população com as inundações (TUCCI, 1993).

A grande maioria das cidades do planeta priorizaram as medidas estruturais até meados do século XX, no entanto, tais estruturas frequentemente apenas transferem os problemas para jusante (DOUGLAS, 1983). A retificação do canal, por exemplo, diminui a sua capacidade de amortecimento das cheias, transferindo quase que instantaneamente a onda de cheia para jusante (Figura 13).

Figura 13 – Diferenças no amortecimento do hidrograma de inundações em razão da retificação do canal.

Fonte: Rio de Janeiro (Estado) (2001 *apud* BROCANELI; STUERMER, 2008)¹⁴.

Autores como Gregory (1977), Hockin *et al.* (1978), Tucci & Bertoni (2003) e Douglas *et al.* (2007) têm criticado a generalizada intervenção estrutural nos

¹⁴ RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Revitalização de rios:** orientação técnica. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. (Projeto Planagua Semads GTZ, de Cooperação Técnica Brasil/Alemanha).

canais e planícies fluviais, destacando a importância das medidas não-estruturais e de uma visão mais holística no gerenciamento e controle de inundações (GREGORY, 2006).

2.4.2.2 Efeitos nos Canais Fluviais

Segundo Brookes (1985) e Morisawa (1985), a urbanização resulta na seguinte sequência de efeitos nos canais fluviais: aumento imediato da vazão e velocidade; aumento da competência e da largura do canal, e diminuição da velocidade a curto-prazo; diminuição da competência e estabilidade morfológica a longo-prazo. Segundo Chin (2006), embora a estabilidade morfológica seja teoricamente possível, ela é difícil de ser alcançada devido à complexidade dos processos envolvidos, e, nos poucos locais onde uma fase de estabilidade foi observada, ela levou várias décadas para ocorrer.

Tendência geral de aumento da largura e da área da seção transversal do canal (HAMMER, 1972; RICHARDS, 1985; GREGORY; DAVIS; DOWNS, 1992; TRIMBLE, 1997; HESSION *et al.*, 2003; GALSTER; PAZZAGLIA; GERMANOSKI, 2008), que, geralmente, é de 2 a 3 vezes, mas pode atingir até 15 vezes o tamanho original (CHIN, 2006). Importante destacar que há casos onde ocorre o oposto, ou seja, há a redução da largura e/ou da área do perfil transversal, principalmente devido a variantes locais (LEOPOLD, 1973; NANSON; YOUNG, 1981), e em meio tropical úmido (VIEIRA; CUNHA, 2001; LUCAS; CUNHA, 2007), onde há forte influência da elevada carga suspensa nos canais, proveniente do intenso intemperismo das áreas fontes, e da alta pluviosidade (CHIN, 2006).

Diminuição da sinuosidade (BRICE, 1974 *apud* GREGORY, 1987¹⁵; MOSLEY, 1975 *apud* CHIN, 2006¹⁶; PIZZUTO; HESSION; MCBRIDE, 2000), geralmente por causa das retificações (CHIN, 2006).

Aumento significativo da carga sedimentar durante os períodos de construção, quando o solo fica exposto à erosão (estágio de perturbação ativa), e diminuição da carga sedimentar nos estágios posteriores (pós-perturbação) (WOLMAN, 1967; WOLMAN; SCHICK, 1967; GUY & FERGUNSON, 1970 *apud* NIR, 1983¹⁷; WALLING; GREGORY, 1970; PARK, 1977; BROOKES, 1985; RICHARDS, 1985), quando predominam os sedimentos oriundos da erosão do próprio canal (TRIMBLE, 1997; CHIN, 2006). Segundo Chin (2006), o aumento na produção de sedimentos durante os estágios de perturbação ativa é na ordem de 2 a 10 vezes, e a persistência destas fases varia de poucos meses a vários anos.

Tendência geral de aumento dos sedimentos grosseiros na carga de leito (ARNOLD; BOISON; PATTON, 1982) por causa aumento da competência do canal e transporte dos sedimentos finos (DOUGLAS, 1985; FINKENBINE; ATWATER; MAVINIC, 2000). Consequente aumento das barras de areia (WOLMAN, 1967; WOLMAN; SCHICK, 1967; KESEL, 2003).

¹⁵ BRICE, J. C. Meander pattern of the White River in Indiana: na analysis. In: M. E. MORISAWA (Ed.). **Fluvial Geomorphology**. Binghamton: State University of New York, 1974, p. 178-200.

¹⁶ MOSLEY, M. P. Channel changes on the River Bollin. Cheshire: **East Midland Geographer** **1872-1973**, 6, 1975, p. 186-199.

¹⁷ GUY, H. P.; FERGURSON, G. E. Stream sediment: an environmental problem. **Journ. Of Soil and Water Conserv.**, 25, 1970, p. 217-221.

2.4.2.3 Efeitos na Planície de Inundação

Os responsáveis pelo desenvolvimento urbano [...] têm visto que as planícies de inundação oferecem terrenos planos que facilitam o desenvolvimento industrial, residencial e recreativo, mas têm amplamente ignorado o fato de que elas também são sujeitas a inundações. O erro tem sido feito repetitivamente no Reino Unido e pode ser chamado de “a síndrome da planície de inundação”. (HOCKIN, 1985, p. 55, tradução nossa).

O diagnóstico de Hockin (1985) para o Reino Unido aplica-se também para as planícies de inundação em cidades brasileiras (Figura 14).

Figura 14 – A síndrome da planície de inundação.
Adaptado de Hockin, Whittle e Bailey (1978).

A urbanização pode levar ao aumento da sedimentação na planície de inundação pela expansão horizontal (GRAF, 1975) e/ou vertical (FLORSHEIM;

MOUNT, 2003). Há uma diminuição da capacidade de armazenamento das águas das cheias (HOCKIN, 1985) por causa da disposição de aterros e compartimentação física da planície de inundação (LEWIN; COLLIN e HUGHES, 1979 *apud* DOUGLAS, 1983)¹⁸.

Os materiais e morfologias da planície de inundação são modificados devido à retirada dos sedimentos fluviais pela mineração e posterior preenchimento das cavas e aterramento, frequentemente, por resíduos sólidos de diversas origens e composição (DOUGLAS; LAWSON, 2000), além das fundações das edificações e da instalação de sistemas de dutos e galerias. A ocorrência de sedimentos fluviais e depósitos tecnogênicos resulta ainda numa complexidade estratigráfica lateral e vertical que pode resultar em fragilidade geotécnicas associadas a profundidade do aluvião, ao bombeamento e rebaixamento do lençol freático e à elevação do nível hidrostático (LEGGET, 1973), particularmente em meio tropical e úmido onde o embasamento rochoso muitas vezes é bastante intemperizado (DOUGLAS, 2005b).

Duas situações possíveis com relação à frequência das cheias:

1) O mais comum é o aumento da frequência das cheias por causa do aumento do escoamento superficial nas vertentes (PARK, 1977; CHIN, 2006; CHURCH *et al.*, 2009; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010; BERGES, 2013). Chuvas pequenas e rápidas passam a ser importantes nas cheias que atingem a planície de inundação, enquanto a frequência das cheias relacionadas a eventos

¹⁸ LEWIN, J.; COLLIN, R. L. e HUGHES, D. A. Floods on modified floodplains. In: G. E. HOLLIS (Ed.). **Man's impact on the hydrological cycle in the United Kingdom**. Norwich: GeoAbstracts, 1979, p. 109-19.

chuvosos de grande magnitude permanece praticamente inalterada (DOUGLAS 1983; HOLLIS, 1974 *apud* CHIN, 2006¹⁹; GOUDIE; VILES, 1997).

2) Redução da frequência das cheias após a implantação de medidas estruturais de controle de cheias por meio de grandes obras de engenharia, como alargamento, aprofundamento e retificação do canal, construção de diques nas margens (LEWIN; COLLIN e HUGHES, 1979 *apud* DOUGLAS, 1983)²⁰ e disposição de aterros nos terrenos antes inundáveis. Devido à nova dinâmica de cheias, controlada artificialmente pelas estruturas de engenharia, a planície de inundação passa então a se comportar hidrologicamente como um terraço fluvial. Porém, estas obras podem aumentar o tempo de permanência de enchentes em locais isolados, como por exemplo, nos terrenos localizados além dos diques artificiais (CHURCH *et al.*, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2012) ou que têm o escoamento superficial obstruído por aterros (BERGES, 2013).

2.4.2.4 Efeitos nos Terraços Fluviais

A urbanização pode criar novos níveis de terraços, seja pela elevação da altimetria da planície de inundação por aterros, seja pela alteração na dinâmica de cheias do sistema por causa das intervenções da engenharia.

Há ainda a retirada e alteração dos materiais pela mineração de areia e cascalho para construção civil, a retirada de trechos dos terraços para passagem de canais artificiais retificados, e a alteração dos materiais sedimentares e solos

¹⁹ HOLLIS, G. E. The effect of urbanisation on floods in the Canon's Brook, Harlow, Essex. In: K. J. GREGORY e D. E. Walling (Eds.). **Fluvial processes in Instrumented Watersheds**. Inst. Br. Geog. Spec. Publ., 6, 1974, p. 123-139.

²⁰ LEWIN, J.; COLLIN, R. L. e HUGHES, D. A. Floods on modified floodplains. In: G. E. HOLLIS (Ed.). **Man's impact on the hydrological cycle in the United Kingdom**. Norwich: GeoAbstracts, 1979, p. 109-19.

pelas fundações de edificações e implantação de sistemas de dutos e galerias pluviais.

A mesma tendência verificada nos estudos de Geomorfologia Fluvial como um todo, onde há um predomínio dos trabalhos a respeito das mudanças nos canais fluviais quando comparado àqueles voltados às planícies de inundação (DOLLAR, 2002), também se verifica nas análises da geomorfologia de sistemas fluviais urbanizados.

Escassez maior ainda é verificada quando buscamos estudos a respeito da urbanização sobre terraços fluviais, apesar dos terraços serem os locais mais propícios à urbanização dentro de uma planície fluvial, pois estão a salvo das cheias periódicas e possuem terrenos melhor drenados e de baixas declividades (GOUDIE, 2006).

A revisão bibliográfica a respeito da Geomorfologia Antrópica permitiu identificar algumas tendências atuais nos estudos relativos aos efeitos da urbanização em sistemas fluviais. No geral, as análises estão voltadas à avaliação, classificação e hierarquização da estabilidade morfológica ou das características ecológicas dos canais urbanos para fins de planejamento do uso da terra, gerenciamento de enchentes e, em alguns casos, para implantação de projetos de recuperação ou renaturalização.

Estes estudos têm sido realizados por meio da análise do grau de intervenção das obras de engenharia existentes (SIMON; DOWNS, 1995; GREGORY, 2002; CHIN; GREGORY, 2005), da abordagem histórica (SEAR; NEWSON; BROOKES, 1995; GRAF, 2000; VIEIRA; CUNHA, 2001; MONTGOMERY; MACDONALD, 2002; CARVALHO, 2006; GALSTER;

PAZZAGLIA; GERMANOSKI, 2008; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010; MOROZ-CACCIA GOUVEIA; RODRIGUES, 2012; BERGES, 2013; CLARO, 2013), do monitoramento de campo (THORNE; ALLEN; SIMON, 1996; ALLEN; ARNOLD; SKIPWITH, 2002; LUCAS; CUNHA, 2007), da análise de geoindicadores (BLEDSOE; WATSON, 2001; CAMPAGNOLI, 2002; SILVA, 2005; RODRIGUES, 2010) e da abordagem ecológica (FRYIRS, 2003; BOITSIDIS; GURNELL, 2004; BRIERLEY; FRYIRS, 2005; BERNHARDT; PALMER, 2007; VAUGHAN *et al.*, 2009).

Sistemas de Informação Geográfica têm sido utilizados em alguns desses estudos (SIMON; DOWNS, 1995; GRAF, 2000). Porém, há poucas propostas que se utilizam de métodos e procedimentos da cartografia geomorfológica para a análise de sistemas fluviais urbanizados, como pode ser visto em Lima (1990), Rodrigues (2005; 2006) e Moroz-Caccia Gouveia (2010).

3 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Como visto, o entendimento da ação antrópica como agente efetivo nos sistemas geomorfológicos, assim como sua sistematização em categorias de intervenção e em métodos de pesquisa deu-se, principalmente, a partir de Nir (1983). Outras obras importantes que tratam do tema e que fornece orientações metodológicas importantes são: Tricart (1977), Verstappen (1983), Gregory (1985a), Toy & Hadley (1987), Goudie (1997) e Rodrigues (1999).

Tendo em vista as características próprias da área de estudo, a pesquisa é orientada pelas proposições metodológicas de Lima (1990) e Rodrigues (1997b, 1999, 2004, e 2010). Nestes estudos constam as bases para análises voltadas ao entendimento das condições originais e antrópicas dos sistemas hidromorfológicos urbanos da Região Metropolitana de São Paulo, por meio da abordagem histórica e da cartografia geomorfológica, que permite a análise retrospectiva e evolutiva do sistema ao longo da urbanização.

As morfologias originais e antrópicas, reconhecidas por meio dessa metodologia, são correlacionadas a parâmetros dos materiais e dos processos, o que permite à quantificação da intervenção antrópica na área de estudo e, conseqüentemente, o dimensionamento dos impactos e correlações com sistemas não perturbados. Esta quantificação será realizada com base em categorias de mudanças geomorfológicas parametrizadas pelos geoindicadores de mudanças ambientais em meio tropical úmido, conforme Coltrinari & McCall (1995), Berger (1996), Coltrinari (1996) e Gupta (2002), com destaque àqueles geoindicadores relacionados aos sistemas hidromorfológicos urbanizados, conforme Rodrigues & Coltrinari (2004) e Rodrigues (2010). Os geoindicadores passíveis de análise neste estudo constam no Quadro 5.

Tipo de Geoindicador	Sistema indicador		Parâmetro (unidade)			
Morfológico	Terraço Fluvial		Área (km²)			
	Planície de Inundação		Área (km²)			
	Canal Fluvial	Canal Ativo	Comprimen- to (m)	Profundida- de (m)	Largura (m)	Sinوسي- dade (Is)
		Canais Abandonados		Área (km²)		
Materiais	Aterros		Área (km²)		Volume (km³)	
Processos	Canal Fluvial	Vazão	Volume (m³/s)			
		Taxa de incisão	Metros por ano (m/ano)			
		Taxa de alargamento				
	Taxa de deposição de aterros		Volume por ano (m³/ano)			

Quadro 5 - Geoindicadores passíveis de análise na pesquisa.

A análise cartográfica é realizada a partir da produção de cartas geomorfológicas de detalhe da área, produzidas na escala de 1:25.000, apresentadas aqui em 1:45.000 (TRICART, 1965; COLTRINARI, 1984), e que suportam ampliação de 200% em meio digital. O reconhecimento geral da morfologia fluvial da área é baseado em legendas apresentadas por Savigear (1965), Tricart (1965), Demek (1972), Coutard *et al.* (1978), Dackombe & Gardiner (1983) e Hart (1986). Referências a respeito da morfologia fluvial pré-urbana específica da região foram encontradas em Estaiano (2007), Santana (2008) e Luz (2010), enquanto que referências a respeito da morfologia antrópica em Lima (1990) Batista (2002), Carvalho (2002), Silva (2005), Moroz-Caccio Gouveia (2010), Berges (2013) e Claro (2013).

Quanto à escolha dos momentos históricos, são considerados os três principais estágios de perturbação antrópica, conforme Wolman (1967), Nir (1983), Douglas (1983), Toy & Hadley (1987): 1) Estágio pré-perturbação urbana, chamado apenas de estágio pré-urbano; 2) Estágio de perturbação ativa e; 3) Estágio pós-perturbação.

As etapas da pesquisa podem ser visualizadas no fluxograma abaixo, e foram divididas em levantamento dos dados, sistematização e análise:

3.1 Levantamento

3.1.1 Dados Morfológicos

Em linhas gerais, a reconstituição geomorfológica do estágio pré-urbano da planície fluvial do Rio Pinheiros, pode ser subsidiada por estudos prévios como os de Ab'Sáber (1952/53; 1957), Almeida (1958; 1964) e Petrone (1963), que tratam da área numa escala menor, e em Parolin (2009) e Luz (2010), que tratam em detalhe de trechos da planície. Soma-se a estas obras a alta qualidade do material cartográfico e aerofotográfico disponível, uma vez que São Paulo foi a primeira cidade do mundo a possuir um cadastro de plantas articuladas de grande precisão em escala de detalhe (SARA BRASIL, 1930) (MACHADO, 2010; LIMA, 2013).

É considerado como momento representativo do estágio de perturbação ativa, o fim da década de 1940, período no qual a retificação do canal está em vias de conclusão e a ocupação da planície se torna-se expressiva (SEABRA, 1987; PONTES, 1995). O que é descrito detalhadamente no Capítulo 5.

A reconstituição do estágio pós-perturbação representa o estágio de intervenção mais recente, compreendendo levantamentos de campo para verificação *in loco* das morfologias atuais e sua correlação com o uso da terra. Importante destacar que o estágio pós-perturbação pode coexistir pontualmente com o estágio de perturbação ativa, uma vez que, mesmo com a urbanização já consolidada em toda a planície fluvial, alterações no uso da terra podem imprimir novos condicionantes geomorfológicos na área, como, por exemplo, a retirada de residências para a construção de grandes prédios comerciais, condomínios, shopping-centers etc.

Os trabalhos de campo auxiliam também na verificação de possíveis “janelas temporais” existentes na paisagem atual, e que permitem a identificação

de vestígios da morfologia dos períodos anteriores ou até mesmo da morfologia pré-urbana.

Cada estágio compreenderá então a caracterização geomorfológica nas seguintes datas:

- 1 – Estágio pré-urbano - restituição morfológica por estereoscopia sobre aerofotografias de 1933 e 1938, com auxílio de base cartográfica de 1930;
- 2 – Estágio de perturbação ativa - restituição morfológica por estereoscopia sobre aerofotografias de 1949;
- 3 – Estágio pós-perturbação - verificação em campo entre 2011 e 2012, sobre base cartográfica de 1974, 1980 e 1981, Modelo Digital de Elevação (MDE) de 2004, cartas de uso e ocupação da terra de 2005, com auxílio secundário de Imagens de Satélite de 2012 disponibilizadas pelo software Google Earth 7.

As aerofotos e bases cartográficas que serão utilizadas em cada período são apresentadas no Quadro 6.

Estágio de perturbação	Aerofotos				Base Cartográfica		
	Ano	Escala	Levanta- mento	Fonte / Disponibi- lização	Ano	Escala	Fonte / Disponibilização
Pré-Urbano	1933	1:5.000	Serviço 62	Light S.A / FES*	1930	1:5.000 e 1:20.000	SARA BRASIL S.A. / LASERE-USP*
Perturbação Ativa	1938	1:5.000	Serviço 58				
	1949	1:12.500	Serviço 12				
Pós- Perturbação	Levantamento realizado por trabalhos de campo (auxílio secundário de Imagens de Satélite de 2012 disponibilizadas pelo software Google Earth 7).				1974/80/81	1:25.000	SCM* / Mapoteca da FFLCH-USP*
					2004	1:1.000	MDE / PMSP*
					2005	1:25.000	Uso e Ocupação do Solo / EMPLASA*

*Abreviações:

FES - Fundação Energia e Saneamento.

LASERE-USP – Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo.

SCM – Sistema Cartográfico Metropolitano.

FFLCH-USP - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A.

MDE / PMSP – Modelo Digital de Elevação fornecido pela Prefeitura Municipal de São Paulo.

Quadro 6 - Aerofotos e bases cartográficas utilizadas na pesquisa.

O uso de base cartográfica e de fotografias aéreas antigas geram alguns problemas em relação à qualidade cartográfica dos produtos obtidos, pois este material histórico possui distorções oriundas da tecnologia utilizada na época de obtenção, das intempéries do tempo e dos processos de escaneamento pelos quais eles passaram para possibilitar o trabalho em meio digital (SILVA, 2005).

Soma-se a isso a distorção intrínseca das fotografias aéreas em relação às bases cartográficas. O processo de correção destas distorções é denominado ortorretificação, e implica no conhecimento de componentes e parâmetros da fotografia que não são passíveis de identificação nas aerofotos antigas aqui utilizadas (OKEKE, 2006).

A metodologia utilizada nos levantamentos do Sara Brasil (1930) não considera a curvatura da Terra e não emprega projeção cartográfica, o que pode gerar erros de localização e altitude (LIMA, 2013), mas que, na escala aqui utilizada, não comprometem o mapeamento. Desta maneira, optou-se pelo

georeferenciamento das aerofotos e das cartas do Sara Brasil por meio de pontos notáveis que sobreviveram ao tempo e podem ser identificados tanto nos documentos históricos quanto na base cartográfica atual (MACHADO, 2010), como hidrografia e, principalmente, sistema viário quando permanente de um estágio ao outro.

O recobrimento aerofotográfico da área de estudo é apresentado na Figura 15. Amostras das aerofotos obtidas e da restituição morfológica realizada são apresentadas no Quadro 7.

Figura 15 – Aerofotos utilizadas. Estágio Pré- Urbano (Pré- Perturbação) e Estágio de Perturbação Ativa.

Quadro 7 – Amostra de aerofotos utilizadas e de overlays resultantes da restituição morfológica.

3.1.2 Materiais superficiais

Em linhas gerais, as características geológicas e sedimentológicas das planícies fluviais dos rios paulistanos podem ser vistas em Junqueira (1969), Bigarella (1971), Suguio (1971), ABGE & SBG (1980), ABAS, ABGE e SBG (1992), Coimbra, Riccomini e Melo (1983), Melo; Ponçano (1983), Almeida *et al.* (1984), Melo, Vincens e Tucholka (1985), Melo, Coimbra e Riccomini (1989), Vargas (2002), Riccomini, Santa'anna e Ferrari (2004) e Suguio *et al.* (2010), a respeito dos depósitos tecnogênicos, Peloggia (1997), Takiya (TAKIYA, 1997), Campagnoli (2002) e Rodrigues (2006). Além dos mapeamentos geológicos de IPT (1981a), EMPLASA (1984) e São Paulo (2002).

Os levantamentos geológicos do Metrô de São Paulo (apresentados na Figura 25, pg. 100, capítulo 4.3) e as observações e compilações de trabalhos anteriores Luz (2010) e Luz & Rodrigues (2013) permitiram o detalhamento das características e propriedades do embasamento rochoso, dos sedimentos fluviais e dos depósitos tecnogênicos da planície fluvial do Rio Pinheiros.

3.1.3 Processos hidromorfológicos

Dados sobre os processos hidromorfológicos, como vazão do canal, foram pesquisados nos arquivos históricos do acervo da Fundação Energia e Saneamento, responsável pela guarda dos documentos da *São Paulo Tramway, Light & Power Company Limited*, ou simplesmente *Light*, empresa de capital canadense que foi responsável pela execução das obras de retificação e alargamento do canal do Pinheiros, bem como da operação dos reservatórios e estruturas hidráulicas do sistema até meados do século XX.

No entanto, os dados mais significativos para a pesquisa sobre os processos do sistema no estágio pré-urbano são encontrados no relatório

intitulado “Melhoramentos do Rio Tietê em São Paulo”, do Engenheiro Sanitarista Saturnino Brito, datado de 1926, e na compilação de Carvalho (2006).

Dados sobre os processos atuais são encontrados em EMAE (2009), FUSP (2009), Monteiro Jr. (2011) e São Paulo (2012). Referências gerais, mas importantes, sobre a vazão do canal atual em Pena (2008). Os dados restantes foram obtidos por meio de contato via e-mail com as instituições responsáveis pela guarda dos mesmos: a Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE) e o Centro de Gerenciamento de Emergências da Prefeitura de São Paulo (CGE).

Foram levantados os dados de precipitação de estações meteorológicas próximas a área de estudo no banco de dados virtual da Agência Nacional de Águas, Hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>), que disponibiliza dados até o ano de 2003 (Figura 16). No entanto, a única estação que apresenta uma série de dados ininterrupta é a do Observatório do IAG (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP) (Tabela 1), que serviu assim de referência para a análise das precipitações realizadas na pesquisa.

Figura 16 – Localização da Estação Meteorológica do Observatório do IAG e de outras do entorno da Bacia Hidrográfica do Rio Pinheiros que tiveram dados compilados.

Tabela 1 – Estações Meteorológicas pesquisadas e número de anos sem registro entre 1933 e 2003.

Estação Meteorológica	Número de anos sem dados entre 1933 e 2003
Observatório do IAG	0
Cachoeira da Graça	11
Pedro Beicht	13
Instituto Biológico	17
Baixo cotia	18
Santo Amaro	19
Congonhas	21
Itapeirica da Serra	23
Recalque ABC	26
Aldeinha	27
Lapa	32
Mombaca	35
Parelheiros	41
Sertãozinho	42
Rio Acima	43
Guabituba	44
Campo Grande	45
Cid. Univer. CTH	45
Taiçupeba Mirim	46
Paulistinha	48
Faz. do Sertão	49
Diadema	50
Moinho Velho	50
Emburá	51
Cid. Universitária	52
Jaguareé	52
Cipó	54
Santa Rita	54
Paraíso	58
Sítio Votorantim	58
Itaquaciara	63
Osasco	63
Mario Couto	65
Embu guaçu EFS	66
Bairro Alvarenga	68
Cotia	70

3.1.4 Sistematização cartográfica

Os resultados obtidos com as restituições da morfologia, dos materiais e dos processos da planície fluvial do Rio Pinheiros nos distintos estágios foram correlacionados com outros documentos cartográficos (geologia, hipsometria, fotoíndices, uso da terra), e com perfis transversais representativos da topografia e da estratigrafia da área. Todos estes dados espaciais foram reunidos e sobrepostos em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), usando o programa ArcGis 10.

Este procedimento facilita a análise e comparação dos dados que, por sua vez, possibilita a geração das cartas geomorfológicas de detalhe da área em cada período considerado. As cartas são resultado da compilação entre as características hidromorfológicas de cada unidade mapeada e, no caso dos estágios de perturbação antrópica, do grau de perturbação antrópica de acordo com o uso da terra baseado, principalmente, nos estudos de Moroz-Caccia Gouveia (2010) e Claro (2013).

Desta maneira, ações antrópicas relevantes ocorridas na planície fluvial do rio Pinheiros ao longo do processo de urbanização da cidade de São Paulo nos últimos 100 anos, como por exemplo, a retificação do canal, a disposição de aterros, a impermeabilização dos solos, a construção de edificações, a implantação do sistema viário, dentre outras, são levantadas e avaliadas do ponto de vista de seu significado geomorfológico. Como desdobramento, é possível identificar as ações mais relevantes nas maiores transformações físicas da planície fluvial, bem como as implicações ambientais e geotécnicas e as possibilidades de recuperação ambiental.

3.1.5 Análises e Interpretações

A avaliação e o dimensionamento das mudanças hidromorfológicas ocorridas na planície fluvial do rio Pinheiros ao longo da urbanização da cidade de São Paulo é realizada por meio das seguintes análises:

- comparação das escalas têmporo-espaciais das ações antrópicas decorrentes da urbanização com aquelas esperadas em sistemas naturais ou não urbanizados (CAILLEUX; TRICART, 1956; BRUNSDEN, 1996);
- avaliação dos riscos ambientais urbanos associados à combinação de agentes geomorfológicos antrópicos e naturais, principalmente no que se refere à fragilidade geotécnica e risco a inundações;
- determinação dos efeitos e implicações das medidas estruturais para controle de cheias implantadas na área;
- avaliação das possibilidades de recuperação ambiental de acordo com os limiares geomórficos ultrapassados e as características ecológicas do sistema.

Como auxílio para as interpretações foi realizada uma visita acadêmica à Universidade de Manchester, Reino Unido, via bolsa de doutorado sanduíche no exterior, Programa Ciências sem Fronteiras (SWE-CsF). Durante este período foi aprimorado o conhecimento técnico em pesquisas sobre base de dados históricos para rios urbanizados e, principalmente, foram obtidos elementos para análises comparativas dos planos de gerenciamento de inundações e de recuperação ambiental em rios urbanos.

3.2 Capacidade de atenuação de cheias

A capacidade de atenuação de cheias de canais e planícies de inundação é uma função da extensão e profundidade do fluxo d'água, e envolve a redução do pico das cheias e o aumento da duração da inundação durante o evento de transbordamento, seja pelo armazenamento temporário das águas, seja pela resistência ao fluxo e diminuição de sua potência (SCOTTISH EXECUTIVE ENVIRONMENT GROUP RESEARCH, 2005).

O volume d'água temporariamente armazenado na planície de inundação durante um evento de inundação pode ser estimado a partir da área recoberta pelas águas e da altura da coluna d'água sobre o estágio da vazão de margens plenas (Figura 17).

Figura 17 – Estimativa da coluna d'água em uma planície de inundação e baixos terraços durante um evento chuvoso

Um dos problemas de se utilizar a altura máxima da coluna d'água para fins de cálculos do volume armazenado é que as unidades hidromorfológicas atingidas não possuem superfícies totalmente planas. As variações de altitude locais dentro das mesmas (rugosidade do terreno) altera a altura da coluna d'água localmente. Como refinar estas altitudes da planície fluvial original por meio de modelos digitais de elevação não é mais possível, trabalhamos aqui com

cálculos que buscaram uma aproximação mais fiel ao considerar a altura média da coluna d'água de cada unidade hidromorfológica, numa tentativa de evitar super e subestimações.

Desta maneira, para efeitos de cálculos assumiu-se como *altura da coluna d'água* a metade da altura máxima entre a cota mínima da planície de inundação e o topo da unidade hidromorfológica. Este valor, ao ser multiplicado pela área atingida pelas águas, resulta na estimativa do volume de água armazenado temporariamente durante as inundações (Equação 3).

$$V = a \left(\frac{h}{2} \right) \quad (3)$$

onde, a é a área da unidade hidromorfológica e h é a altura máxima da coluna d'água na unidade.

4 REGIME HIDROLÓGICO, GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA

4.1 Regime hidrológico do Alto Tietê

O Rio Pinheiros faz parte da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, que está localizada em uma realidade climática de transição entre os Climas Tropicais Úmidos de Altitude, e os Climas Subtropicais permanentemente úmidos do Sul do Brasil (TARIFA; ARMANI, 2001). Apresenta médias de precipitação anual elevadas próximo à Serra do Mar, entre 3.000 mm a 1.800 mm, e precipitações menores no interior da bacia, onde a urbanização é mais intensa, média histórica de 1.419 mm (entre 1933 e 2013) na Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG, 2013). As chuvas são concentradas nos meses de outubro a março, sendo os meses de abril a setembro representativos dos períodos de estiagem.

Brito (1926) apresenta o regime hidrológico do Rio Tietê na altura da Ponte Grande (próximo a atual Ponte das Bandeiras) antes da urbanização (Figura 18).

Figura 18 – Regime hidrológico do Rio Tietê na altura da antiga Ponte Grande (próximo a atual Ponte das Bandeiras).

Obs.: As vazões médias estão agrupadas em duas séries de dados, uma de 1894 até 1924 e outra de 1912 até 1924, evidenciando que, o período entre 1912 e 1924 foi mais seco. Fonte: Brito (1926).

A vazão do rio respondia ao ritmo sazonal das chuvas, com picos de vazão em fevereiro e mínimas em agosto. Comportamento hidrológico semelhante era esperado para o Rio Pinheiros, com picos de vazão e inundações frequentemente concentradas entre os meses de outubro a março.

Pereira Filho *et al.* (2007) demonstram que a maioria dos eventos de cheia na RMSP está relacionada com a formação de correntes convectivas, causadoras de precipitações concentradas de alta intensidade, induzidas pelas “ilhas de calor” formada sobre as áreas densamente urbanizadas. Este fenômeno potencializa então a redução do tempo de retardo das águas na bacia, aumentando o valor das vazões de pico, fato já esperado em áreas urbanas. Inundações em condições naturais nos grandes rios paulistanos como o Tietê, Pinheiros e Tamanduateí apresentam tempos de retardo da ordem de dias, e as precipitações causadoras normalmente são de longa duração. Contudo, segundo FUSP (2009), atualmente este tempo foi reduzido para a ordem de horas, bastando eventos chuvosos localizados, intensos e de curta duração para que a inundação ocorra, como demonstrado por Berges (2013) para o córrego da Moóca.

A urbanização também potencializa as inundações localizadas (DOUGLAS *et al.*, 2007; DOUGLAS *et al.*, 2010; RODRIGUES *et al.*, 2012; BERGES, 2013; CLARO, 2013), que são potencializadas por características urbanas como: arruamento transversal ao vale; disposição de aterros que obstruem o escoamento superficial; galerias pluviais obsoletas, e; implantação deficiente de galerias pluviais, que encontram a galeria principal em fluxo contrário, causando o refluxo e explosão de bueiros.

4.2 Aspectos geológicos

Os sedimentos quaternários da planície fluvial do rio Pinheiros assentam-se sobre duas estruturas geológicas bem definidas. Em linhas gerais, a leste estão sobre os sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo, e a oeste sobre as rochas cristalinas do embasamento pré-cambriano (Figura 19).

Figura 19 – Mapa geológico da área de estudo.

Embasamento pré-cambriano

O embasamento pré-cambriano é composto por gnaisses, migmatitos e rochas metamórficas de baixo a médio grau, com diversas suítes granitóides intrusivas e centenas de intrusões de rochas alcalinas (COUTINHO, 1972). Ele é compartimentado em blocos justapostos limitados por grandes zonas de falhamentos transcorrentes, como a falha de Caucaia (HASUI; SADOWSKY, 1976).

Bacia Sedimentar de São Paulo

A Bacia Sedimentar de São Paulo corresponde a uma depressão em blocos formada por reativações tectônicas normais de antigas zonas de cisalhamento do embasamento pré-cambriano durante o Terciário (Eoceno-Oligoceno), sendo parte do *Rift Continental do Sudeste do Brasil* (RICCOMINI; COIMBRA; TAKIYA, 1992; RICCOMINI; SANTA'ANNA; FERRARI, 2004).

Esta depressão tectônica é preenchida por sedimentos cenozóicos que apresentam falhas pós-sedimentares relacionadas a soerguimentos e abatimentos locais do substrato durante o Terciário. As unidades paleógenas desses depósitos são encerradas no Grupo Taubaté (Figura 20), e na área de estudo ocorrem as seguintes formações (RICCOMINI; SANTA'ANNA; FERRARI, 2004):

- Formação Resende: depósitos basais e laterais do Grupo Taubaté (Paleógeno) relacionados a um sistema de leques aluviais associado a planícies aluviais de rios entrelaçados. Nas porções proximais dos leques predominam conglomerados de matriz lamítica a arenosa, e nas porções medianas e distais predominam os lamitos e lamitos arenosos maciços.

- Formação São Paulo: depósitos do topo do Grupo Taubaté (Oligoceno Superior) relacionados a um sistema fluvial meandrante. As principais litologias correspondem aos ambientes típicos desse tipo de sistema fluvial. Arenitos grossos, conglomeráticos, com estratificações cruzadas e base erosiva representantes de depósitos de canal; siltitos e argilitos laminados depositados em meandros abandonados; arenitos médios a grossos resultantes de depósitos de rompimento de diques; sedimentos finos, rítmicos e laminados de planície de inundação.

Figura 20 – Estratigrafia do segmento central da Bacia Sedimentar de São Paulo. Modificado de RICCOMINI, SANTA'ANNA e FERRARI (2004) e SUGUIO *et al.* (2010).

Sedimentos quaternários da planície fluvial do Rio Pinheiros

Uma primeira diferenciação entre os materiais sedimentares que compõem a planície fluvial do Rio Pinheiros foi realizada por Junqueira (1969), que separou grandes pacotes arenosos com estruturas cruzadas inferiores dos sedimentos mais finos do topo. Naquele momento esse pacote inferior de sedimentos aluviais foi interpretado como depósitos de canais entrelaçados, denominados de “aluviões antigos dos rios Pinheiros e Tietê” devido à sua ocorrência generalizada em todas as planícies dos grandes rios paulistanos.

Posteriormente, estes depósitos definiram uma unidade estratigráfica, formalizados como Formação Itaquaquacetuba (COIMBRA; RICCOMINI; MELO, 1983), definida como depósitos típicos de sedimentação fluvial entrelaçada (*braided*) oriundo basicamente das rochas metamórficas do embasamento pré-cambriano em condições de curto transporte, que ocorre assentado diretamente sobre rochas do embasamento pré-cambriano (RICCOMINI; SANTA'ANNA; FERRARI, 2004).

Inicialmente, Bigarella (1971), Suguio (1971) e Ab'Sáber (1978), a partir da datação de troncos fósseis por Carbono 14, posicionaram estes depósitos no Pleistoceno Superior (idade mínima de 40.000 A.P.), relacionando-os ao período do último máximo glacial. Estudos posteriores de cunho palinológico admitiram idades bem mais antigas para os mesmos, posicionando-os entre o Paleógeno (Eoceno Superior a Oligoceno Inferior) e Neógeno (Mioceno) (MELO; VINCENS; TUCHOLKA, 1985; LIMA; MELO; COIMBRA, 1991; ARAI; YAMAMOTO, 1995; SANTOS *et al.*, 2010). No entanto, datações por LOE (Luminescência Opticamente Estimulada) apresentadas por Suguio *et al.* (2010), retomam a idade pleistocênica destes depósitos (47.000 ± 6.000 a 89.000 ± 12.000 anos A.P.),

sugerindo que a Formação Itaquaquacetuba tenha sido depositada pelas drenagens precursoras dos rios Tietê e Pinheiros, que tiveram o seu estabelecimento controlado por microbacias tectônicas alongadas transtracionais.

O fato da Formação Itaquaquacetuba estar espacialmente relacionada às drenagens atuais dos rios Pinheiros e Tietê, formando, inclusive, paleocanais soterrados pelos depósitos holocênicos (LUZ, 2010) que apresentam paleocorrentes semelhantes às atuais (ARONCHI NETO, 1999 *apud* SUGUIO *et al.*, 2010)²¹, suportam a ideia de idades quaternárias para tal formação, como já haviam interpretado Bigarella (1971), Suguio (1971) e Ab'Sáber (1978).

A Formação Itaquaquacetuba ocorre, principalmente, abaixo da cota altimétrica de 710 metros sob os sedimentos aluviais dos principais rios paulistanos (MELO; COIMBRA; RICCOMINI, 1989; TAKIYA, 1997). Na planície fluvial do Rio Pinheiros, dados de uma sondagem próxima à atual raia olímpica da Cidade Universitária indicaram mais de 40 metros de espessura para esta formação (TAKIYA, 1997). Luz (2010) identificou um pacote de 14 metros desta formação no local da atual estação Pinheiros do Metrô por meio da compilação das sondagens geológicas das obras do Metrô-Linha 4 - Amarela.

Em sua constituição litológica, a Fm. Itaquaquacetuba apresenta predomínio de arenitos grossos arcoseanos, mal a medianamente selecionados com estratificações cruzadas tabulares e acanaladas. Estes estratos podem conter níveis argilo-siltosos ricos em matéria orgânica e níveis de conglomerados com seixos de quartzo e quartzito bem arredondados (TAKIYA, 1997).

O ambiente de sedimentação da Formação Itaquaquacetuba apresenta interpretações controversas, sendo admitido clima úmido (SUGUIO, 1971;

²¹ ARONCHI NETO, P. Fácies sedimentares e paleocorrentes da Formação Itaquaquacetuba (Cenozóico, Bacia de São Paulo). 1999. 22 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

FITTIPALDI; SIMÕES, 1989; RICCOMINI; COIMBRA; TAKIYA, 1992; FITTIPALDI, 2002), clima relativamente frio (LIMA; MELO; COIMBRA, 1991), clima seco (JUNQUEIRA, 1969; SUGUIO, 1980; SUGUIO *et al.*, 2010), ou associação entre climas subtropicais a tropicais úmidos seguidos de condições climáticas mais frias (SANTOS *et al.*, 2010).

Acima da Formação Itaquaquecetuba estão os depósitos holocênicos relacionados ao estágio pré-urbano de sedimentação do rio Pinheiros. São predominantemente sedimentos mais finos e menos espessos do que os da Formação Itaquaquecetuba, apresentando contato frequentemente erosivo com esta formação (MELO; VINCENS; TUCHOLKA, 1985; ALMEIDA *et al.*, 1984). Segundo Riccomini, Coimbra e Takiya (1992), os sedimentos fluviais quaternários dos rios paulistanos raramente ultrapassam os 10 metros.

Estes depósitos apresentam camadas turfosas no topo que podem alcançar até pouco mais de 1 metro de espessura, sobre camadas de areias finas a médias por vezes com areias grossas a conglomeráticas, sempre tendo como camada basal cascalhos (ALMEIDA *et al.*, 1984; MELO; VINCENS; TUCHOLKA, 1985; MELO *et al.*, 1987; LUZ, 2010). Esta sequência de granodecrescência ascendente encontra-se comumente interrompida, o que denotaria diversos ciclos de sedimentação deste sistema fluvial quaternário (TAKIYA, 1997).

Takiya (1997) sugere duas fases principais de desenvolvimento de rios meandrantess para os depósitos aluviais quaternários de São Paulo, correlacionando-os a prováveis paleoclimas e paleovegetações vigentes (Figura 21). A primeira seria ainda pleistocênica (32.480 ± 330 a 18.940 ± 110 anos A. P.), e a segunda teria se iniciado provavelmente na passagem Pleistoceno/Holoceno até o início da urbanização das planícies fluviais

paulistanas. A mesma autora identifica ainda que a partir de 6.000 anos A. P. teria se iniciado uma fase de sedimentação orgânica intensa.

Estudos nos sedimentos quaternários dos rios paulistanos indicam a ausência de falhamentos afetando estes depósitos (ALMEIDA *et al.*, 1984; TAKIYA, 1997).

Figura 21 – Correlação entre a sedimentação quaternária no Município de São Paulo, idades, paleoclimas e paleovegetação.

Fonte: Takiya (1997).

4.3 Aspectos geomorfológicos

A Figura 22 apresenta os dois grandes compartimentos do relevo da RMSP que condicionaram o modelado da região: os terrenos do embasamento cristalino pré-cambriano, que apresentam serras e morros; e os terrenos da Bacia Sedimentar de São Paulo, que exibem colinas (IPT, 1981; ROSS; MOROZ, 1997; RODRIGUES, 2006).

Serras e morros do embasamento pré-cambriano

Terrenos pertencentes à unidade morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico e à unidade morfoescultural do Planalto Atlântico (ALMEIDA, 1964; ROSS; MOROZ, 1997). Na RMSP o Planalto Atlântico é subdividido em: Planalto Paulistano, que ocorre na maior parte da região e onde está a planície fluvial do Rio Pinheiros; Serra da Cantareira, ao norte; Serraria de São Roque, a oeste; Serra do Mar e de Paranapiacaba, ao sul e; Planalto de Paraibuna a leste.

Estes planaltos e serras abrigam morros com vertentes de média a alta declividade e de topos convexos, serras alongadas, e pequenas planícies fluviais isoladas.

Colinas da Bacia de São Paulo

Terrenos pertencentes à unidade morfoestrutural das Bacias Sedimentares Cenozóicas e à unidade morfoescultural do Planalto de São Paulo (ROSS; MOROZ, 1997). Correspondem ao compartimento central da RMSP, sobre o qual a cidade de São Paulo teve seu núcleo inicial.

Abrigam colinas com vertentes de baixas a médias declividades e topos aplanados e amplas planícies fluviais dos principais rios paulistanos (AB'SÁBER, 1957; ALMEIDA, 1964). Entre os topos regionais e os fundos de vale destes rios ocorrem patamares escalonados, denominados pioneiramente por Ab'Sáber (1957) de: 1) espigões secundários (750-800 m), que decaem para os vales principais através de patamares e rampas; 2) 'terraços' intermediários (745-750 m), reconhecidos como patamares que formam colinas tabulares e onduladas; 3) baixos terraços fluviais (724-740 m) e; 4) Planície de inundação (719-724) (Figura 23 e Figura 24).

A bacia hidrográfica do rio Pinheiros localiza-se no centro-sul da RMSP, sobre os dois compartimentos geomorfológicos descritos. A existência da Bacia Sedimentar de São Paulo influi diretamente na hidrografia regional, pois, ao adentrar nela os rios normalmente alteram a sua direção (AB'SABER, 1957; ALMEIDA, 1958; SANTOS, 1958).

Os formadores do rio Pinheiros têm origem nos contrafortes da Serra do Mar, e seguem preferencialmente na direção L-O enquanto atravessam os terrenos do embasamento pré-cambriano. Próximo à Bacia Sedimentar de São Paulo mudam sua direção para SE-NO, até a região de Santo Amaro, onde os rios Grande e Guarapiranga unem-se e formam o rio Pinheiros (limite sul da área de estudo). Neste local há outra mudança de direção, o rio inflecte cerca de 90° até a região de Cidade Jardim, onde ele retoma novamente a direção SE-NO até a confluência com o rio Tietê.

Esta configuração da rede hidrográfica, com frequentes mudanças de direção, reflete as características tectônicas regionais e os compartimentos geomorfológicos associados. Além disso, inflexões na direção do rio Pinheiros onde já é formada sua ampla planície fluvial, entre Santo Amaro e sua confluência com o rio Tietê, podem refletir possíveis influências da estrutura geológica na sua configuração geomorfológica (LUZ, 2010).

A planície fluvial do Rio Pinheiros apresenta os seguintes compartimentos geomorfológicos (AB'SÁBER, 1957):

Baixos terraços fluviais

Nível localizado em altitudes entre 724 e 740 metros compondo a maior parte do terreno da planície na margem direita do rio. Na margem esquerda estes

terraços ocorrem de forma mais restrita, já em contato com os sopés das colinas e morros dissecados sustentados pelo embasamento pré-cambriano.

O limite superior dos baixos terraços fluviais se dá, na maior parte das vezes, com os patamares intermediários (terraços de nível intermediário segundo a classificação de Ab'Sáber, 1957). Mas pode ocorrer também com as altas colinas e espigões secundários, ambos sobre os sedimentos terciários da Bacia de São Paulo.

O limite inferior se dá com a planície de inundação, em forma de rebordos com terminação em rampas suaves ou em “pequenos taludes” (AB’SÁBER, 1957), aqui entendidos como rupturas de relevo (SAVIGEAR, 1965). Na região dos bairros de Pinheiros e Butantã, Luz (2010) identificou que os rebordos em “pequenos taludes” estão assentados diretamente sobre o material de alteração do embasamento pré-cambriano, indicando que a morfogênese desses terraços está associada a um entalhamento do canal do rio Pinheiros que ultrapassou os sedimentos fluviais previamente depositados e atingiu o embasamento pré-cambriano.

Após o aterramento da planície de inundação este limite se alterou, pois os aterros são, em geral, nivelados em cotas próximas às dos baixos terraços (PETRONE, 1963). Dessa maneira, o nível topográfico dos baixos terraços fluviais hoje avança em direção ao canal do Pinheiros através de aterros, reduzindo assim a área da planície de inundação original e formando um “nível de terraços antrópicos” (AB’SÁBER, 1978). Estes aterros formam os depósitos tecnogênicos que estão situados no topo da coluna estratigráfica de São Paulo e região (PELOGGIA, 1997).

Ab'Sáber (1953 e 1957) considera que a formação desses baixos terraços fluviais teria ocorrido no Pleistoceno. Almeida (1958) afirma que dificilmente eles

foram formados pelo rebaixamento do nível do mar provocado por mudanças climáticas relacionadas ao último máximo glacial (Würn). Porém, o fato de parte da malha urbana da cidade e das grandes ferrovias terem se instalado preferencialmente nestes terraços têm dificultado as pesquisas de sua morfologia e estrutura desde a década de 1950 (AB'SÁBER, 1957).

Planície de Inundação

Segundo Ab'Sáber (1957) a planície de inundação do rio Pinheiros pré-urbano localizava-se entre as cotas de 719 e 724 metros e estaria subdividida em duas:

- 1) Planície de inundação sujeita apenas às grandes cheias (entre 722 e 724 metros). São faixas alongadas e descontínuas de terrenos aluviais mais enxutos, apresentando “a aparência de rasos terraços desprovidos de quaisquer taludes” (AB'SÁBER, 1957), decaindo em rampa quase imperceptível em direção às
- 2) Planícies de inundação sujeitas a inundações anuais (entre 719 e 721 metros).

As principais feições morfológicas das planícies de inundação são citadas por Ab'Sáber (1957) e Bigarella (1971), são: diques marginais, baixadas laterais (aqui entendidas como as bacias de inundação, ou *backswamps*) lagoas de meandros abandonados e feixes de restinga fluvial ribeirinhas (aqui entendidos como cordões marginais convexos). Parte destas morfologias foi mapeada por Luz (2010) no trecho central da planície fluvial do Rio Pinheiros.

Tanto os sedimentos da Formação Itaquaquacetuba quanto os sedimentos holocênicos da planície de inundação meândrica são reconhecidos diretamente sobre o embasamento cristalino intemperizado ou não (Figura 25). Apenas os

terraços mais altos da margem direita do rio apresentam possuem seus sedimentos quaternários sobre os depósitos terciários da Formação Resende.

Destaque também para a morfologia típica de canal fluvial preenchida pelos sedimentos terciários da Fm. Itaquaquecetuba evidenciada na Figura 25. Com 100 m de largura e pouco mais de 10 m de profundidade este paleocanal enterrado entalhou sua calha diretamente na rocha do embasamento cristalino.

Portanto, as evidências estratigráficas indicam que em algum momento anterior à instalação do sistema meândrico pré-urbano houve uma ação de incisão fluvial sobre as rochas do embasamento. As dimensões do canal fluvial gerado durante este evento indicam que os fluxos de energia foram maiores e mais potentes do que os fluxos do rio meândrico pré-urbano. Este sistema de maior energia teria sido responsável pela deposição da Fm. Itaquaquecetuba (LUZ; RODRIGUES, 2013).

O sistema meândrico holocênico foram depositados majoritariamente sobre o embasamento cristalino intemperizado, mas também pode ocorrer sobre a Fm. Itaquaquecetuba. Durante o Holoceno o canal fluvial meândrico sofreu alterações em sua morfologia, produzidas possivelmente por condicionantes estruturais relacionados à disposição do embasamento subjacente (LUZ, 2010; LUZ; RODRIGUES, 2013) (Figura 26).

O conhecimento geomorfológico das planícies fluviais dos rios paulistanos foi objeto de estudo em pesquisas de escala regional onde o objetivo principal era a compartimentação geomorfológica da cidade de São Paulo. Estes estudos identificaram diferentes níveis de terraços e de planícies de inundação, com referências a algumas unidades morfológicas destas planícies de inundação

(diques, backswamps, meandros abandonados, etc.), porém, sem a espacialização destas unidades em cartas de detalhe, o que tem tido desenvolvimento apenas recentemente (PAROLIN, 2009; LUZ, 2010; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010; BERGES, 2013; LUZ; RODRIGUES, 2013).

Pesquisas a respeito da geomorfologia da planície praticamente não avançaram desde os estudos clássicos de Ab'Sáber, Almeida e Bigarella nas décadas de 1950, 1960 e 1970. É a partir na década de 1990 e 2000 que estes estudos são pontualmente retomados, quando são realizados detalhamentos destas morfologias fluviais, assim como uma busca pela compreensão maior da influência da ação antrópica nestes sistemas geomorfológicos, inclusive com proposições metodológicas para tal (RODRIGUES, 2004; 2010).

Já os estudos a respeito dos aspectos geológicos dos depósitos sedimentares destas planícies apresentaram um desenvolvimento ininterrupto. O acúmulo de conhecimento obtido permitiu inclusive a identificação de uma unidade estratigráfica: a Formação Itaquaquetuba. No entanto, estudos voltados especificamente às camadas mais superficiais holocênicas são os mais recentes e foram realizados com maior detalhamento na planície fluvial do Rio Tietê.

Segundo Ab'Sáber (1957), o desenvolvimento da área urbanizada sobre a planície fluvial do Rio Pinheiros ocasiona uma verdadeira camuflagem da geomorfologia do sítio original. Porém, a aplicação da metodologia proposta nesta pesquisa, que tem como objetivo caracterizar os diferentes estágios de perturbação dos sistemas hidromorfológicos da área, possibilita este tipo de análise (RODRIGUES, 2004; 2005), como tem demonstrado Luz (2010) e Moroz-Caccia Gouveia (2010).

Figura 25 – Perfil Geomorfológico da Planície Fluvial do Rio Pinheiros ao longo da Linha 4 – Amarela do Metrô

Figura 26 – Mudanças morfológicas no canal fluvial meândrico do Rio Pinheiros. Ocorrência no Holoceno.

Fonte: Luz (2010) e Luz e Rodrigues (2013)

5 PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA E INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS NA PLANÍCIE FLUVIAL

A urbanização em São Paulo começa a avançar sobre a planície de inundação do rio Pinheiros no início do século XX, concomitante à expansão industrial da cidade. Até então, vilas desenvolvidas a partir de antigos aldeamentos indígenas localizavam-se sobre alguns de seus terraços fluviais, como é o caso dos bairros de Pinheiros e Santo Amaro. O canal meândrico era utilizado para navegação, primeiro pelos índios, depois pelos jesuítas e viajantes vindos da Baixada Santista, que, pelo rio Pinheiros, acessavam o rio Tietê e o rio Tamanduateí, chegando então ao centro da cidade (PONTES, 1995).

A primeira intervenção direta na planície de inundação e canal do rio Pinheiros se dá com a construção da ponte metálica entre os bairros de Pinheiros e Butantã em 1865, porém, a primeira grande intervenção ocorre em 1907 com a construção da Represa de Guarapiranga, integrando o rio ao sistema de aproveitamento hidroenergético que a *Light* começava a operar e desenvolver na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (SEABRA, 1987; PONTES, 1995).

Segue a esse período, a intensa retirada de areia e cascalho da planície de inundação e parte dos baixos terraços fluviais, que forneceu matéria prima para a construção civil responsável pela edificação de uma cidade que crescia em um ritmo alucinante. Os “Portos de Areia” foram elementos marcantes na paisagem da planície no início do século XX, e constituíram a primeira intervenção antrópica de grande impacto na planície fluvial, pois foram responsáveis por alterar a dinâmica hidrológica do sistema, pela geração de novas morfologias oriundas das escavações e disposição de rejeitos, e pela remobilização de uma significativa quantidade de material sedimentar. Considerando a mineração nos rios Tietê e

Pinheiros, o ano de 1925 registrou 515.200 m³ de areia e cascalho retirados, valor que mais que dobrou em 1937, quando foi registrada a retirada de 1.091.820 m³ (SEABRA, 1987).

Porém, mesmo com a construção da Represa de Guarapiranga e a mineração, a maior parte da geomorfologia da planície fluvial do Rio Pinheiros em São Paulo ainda se encontrava preservada, isso fazia do rio e sua larga planície de inundação elemento impeditivo à expansão da cidade (AB'SÁBER, 1957). No entanto, tanto o rio quanto suas várzeas - denominação popular das planícies de inundação - faziam parte da cidade como fonte de recursos naturais e áreas de recreação, sendo parte integrante da paisagem e cotidiano paulistano (SEABRA, 1987).

Estes terrenos eram utilizados para pastos de animais, por corporações militares que realizavam exercícios bélicos, por muitos campos de futebol (campos de várzea), pelos primeiros clubes de regatas e de desportos da cidade (como o Sport Club Germânia) e chácaras nos terrenos mais enxutos (AB'SÁBER, 1957).

A escassez de energia elétrica na cidade ao longo da década de 1920 (PONTES, 1995) foi o argumento para a implantação de projetos de engenharia que transformaram o rio Pinheiros, segundo Ab'Sáber (1978), o rio de médio porte mais transformado na cidade de São Paulo e talvez de todo o mundo tropical.

Em 1925, começa a se tornar realidade o Projeto Serra, idealizado por engenheiros da *Light*. O projeto buscava aproveitar o desnível altimétrico da Serra do Mar, revertendo águas do planalto para a geração de energia hidroelétrica na Baixada Santista. Para tal, seria necessário o represamento e inversão das águas do rio Grande (um dos formadores do rio Pinheiros), para o leito do rio das Pedras

(afluente do rio Cubatão, já na Baixada Santista). Dois anos depois, em 1927, os idealizadores do projeto alegaram a necessidade de inversão das águas do rio Pinheiros e substituição do leito meândrico por um canal artificial, para que parte das águas do rio Tietê fosse encaminhada para os reservatórios nos formadores do rio Pinheiros. O projeto é aprovado pelo poder público, em 17/12/1927 (PONTES, 1995).

Como resultado, o canal meândrico do rio Pinheiros dá lugar a um canal artificial retificado de 25.800 metros de extensão (da foz até a Represa Billings) e média de 85 metros de largura. Foram construídas a Represa do Rio Grande em 1927 (atual Billings), as usinas elevatórias de Pedreira em 1939 (na barragem da Represa Billings) e da Traição em 1940, na desembocadura do córrego homônimo (próximo a atual Ponte Eng. Ari Torres), e a Estrutura do Retiro, próximo a confluência com o rio Tietê em 1942 (com a finalidade de controlar o fluxo de água entre os dois rios em caso de cheias). A Represa de Guarapiranga foi inserida no sistema de alimentação da Usina Henry Borden em 1945 (DINIZ; FERRARI, 1995) (Figura 27).

Estas obras tornaram possível a reversão do curso do Pinheiros de jusante para montante, em direção as represas Guarapiranga e Billings. Devido à natureza e complexidade das obras, elas se estenderam por quase trinta anos durante as décadas de 1930, 1940 e 1950, período no qual houve várias mudanças de concepção e de execução dos projetos originais (SEABRA, 1995).

Figura 27 – Sistema hidráulico artificial no canal do Pinheiros.
Modificado de EMAE, disponível em: <http://www.emae.com.br/conteudo.asp?id=Sistema-Hidraulico> .

As enchentes eram um grande problema para a população, fazendo com que as intervenções de engenharia na planície fluvial do Rio Pinheiros abrigassem objetivos contraditórios. Se, por um lado, as represas tinham que estar sempre cheias para possibilitar a produção de energia elétrica, por outro lado, elas deveriam estar sempre vazias para um efetivo sistema de controle de enchentes (SEABRA, 1987).

Reflexo desta preocupação foi a construção do “Dreno do Brooklin”, um canal paralelo ao rio Pinheiros sob a atual Avenida Luís Carlos Berrini, concebido para minimizar o problema das enchentes na região das desembocaduras dos córregos Traição, Águas Espreiadas e Cordeiro. Porém, a impermeabilização da bacia e assoreamento do referido dreno fez com que as enchentes persistissem na região até a década de 1990, quando foi construído um piscinão²² (CUSTÓDIO, 2002).

Um conturbado processo de especulação imobiliária marcou a urbanização da antiga planície de inundação. No contrato de concessão foi conferida à *Light* a faculdade de desapropriação das “áreas alagadiças ou sujeitas a inundações”, tornando a empresa dona de grande parte das terras da planície de inundação e dos baixos terraços fluviais (SEABRA, 1987; 1995).

Em 1957 as obras foram entregues para a administração pública (PONTES, 1995). O processo de apropriação dos novos terrenos pela *Light*

²² *Piscinão* é o termo popular dos reservatórios de detenção, que são as mais recentes intervenções de engenharia na tentativa de minimização das enchentes. Reflete a mudança na lógica do combate as enchentes, pois o seu princípio é o da retenção das águas em diferentes pontos da bacia hidrográfica, ao invés da lógica predominante até então, que era a da expulsão das águas da bacia por meio do aumento da capacidade dos canais através da canalização, alargamento e retificação. Porém, isto não significa que a lógica anterior tenha sido abandonada, como, por exemplo, no recente projeto de ampliação da calha do Tietê, que se encontra em sua segunda fase (DAEE, 2012). Os *piscinões* aumentam a capacidade de retenção de água das bacias hidrográficas, fazendo, portanto, o papel hidrológico da vegetação e terrenos anteriores à urbanização em sua capacidade de retardar o tempo e escoamento das águas, porém, apresentam problemas, como alto custo da obra e manutenção, assoreamento e poluição (SANTOS, 2006).

resultou em 20.779.443 m² de terra para a empresa, dos quais apenas 4.015.360 m² foram destinados ao projeto de engenharia (Canal Pinheiros, linha de transmissão, ferrovia e avenidas marginais), restando 16.764.083 m² de terras, que foram direcionadas à especulação imobiliária encabeçada pela *Light* (SEABRA, 1987; PONTES, 1995).

A antiga planície de inundação foi transformada num novo nível terraceado devido aos aterros e à nova dinâmica de cheias que se instalou no sistema fluvial após as obras da *Light*. Estes aterros são compostos principalmente por lixo (SEABRA, 1987), mas outros materiais tecnogênicos também foram despejados na área ao longo da história, como entulho, desassoreamento, botas-foras etc. (RODRIGUES, 2005).

Ao mesmo tempo, a urbanização da cidade de São Paulo era orientada pelo “Plano das Avenidas” de Prestes Maia, resultando na construção de vias expressas marginais ao canal nas planícies de inundação da cidade (CUSTÓDIO, 2002). Esta lógica urbanística, aliada às intervenções da *Light* na planície fluvial do Rio Pinheiros, permitiu que construções e vias avançassem sobre os novos níveis terraceados formados sobre a antiga planície de inundação.

Cabe ressaltar que o Engenheiro Sanitarista Saturnino Brito, em 1926, alertou para a necessidade de preservação de setores das planícies de inundação para fins de controle de enchentes, sugerindo que partes das planícies da cidade fossem transformadas em parques ou bosques que pudessem ser eventualmente inundados sem inconvenientes para a população. Uma das áreas que seriam destinadas a esse uso seria a região da confluência entre os rios Pinheiros e Tietê (BRITO, 1926).

Projetos mais recentes também buscam a criação de áreas livres para fins de controle de enchentes, porém ainda não se tornaram realidade. O Projeto do Parque Tietê de 1986, elaborado pelo arquiteto Oscar Niemeyer, previa a remoção das vias marginais expressas e a desapropriação de 10 milhões de metros quadrados ao longo da margem esquerda do Rio Tietê para a criação de um grande parque com habitações, escritórios, núcleos de lazer e esportes, áreas verdes, um centro cívico e um centro cultural. No final do século XX a Prefeitura de São Paulo realizou um concurso público para planos urbanísticos e ambientais para as margens dos rios paulistanos e, novamente a necessidade de recuperação de parte das funções hidromorfológicas do sistema é salientada pelo projeto vencedor, proposto pela equipe do arquiteto Bruno Padovano (Figura 28) (MONTEIRO, 2010).

No entanto, o atendimento a interesses setoriais, como os do mercado imobiliário impediram, junto com o poder público, a implantação destes projetos (CUSTÓDIO, 2002), fazendo com que as antigas várzeas fossem praticamente eliminadas da planície fluvial do Rio Pinheiros.

A ocupação urbana da antiga planície de inundação ocorre de maneira desigual no tempo e no espaço. Primeiramente, antigos bairros da cidade, que possuem seus núcleos nos terraços fluviais, como Pinheiros, Butantã, Santo Amaro e Itaim Bibi, se estenderam em direção ao canal retificado (SEABRA, 1987), seja por zonas residenciais como o Alto de Pinheiros e City Butantã, seja por grandes zonas industriais, como Jaguaré, Vila Leopoldina e Santo Amaro (Figura 29).

Outras partes foram destinadas a equipamentos urbanos, clubes e usos diversos, como a Cidade Universitária, o *Jockey Club*, o CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo), o Esporte Clube Pinheiros (antigo Sport Club Germânia) e o clube da Hebraica.

Dois importantes parques foram implantados na área, porém, distante da função proposta por Brito (1923) para os parques varzeanos, que era de controle de enchentes, seja por causa dos espessos aterros que os compõem, seja pela separação física entre eles e o canal do Pinheiros pelas vias expressas e ferrovia. O Parque Villa Lobos foi implantado durante a década de 1990 na região do Alto de Pinheiros e Vila Leopoldina, sobre um aterro de 3 a 4 metros de altura composto por resíduos sólidos, entulho e materiais oriundos de obras como as do METRÔ (RODRIGUES, 2006). O Parque do Povo foi implantado em 2006 na região do Itaim Bibi, num terreno que era ocupado irregularmente por agremiações esportivas, principalmente de futebol, últimos remanescentes dos “campos de várzea” na planície do Pinheiros.

Figura 28 – Concurso das marginais, área pontual 1. Projeto da equipe do arquiteto Bruno Padovano.
Fonte: Monteiro (2010).

Figura 29 – Expansão urbana sobre a Planície Fluvial do Rio Pinheiros.

Obs.: O mapa original de SÃO PAULO (2007) trata da expansão urbana até 2002. Os dados de expansão a partir de 2002 foram adicionados pelo autor por meio de comparações com as imagens de satélite do Google Earth.

Atualmente, nos bairros de Pinheiros, Itaim Bibi, Vila Olímpia, Cidade Jardim e Brooklin, principalmente ao longo das Avenidas Brig. Faria Lima e Luís Carlos Berrini e da Marginal Pinheiros, as antigas planícies de inundação se transformaram em uma das regiões mais valorizadas da cidade de São Paulo (HEPNER, 2010).

É uma parte da cidade que concentra investimentos privados voltados a negócios imobiliários controlados pelo capital local, e investimentos públicos voltados à modernização da infraestrutura, muitas vezes, combinados na forma de “parcerias público-privadas”, marcadas pelo direcionamento de recursos públicos para alavancar negócios privados e pela expulsão dos moradores de baixa renda da região (FIX, 2004).

Esse processo iniciou-se nos anos 1990, e demarca uma nova etapa de intervenção na planície, caracterizada pela substituição das antigas residências e indústrias, por arranha-céus, shoppings, hotéis, casas de espetáculo, empreendimentos multiuso e condomínios verticais de altíssimo padrão. Tudo isso, acompanhado de grandes investimentos públicos na construção de pontes, túneis, ampliação de avenidas (FIX, 2007; 2009), modernização do sistema de trens metropolitanos que atravessa a planície de norte a sul e construção de um túnel de METRÔ por baixo do canal do Pinheiros (Linha 4 - Amarela). Grandes interceptadores de esgoto, com diâmetros de até 2 metros, acompanham paralelamente o Canal Pinheiros e toda a sua extensão (Figura 30) (SABESP, 2013).

Um fenômeno mais recente vem acontecendo na Leopoldina, Jaguaré e partes de Santo Amaro, onde os galpões industriais estão sendo substituídos por imensas torres residenciais, ocasionando problemas de mobilidade urbana devido à falta de um sistema viário adequado ao crescente número de habitantes, assim

como a consequente pressão sobre a administração pública para intervenções de infraestrutura viária nestes bairros (ANGELI, 2011).

Figura 30 – Construção de interceptador de esgoto abaixo da Marginal Pinheiros.
Fonte: SABESP (2013).

Estas grandes edificações têm gerado grandes intervenções no subsolo. Alguns empreendimentos chegam a utilizar de 3 a 7 níveis subterrâneos, principalmente, para acomodar vagas de estacionamento, tornando constante o bombeamento do lençol freático para evitar o alagamento das garagens, o que é evidenciado pela presença de água nas guias e sarjetas (KAYO, 2013) (Figura 31 e Figura 32).

A urbanização sobre terrenos com alta fragilidade geotécnica como os da planície fluvial pode resultar em colapso das edificações, como no trágico acidente ocorrido durante a escavação do poço da Estação Pinheiros e do túnel do Metrô em 12 de janeiro de 2007. O acidente matou 7 pessoas, causou danos

graves às propriedades e infraestruturas urbanas. De acordo com o relatório técnico que investigou suas causas, os executores da obra não levaram em consideração o complexo modelo geológico da área e a coluna d'água sobre o túnel (IPT, 2009).

Figura 31 – Bombeamento do lençol freático no bairro do Brooklin.
Fonte: Kayo (2013)

Figura 32 – Esquema de bombeamento do lençol freático por grandes edificações.
Fonte: Gallo e Gerarque (2012).

Além de comportar um dos mais importantes centros financeiros da cidade, Oseki (2000), destaca que a planície do Pinheiros se configura hoje como um espaço de redes, suportando um dos mais importantes eixos de circulação de mercadorias da cidade, fazendo com que o canal e sua várzea não se constitua mais como local de vivência e moradia para a maioria da população que mora ou trabalha nas proximidades. Seabra (1987) reconhece que a população já não dá conta da existência do rio Pinheiros e de sua várzea, a não ser quando ocorrem as enchentes.

A urbanização da planície fluvial do Rio Pinheiros variou no tempo e no espaço. Porém, desde as intervenções e apropriações da Light até os dias atuais, esta urbanização foi possibilitada por uma articulação entre capital financeiro internacional, mercado de terras, legislação urbanística e redes de infraestrutura (FIX, 2004).

Cada nova fase de intervenção antrópica na planície representa momentos distintos de perturbação ativa do sistema, porém, podemos afirmar que as obras da Light definem o momento de maior perturbação, responsável pela artificialização quase que completa do sistema hidromorfológico da planície fluvial do Rio Pinheiros. E é este período – década de 1940 – considerado como representativo do Estágio de Perturbação Ativa.

6 RESULTADOS

6.1 Geomorfologia Pré-urbana da Planície Fluvial do Rio Pinheiros –

Estágio Pré-perturbação

“Mas em Piratininga [...], quando o dia é mais abrasador com o ardor do sol [...] vem a chuva trazer-lhe refrigério [...]. Na primavera, que principia em setembro, e no verão que começa em dezembro, caem abundantes e frequentes chuvas com grande tempestade de trovões e relâmpagos. Há então enchentes dos rios e as grandes inundações dos campos, tempo em que com pouco trabalho se toma entre as ervas grande quantidade de peixes que saem dos leitos dos rios para pôr os ovos. Mas no inverno acabam as chuvas [...]. Então os rios descem e baixam até o fundo, de maneira que com as mãos se costuma apanhar entre as ervas grande quantidade de peixe”. (Carta sobre as coisas naturais de São Vicente. Carta do Irmão José de Anchieta ao General P. Diogo Laínes, Roma, São Vicente, 31 de maio de 1560)²³.

O estágio pré-perturbação da área é apresentado na Carta da Geomorfologia Pré-Urbana da Planície Fluvial do Rio Pinheiros (Figura 34 e Figura 34), que retrata o sistema hidromorfológico meândrico original do Rio Pinheiros.

²³ Fonte: Páginas 28 e 29 da compilação intitulada **Minhas Cartas por José de Anchieta** e produzida por Associação Comercial de São Paulo, Ed. Melhoramentos e Pateo do Collegio em comemoração ao aniversário de 450 anos da cidade de São Paulo. A compilação é baseada em textos extraídos de VIOTTI, H. A. **Cartas, Correspondência Ativa e Passiva**. São Paulo: Edições Loyola, 1984.

Figura 33 – Carta da Geomorfologia Pré-Urbana da Planície Fluvial do Rio Pinheiros

Unidades Morfológicas		Materiais		Processos Predominantes
Canal	Canal fluvial ativo		Cascalhos e seixos depositados no leito do canal. Areias e cascalhos depositados nas margens convexas (barras laterais).	Fluxo hídrico contínuo e turbulento, com tendência à migração lateral com margem de deposição (convexa) e de erosão (côncava).
	Meandros abandonados		Areias finas, silte e argila com matéria orgânica no topo e areias grossas, cascalhos e seixos na base.	Canais fluviais que foram abandonados por cutoff ou avulsão, apresentando processos de colmatagem e regime de fluxo lacustre.
Planície de Inundação	Diques marginais		Areias médias a grossas e siltes	Sedimentos depositados durante as primeiras fases de transbordamento do canal.
	Cordões marginais		Predomínio de areias e cascalhos, com ocorrência de siltes, argilas e matéria orgânica nas pequenas depressões entre os cordões.	Antigas barras laterais abandonadas ou em processo de abandono pelo canal. Com vegetação e incipiente desenvolvimento pedológico.
	Backswamps		Sedimentos finos (silte e argila) e matéria orgânica acumulados pelas águas que são represadas após as inundações.	Área de armazenamento das vazões de pico devido ao represamento das águas das inundações, envolvendo sedimentação de finos por decantação, acúmulo de matéria orgânica e provável gleização dos solos.
	Planície de inundação indiferenciada		Sedimentos com grande variedade granulométrica. Predomínio de argilas e areias finas a médias sobre níveis de cascalhos e seixos. Horizontes pedológicos mais ou menos frequentes. Depósitos de 4 e 7 metros de espessura sobre rochas pré-cambrianas intemperizadas ou sobre a Formação Itaquaquetuba.	Inundações periódicas, com fases de enchimento e ressecamento, envolvendo sedimentação de finos, acúmulo de matéria orgânica e incipientes processos pedológicos com predominante gleização. Areias grossas, cascalhos e seixos subsuperficiais oriundos da movimentação lateral do canal fluvial.
Terraços	Nível 1	até 7 metros acima da planície de inundação		Processos pedológicos predominantes. Inundações ocasionais, envolvendo acumulação de matéria orgânica e sedimentação de finos.
	Nível 2	7 a 12 metros acima da planície de inundação		Processos pedológicos e parcialmente erosivos que ocorrem sobre os sedimentos fluviais previamente depositados em uma planície de inundação agora abandonada.
			Terraço sobre as rochas do embasamento pré-cambriano.	

Figura 34 – Legenda detalhada da Carta da Geomorfologia Pré-Urbana da Planície Fluvial do Rio Pinheiros

6.1.1 Subsistemas hidromorfológicos – Estágio Pré-Urbano

Canal

A carta apresenta a localização do antigo canal do Rio Pinheiros e de vários meandros abandonados por *cutoff* ou avulsão, permitindo o cálculo de alguns parâmetros morfométricos do antigo canal. O Rio Pinheiros antes da urbanização possuía 37,2 km de comprimento, 29,88 m de largura média e 1,88 de sinuosidade.

A profundidade do canal pré-urbano pode ser reconstituída por meio das observações hidrológicas de Brito (1926), realizadas 20 metros a montante da antiga Ponte do Butantã, próxima a atual Ponte Bernardo Goldfarb (Tabela 2).

Tabela 2 – Medições de vazão realizadas no Rio Pinheiros entre 1924 e 1925 pela Comissão de Melhoramentos do Rio Tietê (BRITO, 1926).

Data	Altura medida (m)	Profundidade (W) (m)	Cota (m)	Vazão (Q) (m ³ /s)
05/04/24	0,77	(2,15)	(715,85)	10,9
11/04/24	0,93	(2,31)	(716,01)	15,0
16/04/24	0,98	(2,36)	(716,06)	16,4
29/04/24	1,23	(2,61)	(716,31)	23,9
31/12/24	1,41	(2,79)	(716,49)	23,3
03/01/25	1,75	(3,13)	(716,83)	33,0
10/07/25	0,51	(1,89)	(715,59)	4,8
Média	1,08	2,46	716,16	18,18

Obs.: As profundidades e cotas foram calculadas conforme diagrama da Figura 35

Apesar de escassas, estas 7 medidas são as únicas informações encontradas para o canal pré-urbano que indicam a sua profundidade. No diagrama da Figura 35, apresentado por Brito (1926), podem ser identificadas as cotas altimétricas do fundo do leito do canal (713,7 metros) e do que o autor denominou de “N.T.- Nível do terreno” (718,08 metros). Entendemos que o “nível do terreno” provavelmente corresponde ao topo do canal, e pode ser tomada como um dado, ao menos aproximado, da cota de margens plenas pré-urbana para este trecho do canal.

Figura 35 – Diagrama de descarga do Rio Pinheiros de acordo com observações de 1924 e 1925.
 Modificado de Brito (1926).

Sendo assim, a profundidade média do canal em vazão de margens plenas seria de aproximadamente 4,38 m (718,08 - 713,70). Assim, foi possível estabelecer a relação matemática entre a profundidade e a vazão, via equação de potência e preceitos da geometria hidráulica (Figura 36 e Equação 4).

Figura 36 – Relação entre profundidade (W) e vazão (Q) a partir dos dados de Brito (1926).

Org. Rodolfo A. da Luz.

$$W = 1,2087 Q^{0,254} \quad (4)$$

onde, W é aprofundidade e Q é a vazão.

Aplicando equação 4 sobre a profundidade estimada do canal pré-urbano em vazões de margens plenas (4,38 metros) chegamos a um valor de vazão de margens plenas estimado em **159 m³/s** ($4,38 = 1,2087 \times 159^{0,254}$).

Planície de inundação

A planície de inundação original e suas feições mais típicas, tais como backswamps e diques e cordões marginais, juntamente com os meandros abandonados, representam os antigos terrenos afetados pelas cheias sazonais, compreendendo uma área de 17,69 km².

A planície de inundação possui em média 1.000 m de largura, atingindo o máximo de 2.500 m na região da Cidade Universitária e Parque Villa-Lobos. O setor mais estreito é entre os bairros de Pinheiros e Butantã, onde a largura da planície de inundação é reduzida para cerca de 200 m devido ao controle estrutural da zona de falhas vinculada ao falhamento de Caucaia. A menor taxa de subsidência do bloco tectônico ao norte destas falhas (Bloco Cotia) resulta em afloramentos rochosos dentro da planície de inundação (Figura 37), e é a causa provável de seu estrangulamento pelos níveis terraceados adjacentes (LUZ, 2010; LUZ; RODRIGUES, 2013).

Terraços

Dois níveis terraceados foram identificados, denominados Terraço Nível 1 e Terraço Nível 2. Eles são amplos e contínuos na margem direita, revelando a história do entalhamento do Rio Pinheiros em direção aos terrenos cristalinos. O

mesmo ocorre na planície do rio Tietê e, segundo Ab'Sáber (1952-1953), estes níveis terraceados bem demarcados no ângulo interno dos vales do Tietê-Pinheiros são resultado de sucessivas paradas e retomadas de erosão em direção aos terrenos cristalinos que teriam ocorrido após o Plioceno.

Os terraços de nível 1 abrangem 7,56 km² da planície fluvial, estão em média 3,5 metros acima da planície de inundação podendo atingir até 7 metros de altura e, no geral, possuem rebordos pouco definidos, geralmente em forma de mudanças de declive suaves e em rampas. Este compartimento foi denominado por Ab'Sáber (1957) como “planície de inundação sujeita apenas às grandes cheias”, mas o próprio autor já destaca a sua “aparência de rasos terraços desprovidos de quaisquer ‘taludes’”. Tendo em vista a dinâmica de cheias do sistema, foi decidido no mapeamento atual classificar este nível como terraço, e não como um nível mais alto da planície de inundação, uma vez que este seria o compartimento que não é atingido pelas cheias periódicas do sistema, mas somente pelas cheias ocasionais²⁴.

Os terraços de nível 2 compreendem uma área de 9,87 km² entre 7 a 12 metros de altura acima da planície de inundação, que resulta numa superfície em média 9,5 metros acima do nível da planície. No geral, seus rebordos são bem definidos e caracterizam rupturas de declive de fácil identificação com os compartimentos inferiores (Figura 38).

²⁴ Em pesquisa anterior Luz (2010) utilizou a mesma classificação de Ab'Sáber (1957) para tais níveis. Classificação que foi agora revista.

Figura 37 - Afloramento rochoso na planície de inundação. Av. Alvarenga, nº1972.
Fonte: Luz (2010).

Figura 38 – Ruptura de declive do terraço nível 2. Av. Cardeal Arco Verde x Av. Rebouças.
Fonte: Luz (2010)

6.2 Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 1949

– Estágio de Perturbação Ativa

A análise da geomorfologia antrópica foi realizada a partir da identificação e qualificação da tipologia de intervenção nas características hidromorfológicas em cada modalidade de uso da terra, tendo em vista, principalmente, as mudanças na permeabilidade do terreno e nas águas subsuperficiais e a exposição dos solos e sedimentos aos processos erosivos. Em seguida, as intervenções decorrentes de cada modalidade de uso da terra foram analisadas segundo o subsistema hidromorfológico no qual ocorre.

6.2.1 Uso da terra e tipologia de intervenção – Estágio de Perturbação Ativa (1949)

A Tabela 3, Figura 39 e Figura 40 apresentam as categorias de uso da terra em 1949, suas características hidromorfológicas e os graus de perturbação antrópica, considerando o tipo de uso urbano.

Tabela 3 – Uso da terra em 1949 e respectivas áreas.

Categoria de uso	Área (km ²)	Área (%)	Grau de perturbação	Área (km ²)	Área (%)
Terrenos não perturbados	11,23	31,47	Muito baixo	11,57	32,41
Agricultura	0,34	0,94			
Residencial térreo consolidado	4,47	12,52	Médio	4,47	12,52
Estradas e Ferrovias	0,14	0,39	Alto	13,99	39,20
Equipamento urbano em implantação	2,05	5,74			
Residencial em implantação	9,11	25,53			
Industrial em implantação	2,69	7,54			
Movimentos de terra e obras de retificação do canal	5,67	15,88	Muito alto	5,67	15,88
Total	35,69	100,00	Total	35,69	100,00

Figura 39 – Mapa de uso e ocupação da terra em 1949

Categoria de uso	Exemplo (Fotografia aérea de 1949)	Características da ocupação	Hidromorfologia	Grau de perturbação	
Terrenos não perturbados		Áreas remanescentes ou com uso agrícola. Superfície com vegetação original e secundária ou com plantio.	Infiltração viabilizada pela permeabilidade da cobertura da superfície do terreno e presença de vegetação. Perda de solo por erosão restrita aos locais com intervenções agrícolas.	Inexistente ou Muito Baixo	
Agricultura
Residencial térreo consolidado		Lotes e arruamentos bem definidos, alta densidade de edificações térreas com vegetação esparsa com remanejamento de material superficial.	Tendência ao escoamento superficial concentrado. Remoção dos horizontes superficiais do solo (inferiores a 1 metro), cortes e aterros localizados.	Médio	
Estradas e ferrovias		Aterros e cortes de estradas e ferrovia.	Tendência ao escoamento superficial concentrado, principalmente nas descontinuidades lineares. Aterramentos elevados e cortes profundos (superiores a 1 metro).	Alto	
Equipamento urbano em implantação		Lotes e arruamentos em implantação para diferentes usos. Baixa densidade de edificações, vegetação original removida, superfície com gramíneas e solo exposto com remanejamento de material superficial.	Remoção dos horizontes superficiais do solo (inferiores a 1 metro) e exposição do solo aos processos erosivos. Cortes e aterros com remobilização de material. Tendência ao escoamento superficial difuso e concentrado em descontinuidades lineares com significativa mobilização de material superficial. Infiltração favorecida nas áreas ainda não edificadas e sem arruamento.		
Residencial em implantação
Industrial em implantação

continua

conclusão

Categoria de uso	Exemplo (Fotografia aérea de 1949)	Características da ocupação	Hidromorfologia	Grau de perturbação
Movimentos de terra e obras de retificação do canal		Solo remobilizado por obras estruturais como a retificação do canal sem vegetação	Remoção dos horizontes superficiais do solo (superiores a 1 metro) e aterramentos elevados com exposição do solo aos processos erosivos. Tendência ao escoamento superficial difuso e concentrado com grande mobilização de material superficial.	Muito alto

Figura 40 – Legenda do Mapa de Uso da Terra em 1949 (Figura 39).

6.2.2 Subsistemas hidromorfológicos – Estágio de Perturbação Ativa (1949)

A Carta da Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 1949 (Figura 41 e Figura 42) reflete o momento da artificialização do sistema hidromorfológico pré-urbano, quando elementos geomorfológicos artificiais introduzidos pela ação antrópica direta por meio da urbanização em seus diferentes graus de perturbação (Tabela 4) convivem com morfologias e estruturas remanescentes do sistema anterior.

Tabela 4 - Unidades morfológicas mapeadas e graus de perturbação urbana. Estágio de Perturbação Ativa (1949).

Unidades morfológicas										
Pré-urbana (Pré-perturbação)				Antrópica (Perturbação ativa)		Grau de perturbação				
						Muito alto	Alto	Médio	Muito baixo	Total
Planície de inundação	Rio Pinheiros	km²	6,98	n.s.a. (não se aplica)	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.	
		%	96,47							
	Rio afluente	km²	0,26							
		%	3,53							
	Total Planície de inundação	km²	7,24	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.		
		%	100,00							
Terraço Nível 1	n.s.a.	Urbanização na antiga planície de inundação do Rio Pinheiros	km²	4,22	4,56	0,14	0,25	9,16		
			%	46,02	49,72	1,50	2,76	100,00		
		Urbanização nas antigas planícies de inundação de rios afluentes	km²	0,12	0,07	0,00	0,00	0,20		
			%	62,11	35,55	2,34	0,00	100,00		
	Total Terraço N1	km²	4,34	4,63	0,14	0,25	9,36			
		%	46,36	49,42	1,52	2,70	100,00			
Terraço Nível 2	Sobre terreno sedimentar	km²	2,50	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.		
		%	98,85							
	Sobre embasamento rochoso	km²	0,07							
		%	1,15							
	n.s.a.	Terraço urbanizado sobre terrenos sedimentares	km²	0,05	3,92	0,84	0,08	4,88		
			%	0,99	80,22	17,24	1,55	100,00		
		Terraço urbanizado sobre embasamento rochoso	km²	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01		
			%	0,00	100,0	0,00	0,00	100,00		
		Urbanização sobre Aterro	km²	1,16	0,38	0,01	0,00	1,55		
			%	74,85	24,75	0,40	0,00	100,00		
Total Terraço N2	km²	2,57	1,21	4,31	0,85	0,08	6,44			
	%	28,53	13,40	47,82	9,41	0,84	71,47			
Terraço Nível 3	Sobre terreno sedimentar	km²	1,77	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.	n.s.a.		
		%	98,37							
	Sobre embasamento rochoso	km²	0,03							
		%	1,62							
	n.s.a.	Terraço urbanizado	km²	0,06	4,50	3,47	0,01	8,04		
			%	0,76	56,02	43,13	0,08	100,00		
		Urbanização sobre aterros	km²	0,05	0,01	0,01	0,00	0,07		
			%	68,97	19,42	11,61	0,00	100,00		
		Terraplanagem (corte de vertente)	km²	0,02	0,18	0,00	0,00	0,20		
			%	10,09	89,91	0,00	0,00	100,00		
	Total Terraço N3	km²	1,80	0,13	4,70	3,48	0,01	8,31		
		%	17,79	1,57	56,53	41,81	0,08	82,21

Figura 41 – Carta da Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 1949 – Estágio de Perturbação Ativa

Unidades Morfológicas				Materiais	Processos dominantes		
Morfologia Pré-Urbana (pré-perturbação)		Morfologia Antrópica (perturbação ativa)					
Canal	não se aplica (n.s.a.)		n.s.a.	Canal Pinheiros		Águas com alta carga sedimentar relacionada ao estágio de perturbação ativa do sistema. Cascalhos e areias no leito. Transporte e deposição de matéria orgânica, lixo e águas de esgoto.	Fluxo hídrico contínuo apresentando processos localizados de deposição de matéria orgânica e lixo dos esgotos (assoreamento).
	Canais abandonados	Remanescentes do Rio Pinheiros		n.s.a.	n.s.a.	Cascalhos e seixos depositados no leito do canal. Areias e cascalhos depositados nos bancos convexos (barras laterais) e incipiente deposição de matéria orgânica e finos (silte e argila).	Canais fluviais em processo de abandono. Predomínio de processos de decantação.
		Meandros abandonados		n.s.a.	n.s.a.	Areias finas, silte e argila com matéria orgânica no topo e areias grossas, cascalhos e seixos na base.	Canais fluviais que foram abandonados por cutoff ou avulsão, apresentando processos de colmatagem.
		n.s.a.	n.s.a.	Meandros aterrados		Depósitos tecnogênicos, principalmente materiais provenientes da ampliação e aprofundamento do Canal Pinheiros.	Tendência à impermeabilização da superfície, dependente das características do material tecnogênico disposto.
Planície de inundação	Diques marginais			n.s.a.	n.s.a.	Areias médias a grossas e siltes.	Sedimentos depositados durante as primeiras fases de transbordamento do canal.
	Cordões marginais			n.s.a.	n.s.a.	Predomínio de areias e cascalhos, com ocorrência de siltes, argilas e matéria orgânica nas pequenas depressões entre os cordões.	Barras laterais abandonadas ou em processo de abandono pelo canal. Com vegetação e incipiente desenvolvimento pedológico.
	Backswamps			n.s.a.	n.s.a.	Sedimentos finos (silte e argila) e matéria orgânica acumulados pelas águas que são represadas após as inundações.	Área de amortecimento das vazões de pico devido ao represamento das águas das inundações, envolvendo sedimentação de finos por decantação, acúmulo de matéria orgânica e provável gleização dos solos.
	Planície de inundação indiferenciada			n.s.a.	n.s.a.	Sedimentos com grande variedade granulométrica. Predomínio de argilas e areias finas a médias sobre níveis de cascalhos e seixos. Horizontes pedológicos mais ou menos frequentes. Depósitos de 4 e 7 metros de espessura sobre rochas pré-cambrianas intemperizadas ou sobre a Formação Itaquaquacetuba.	Áreas de amortecimento de cheias, com fases de enchimento e ressecamento, envolvendo sedimentação de finos, acúmulo de matéria orgânica e incipientes processos pedológicos com predominante gleização. Areias grossas, cascalhos e seixos subsuperficiais oriundos da movimentação lateral do canal fluvial.
Terraplanagem	Altimetria		Urbanização na antiga planície de inundação	Grau de perturbação*		Descontínua e fina camada superior de materiais tecnogênicos sobre os sedimentos fluviais da planície de inundação.	Superfície em processo de impermeabilização, apresentando aumento do escoamento superficial em relação a infiltração e de inundações ocasionais. Terrenos sobre antigos rios, lagos e cavas de mineração podem apresentar instabilidades geotécnicas dependendo das características do material tecnogênico utilizado no preenchimento. Terrenos sobre cortes de vertente podem apresentar instabilidades geotécnicas dependendo das declividades e qualidade das estruturas de contenção dos taludes.
	Nível 1: Cerca de 2 m acima do canal fluvial	n.s.a.		Muito baixo
				Médio
				Alto
				Muito alto
			Terraplanagem (corte de vertente)	Muito alto		Sedimentos fluviais, horizontes C do solo ou rochas do embasamento Pré-Cambriano intemperizadas.	
	Nível 2: Até 9 m acima do Canal Pinheiros		n.s.a.	n.s.a.	Materiais semelhantes aos da planície de inundação, porém com horizontes pedológicos frequentes.	Processos pedológicos predominantes. Inundações ocasionais, envolvendo acumulação de matéria orgânica e sedimentação de finos.
		n.s.a.	n.s.a.	Terraço sobre rochas do embasamento pré-cambriano		
		n.s.a.	Urbanização sobre níveis terraceados	Muito baixo		Descontínua e fina camada superior de materiais tecnogênicos sobre sedimentos fluviais e solos incipientes.	Superfície em processo de impermeabilização, com aumento do escoamento superficial em relação à infiltração. Inundações localizadas derivadas de rede de drenagem urbana deficiente. Inundações relativas ao extravasamento do Canal Pinheiros pouco frequentes.
				Médio
				Alto
				Muito alto
		n.s.a.	Aterros	Médio		Material tecnogênico proveniente da retificação e aprofundamento do canal, lixo e entulho, disposto sobre os antigos níveis da planície de inundação e terraços baixos.	Terrenos sobre aterros podem apresentar instabilidades geotécnicas dependendo das características do material tecnogênico utilizado. Terrenos sobre cortes de vertente podem apresentar instabilidades geotécnicas dependendo das declividades e qualidade das estruturas de contenção dos taludes.
				Alto
				Muito alto
				Alto		Sedimentos fluviais, horizontes C do solo ou rochas do embasamento Pré-Cambriano intemperizadas.	
		Nível 3: De 9 a 14 m acima do Canal Pinheiros		n.s.a.	n.s.a.	Cerca de 5 metros de espessura de solos orgânicos e sedimentos quaternários sobre, principalmente, o embasamento pré-cambriano intemperizado e, secundariamente, sobre a Formação Resende.	Processos pedológicos e parcialmente erosivos que ocorrem sobre os sedimentos fluviais previamente depositados em uma planície de inundação agora abandonada. Sedimentação fluvial pouco frequente, ocorrendo somente durante as cheias raras e excepcionais.
			n.s.a.	n.s.a.	Terraço sobre rochas do embasamento pré-cambriano	
	n.s.a.		Urbanização sobre níveis terraceados	Muito baixo		Descontínua e fina camada superior de materiais tecnogênicos sobre sedimentos fluviais e solos.	Superfície em processo de impermeabilização, com aumento do escoamento superficial em relação à infiltração. Inundações localizadas derivadas de rede de drenagem urbana deficiente e de rios afluentes. Inundações relativas ao extravasamento do Canal Pinheiros muito raras.
				Médio
				Alto
				Muito alto
	n.s.a.		Aterros	Médio		Material tecnogênico proveniente da retificação e aprofundamento do canal, lixo e entulho, disposto sobre os antigos níveis da planície de inundação e terraços.	Terrenos sobre aterros podem apresentar instabilidades geotécnicas dependendo das características do material tecnogênico utilizado. Terrenos sobre cortes de vertente podem apresentar instabilidades geotécnicas dependendo das declividades e qualidade das estruturas de contenção dos taludes.
				Alto
Muito alto
n.s.a.	Terraplanagem (corte de vertente)		Alto		Horizontes C do solo ou rochas do embasamento Pré-Cambriano intemperizadas.		
Muito alto
*Características hidromorfológicas conforme graus de perturbação		Muito baixo	Camada superior remobilizada (aragem), drenagem artificial e erosão do solo vinculados ao uso agrícola.				
		Médio	Áreas residenciais consolidadas sobre superfícies pré-urbanas com camadas superficiais do solo removidas (< 1 metro) ou sobre aterros. Tendência ao escoamento superficial concentrado e enxurradas.				
		Alto	Loteamentos em implantação, estradas e ferroviárias. Remobilização dos horizontes superficiais do solo (< 1 metro), exposição do solo aos processos erosivos, cortes e aterros. Tendência ao escoamento superficial difuso e concentrado com significativa mobilização de material superficial. Infiltração favorecida nas áreas ainda não edificadas e sem arruamento.				
		Muito alto	Alta quantidade de solos expostos e remobilizados (> 1 metro) e de aterramentos devido a obras de grande porte, sobretudo, de abertura do Canal Pinheiros. Tendência ao escoamento superficial difuso e concentrado e intensa erosão sobre o solo exposto.				

Figura 42 – Legenda detalhada da Carta da Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 1949 – Estágio de Perturbação Ativa

Canal

Em 1949 as obras de retificação que resultaram no Canal Pinheiros já tinham reduzido o comprimento do canal fluvial para 18,2 km, eliminando assim a antiga sinuosidade, além de ter aumentado a largura média para 60,24 metros. Informações sobre a profundidade média do canal neste período não foram encontradas, mas provavelmente era bastante irregular pelo fato do canal artificial estar em processo construção.

Trechos do antigo canal meândrico foram transformados em meandros abandonados e foram identificados nos remanescentes da planície de inundação que estava em pleno processo de incorporação pelos espaços urbanos adjacentes. Foi possível diferenciar os meandros nitidamente aterrados de trechos ainda remanescentes (Figura 43). Os meandros aterrados se encontravam principalmente nas margens do canal em construção, com material tecnogênico exposto, provavelmente proveniente das obras de escavação e alargamento do canal.

Figura 43 – Fragmento de aerofoto de 1949 com destaque para a diferenciação entre meandro aterrado e meandro abandonado.

Planície de inundação

Os principais remanescentes da planície de inundação em 1949 se localizavam nos extremos norte e sul da planície fluvial estudada, onde a urbanização ainda não era significativa. Estas áreas remanescentes eram então responsáveis pela atenuação das cheias do canal principal e afluentes, mas compreendiam apenas 40,0% da planície de inundação original.

A retificação, alargamento e aprofundamento do canal, juntamente com outras obras hidráulicas relacionadas majoritariamente ao Projeto Serra da *Light*, destruíram o regime hidrológico antigo da região (AB'SABER, 1957). A vazão e, conseqüentemente, a capacidade de transporte do canal foi aumentada, alterando a dinâmica das cheias na planície de inundação. Estes terrenos passaram então a ser inundados com menos frequência, transformando assim o seu funcionamento dentro do sistema hidromorfológico (DOUGLAS, 1983).

Terraços

Em 1949, os terrenos da antiga planície de inundação passaram a ser menos afetados pelas cheias sazonais. Estes terrenos agora drenados eram a nova fronteira urbana da cidade e a urbanização avançava sobre eles, trazendo finos e descontínuos aterros e escavações de pequeno porte decorrentes das estruturas urbanas iniciais, como pode ser visto na porção centro-sul da carta na margem direita do Canal Pinheiros (ao sul das avenidas Eusébio Matoso e Rebouças nos bairros de Pinheiros e Itaim-Bibi).

Onde o processo de urbanização se fazia presente um novo nível de terraço foi formado e estes antigos setores da planície de inundação foram transformados num terraço antrópico, criado tanto pela ação antrópica direta quanto pela ação

indireta no sistema hidromorfológico. Este novo nível de terraço está posicionado abaixo dos terraços de nível 1 mas, muitas vezes, as evidências de separação entre estes dois níveis foram diluídas, sendo de difícil identificação (AB'SABER, 1957). Este novo nível de terraço totalmente antrópico está cerca de 2 metros acima do nível d'água médio do Canal Pinheiros e compreendia em 1949 uma área de 9,35 km².

Com as intervenções antrópicas e o surgimento deste nível de terraço mais baixo, modifica-se a compartimentação topográfica da planície. Os antigos terraços de nível 1 se transformam em Terraços de Nível 2, e os terraços mais altos passam a ser denominados Terraços de Nível 3.

A disposição de aterros de diferentes composições foi responsável pela elevação da altitude em vários setores da planície fluvial. A correspondência altimétrica destes aterros com os níveis de terraço pré-urbanos permitiu a incorporação dos mesmos aos níveis terraceados já existentes (Figura 44). Somam-se a estas áreas, as terraplanagens realizadas em terrenos limítrofes pertencentes sejam às vertentes, sejam aos terraços mais altos, que também foram responsáveis pela incorporação de novas áreas aos terraços fluviais.

Portanto, agentes antrópicos foram responsáveis por aumentar a área dos níveis terraceados pré-urbanos, seja pela elevação altimétrica de terrenos baixos via aterros, seja pelo rebaixamento de terrenos altos via terraplanagens. Em 1949, os terraços de nível 2 correspondiam a 9,03 km² (19,46% de aumento com relação ao nível pré-urbano), sendo 1,55 km² referentes a aterros e 0,01 km² a terraplanagens, ambos realizados majoritariamente para a implantação das estruturas viárias e edificações diversas. Os terraços de nível 3 abrangiam 10,11 km² (2,42% de aumento com relação ao nível pré-urbano), sendo 0,07 km² de

aterros feitos principalmente para sustentar as pontes que cruzavam o canal, e 0,20 km² de terraplanagens, feitas principalmente nas vertentes dos morros e colinas para implantação de estrutura viária e industrial (extremo noroeste da carta, bairro do Jaguaré).

Figura 44 – Fragmento de aerofoto com exemplificação dos aterros mapeados.

6.3 Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 2012

– Estágio Pós-Perturbação

Apesar de momentos de perturbação ativa ainda afetarem o sistema por causa da constante substituição de edificações e estruturas urbanas na cidade de São Paulo, estas perturbações são localizadas, permitindo a definição do estágio atual como de pós-perturbação devido à urbanização já estar bem consolidada em toda a área da planície fluvial do Rio Pinheiros.

Portanto, no atual estágio as perturbações ainda ocorrem, porém, de maneira descontínua no tempo e no espaço. Elementos antrópicos antigos são removidos para dar lugar a novos elementos antrópicos, como por exemplo, no caso da remoção de antigas casas para a implantação de modernos prédios e complexos comerciais.

De uma maneira geral, a urbanização está estabilizada na maior parte da planície fluvial e as perturbações antrópicas recentes são mais localizadas e menos intensas do que aquelas decorrentes das intervenções da *Light* nas décadas de 1930, 1940 e 1950, e que foram responsáveis por modificar significativamente o sistema hidromorfológico. O estágio pós-perturbação se caracteriza aqui por não apresentar morfologias e processos pré-urbanos, anteriores as intervenções da *Light*.

Assim como no caso da análise no estágio de perturbação ativa, a análise da geomorfologia antrópica pós-perturbação também foi realizada a partir da identificação e qualificação da tipologia de intervenção nas características hidromorfológicas em cada modalidade de uso da terra segundo o subsistema hidromorfológico no qual ocorre.

6.3.1 Uso da terra e tipologias de intervenção – Estágio Pós-Perturbação (2012)

A Tabela 5, a Figura 45 e a Figura 46 apresentam as categorias de uso da terra em 2012, suas características hidromorfológicas e os graus de perturbação antrópica, considerando o tipo de urbanização e uso da terra.

Tabela 5 - Uso da terra em 2012 e respectivas áreas.

Categoria de uso	Área (km ²)	Área (%)	Grau de perturbação	Área (km ²)	Área (%)
Campo antrópico	0,60	1,65	Muito baixo	1,58	4,38
Parques urbanos	0,99	2,73			
Equipamento urbano em terreno permeável	3,59	9,92	Baixo	7,64	21,12
Sistema viário	4,05	11,20			
Equipamento urbano em terreno impermeável	0,92	2,53	Médio	14,18	39,20
Residencial térreo	13,26	36,67			
Residencial verticalizado	2,14	5,92	Alto	8,63	23,87
Armazéns e galpões industriais ou comerciais	6,43	17,79			
Urbanização precária (favelas)	0,06	0,16			
Comercial altamente verticalizado	4,14	11,43	Muito alto	4,14	11,43
Total	36,17	100,00	Total	36,17	100,00

Figura 45 – Mapa de uso e ocupação da terra em 2012.

Categoria de uso	Exemplo (Imagem de satélite, Google Earth 7)	Características da ocupação	Hidromorfologia	Grau de perturbação
Campo antrópico		Áreas não edificadas sem identificação de uso ou parques urbanos. Superfície vegetada com gramíneas, solo exposto, ou árvores e arbustos com possível remanejamento de material.	Infiltração favorecida pela permeabilidade da cobertura da superfície do terreno e presença de vegetação. Perda de solo por erosão restrita aos locais com pequenas obras.	Muito Baixo
Parques urbanos
Equipamento urbano em terreno permeável		Áreas com edificações esparsas predominantemente térreas e verticais baixas. Superfície vegetada com gramíneas, arbustos e árvores com remanejamento de material associado às edificações.	Escoamento superficial concentrado nas superfícies impermeáveis e descontinuidades lineares. Infiltração favorecida pela presença de solo exposto e vegetação em áreas localizadas. Remoção dos horizontes superficiais do solo (inferiores a 1 metro), cortes e aterros localizados. Redes hídricas subterrâneas podem apresentar instabilidades relacionadas a rompimentos de dutos.	Baixo
Sistema viário		Largas avenidas e linhas férreas intercaladas com faixas de superfícies vegetadas com gramíneas, arbustos e árvores (canteiros centrais), com remanejamento de material.		
Equipamento urbano em terreno impermeável		Áreas edificadas e terrenos impermeabilizados. Superfície não vegetada com remanejamento de material superficial	Escoamento superficial concentrado, principalmente nas descontinuidades lineares. Remoção dos horizontes superficiais do solo (inferiores a 1 metro), cortes e aterros localizados. Redes hídricas subterrâneas podem apresentar instabilidades relacionadas a rompimentos de dutos.	Médio
Residencial térreo		Lotes e arruamentos bem definidos, alta densidade de edificações térreas com vegetação esparsa com remanejamento de material superficial.		

continua

conclusão

Categoria de uso	Exemplo (Imagem de satélite, Google Earth 7)	Características da ocupação	Hidromorfologia	Grau de perturbação
Residencial verticalizado		Lotes e arruamentos bem definidos, alta densidade de prédios, muito pouca vegetação com significativo remanejamento de material superficial e uso do subsolo.	Escoamento superficial concentrado principalmente nas descontinuidades lineares. Remoção dos horizontes superficiais e profundos do solo (superiores a 1 metro) para alicerces dos prédios e possível rebaixamento do lençol freático. Redes hídricas subterrâneas podem apresentar instabilidades relacionadas a rompimentos de dutos.	Alto
Armazéns e galpões industriais ou comerciais		Predominância de galpões construídos para uso industrial que têm ganhado outros usos como o comercial. Terrenos impermeabilizados, muito pouca vegetação com remanejamento de material superficial.	Escoamento superficial concentrado, principalmente nas descontinuidades lineares. Remoção dos horizontes superficiais do solo (inferiores a 1 metro) e possível contaminação química do solo devido ao uso industrial atual ou pretérito. Redes hídricas subterrâneas podem apresentar instabilidades relacionadas a rompimentos de dutos.	
Urbanização precária (favelas)		Habitações precárias (barracos, casas de madeira ou alvenaria) dispostas de forma desordenada e densa. Terrenos com ou sem pavimentação, pouco vegetado e sem sistemas de drenagem pluvial e esgotamento sanitário.	Escoamento superficial concentrado, principalmente nas descontinuidades lineares. Processos erosivos lineares e transporte de sedimentos e resíduos sólidos por causa da deficiente ou ausente rede de drenagem urbana	
Comercial e residencial denso e altamente verticalizado.		Altos edifícios de uso predominantemente comercial e condomínios verticais de altíssimo padrão. Terrenos impermeabilizados, muito pouca vegetação com remanejamento de material superficial significativo e intenso uso do subsolo.	Escoamento superficial concentrado, principalmente nas descontinuidades lineares. Remoção dos horizontes superficiais e profundos do solo (superiores a 1 metro) para alicerces dos prédios, rebaixamento do lençol freático e bombeamento das águas do lençol para a superfície. Redes hídricas subterrâneas podem apresentar instabilidades relacionadas a rompimentos de dutos.	Muito alto

Figura 46 – Legenda do Mapa de uso da terra em 2012 (Figura 45).

6.3.2 Subsistemas hidromorfológicos - Estágio Pós-Perturbação (2012)

O estágio pós-perturbação da área é apresentado na Carta da Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 2012 (Figura 47 e Figura 48), revelando um sistema hidromorfológico completamente modificado pela urbanização em seus diversos graus de perturbação (Tabela 6), onde os canais meândricos e a planície de inundação foram extintos. O resultado é o de nenhuma área livre para retardar ou deter as inundações de pico.

Tabela 6 – Áreas das unidades morfológicas mapeadas conforme o grau de perturbação urbana. Estágio Pós-Perturbação (2012).

Unidades morfológicas Terraços antrópicos			Grau de perturbação					Total
			Muito alto	Alto	Médio	Baixo	Muito baixo	
Nível 1	Rio Pinheiros	km ²	2,06	3,65	3,57	4,59	0,11	13,97
		%	14,74	26,11	25,54	32,82	0,79	100,00
	Rio afluente	km ²	0,00	0,08	0,34	0,02	0,00	0,44
		%	0,87	17,87	77,39	3,87	0,00	100,00
	Terraplanagem (corte de vertente)	km ²	0,01	0,01	0,00	0,12	0,00	0,13
		%	5,69	5,43	0,95	87,17	0,77	100,00
	Total Terraço N1	km ²	2,07	3,73	3,91	4,72	0,11	14,54
		%	14,24	25,67	26,87	32,44	0,77	100,00
Nível 2	Terraço urbanizado	km ²	0,84	1,71	3,66	0,61	0,23	7,05
		%	11,88	24,26	51,93	8,63	3,31	100,00
	Aterro	km ²	0,64	0,05	0,33	1,16	0,05	2,22
		%	28,65	2,30	14,82	52,00	2,24	100,00
	Terraplanagem (corte de vertente)	km ²	0,04	0,04	0,06	0,07	0,00	0,21
		%	19,00	20,89	27,35	32,58	0,18	100,00
	Sobre embasamento rochoso	km ²	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,05
		%	0,00	0,02	52,56	47,42	0,00	100,00
Nível 3	Terraço urbanizado	km ²	1,51	1,81	4,08	1,86	0,28	9,54
		%	15,88	18,93	42,74	19,48	2,97	100,00
	Terraço urbanizado	km ²	0,43	2,82	6,01	0,55	0,01	9,83
		%	4,41	28,70	61,14	5,61	0,15	100,00
	Aterro	km ²	0,07	0,04	0,05	0,21	1,16	1,54
		%	4,69	2,38	3,53	13,66	75,73	100,00
	Terraplanagem (corte de vertente)	km ²	0,02	0,20	0,08	0,13	0,01	0,44
		%	4,35	46,21	18,28	28,95	2,21	100,00
	Sobre embasamento rochoso	km ²	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03
		%	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
	Total Terraço N3	km ²	0,52	3,06	6,17	0,89	1,19	11,83
		%	4,43	25,86	52,17	7,51	10,04	100,00

Figura 47 – Carta da Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 2012 – Estágio Pós-Perturbação

Unidades Morfológicas			Materiais	Processos dominantes			
Morfologia Antrópica (pós-perturbação)							
Canal	Canal Pinheiros Superior Nível d'água médio de 721 m			Alta carga orgânica e de poluentes e altas taxas de deposição de sedimentos. Transporte e deposição de lixo orgânico e inorgânico predominantemente doméstico e de sedimentos provenientes dos rios afluentes. Esgoto industrial remanescente do passado de intensa industrialização.	Águas muito lentas, praticamente paradas com fluxo de baixa velocidade e baixa capacidade de transporte. Fluxo controlado por estruturas de engenharia com altas taxas de assoreamento.		
	Canal Pinheiros Inferior Nível d'água médio de 716 m
Terraços	Altimetria	Urbanização na antiga planície de inundação	Grau de perturbação*	Antigos níveis da planície de inundação drenada pela retificação do canal e urbanização.	Superfície em processo de impermeabilização, apresentando aumento do escoamento superficial em relação a infiltração e de inundações ocasionais.		
			Muito baixo	Descontinua e fina camada superior de materiais tecnogênicos sobre os sedimentos fluviais da planície de inundação.			
	Baixo
	Médio		Terrenos sobre o antigo rio "XXX" e antigas cavas de mineração e lagos antrópicos "X" com aterros mais espessos devido ao preenchimento artificial do rio e das cavas.				
	Alto
	Muito alto
	Terraplanagem (corte de vertente)		Muito baixo	Sedimentos fluviais, horizontes C do solo ou rochas do embasamento Pré-Cambriano intemperizadas.			
			Baixo
			Médio
			Alto
		Muito alto
	Nível 2: Até 9 m acima do Canal Pinheiros	Urbanização sobre níveis terraceados	Muito baixo	Descontinua e fina camada superior de materiais tecnogênicos sobre sedimentos fluviais e solos incipientes.	Superfície em processo de impermeabilização, com aumento do escoamento superficial em relação à infiltração. Inundações localizadas derivadas de rede de drenagem urbana deficiente. Inundações relativas ao extravasamento do Canal Pinheiros pouco frequentes.		
			Baixo
			Médio			Terrenos sobre antigas cavas de mineração e lagos antrópicos "X" com aterros mais espessos devido ao preenchimento artificial do rio e das cavas.	
			Alto
			Muito alto
		Aterros	Muito baixo	Material tecnogênico proveniente da retificação e aprofundamento do canal, lixo e entulho, disposto sobre os antigos níveis da planície de inundação e terraços baixos.		Terrenos sobre aterros podem apresentar instabilidades geotécnicas dependendo das características do material tecnogênico utilizado.	
			Baixo
			Médio				Terrenos sobre antigas cavas de mineração e lagos antrópicos "X" com aterros mais espessos devido ao preenchimento artificial do rio e das cavas.
			Alto
			Muito alto
		Terraplanagem (corte de vertente)	Muito baixo	Sedimentos fluviais, horizontes C do solo ou rochas do embasamento Pré-Cambriano intemperizadas.			Terrenos sobre cortes de vertente podem apresentar instabilidades geotécnicas dependendo das declividades e qualidade das estruturas de contenção dos taludes.
			Baixo
			Médio
			Alto
			Muito alto
	Nível 3: De 9 a 14 m acima do Canal Pinheiros	Urbanização sobre níveis terraceados	Muito baixo	Descontinua e fina camada superior de materiais tecnogênicos sobre sedimentos fluviais e solos.	Superfície em processo de impermeabilização, com aumento do escoamento superficial em relação à infiltração. Inundações localizadas derivadas de rede de drenagem urbana deficiente e de rios afluentes. Inundações relativas ao extravasamento do Canal Pinheiros muito raras.		
			Baixo
			Médio			Terrenos sobre antigas cavas de mineração e lagos antrópicos "X" com aterros mais espessos devido ao preenchimento artificial do rio e das cavas.	
			Alto
			Muito alto
		Aterros	Muito baixo	Material tecnogênico proveniente da retificação e aprofundamento do canal, lixo e entulho, disposto sobre os antigos níveis da planície de inundação e terraços.		Terrenos sobre aterros podem apresentar instabilidades geotécnicas dependendo das características do material tecnogênico utilizado.	
			Baixo
			Médio				Terrenos sobre antigas cavas de mineração e lagos antrópicos "X" com aterros mais espessos devido ao preenchimento artificial do rio e das cavas.
			Alto
			Muito alto
		Terraplanagem (corte de vertente)	Muito baixo	Horizontes C do solo ou rochas do embasamento Pré-Cambriano intemperizadas.			Terrenos sobre cortes de talude podem apresentar instabilidades geotécnicas dependendo das declividades e qualidade das estruturas de contenção do talude.
			Baixo
			Médio
			Alto
			Muito alto
	*Características hidromorfológicas conforme graus de perturbação	Muito baixo	Terrenos sem edificações, sem uso definido e parques urbanos sobre aterros. Infiltração favorecida pela alta permeabilidade dos solos e presença de vegetação. Perda de solo por erosão restrita aos locais com pequenas obras.				
		Baixo	Predomínio de edificações térreas e esparsas ou vias com largas faixas vegetadas (canteiros). Escoamento superficial concentrado nas zonas impermeáveis e infiltração favorecida nas vegetadas e expostas. Remoção dos horizontes superficiais do solo (< 1 metro), cortes e aterros localizados. Redes hídricas subterrâneas podem apresentar instabilidades relacionadas a rompimentos de dutos.				
		Médio	Predomínio de edificações térreas em terrenos pouco permeáveis. Tendência ao escoamento superficial concentrado e enxurradas. Remoção dos horizontes superficiais do solo (< 1 metro), cortes e aterros localizados. Redes hídricas subterrâneas podem apresentar instabilidades relacionadas a rompimentos de dutos.				
		Alto	Tendência ao escoamento superficial concentrado e enxurradas, com remoção dos horizontes superficiais e profundos do solo > 1 metro em zonas residenciais verticalizadas com possível rebaixamento do lençol freático, e < 1 metro com possível contaminação do solo em zonas industriais. Em ambos, redes hídricas subterrâneas podem apresentar instabilidades relacionadas a rompimentos de dutos. Em favelas processos erosivos lineares e transporte de sedimentos e lixo por causa da deficiente ou ausente rede de drenagem urbana.				
		Muito alto	Grandes e altos edifícios. Tendência ao escoamento superficial concentrado e enxurradas. Remoção dos horizontes superficiais e profundos do solo (> 1 metro) para alçerces dos prédios, rebaixamento do lençol freático e bombeamento das águas do lençol para a superfície. Redes hídricas subterrâneas podem apresentar instabilidades relacionadas a rompimentos de dutos.				

Figura 48 – Legenda detalhada da Carta da Geomorfologia Antrópica da Planície Fluvial do Rio Pinheiros em 2012 – Estágio Pós-Perturbação

Canal

As águas do Canal Pinheiros são completamente controladas por estruturas de engenharia, o que as torna muito lentas, praticamente paradas, fazendo com que o atual canal apresente um regime de fluxo similar ao lacustre. O canal possui largura entre 80 e 90 m, profundidade média de 4,5 m e declividade teórica de 0 m/km, sendo dividido em dois trechos (EMAE, 2009) (Figura 49):

- Canal Pinheiros Inferior (CPI): Trecho jusante, entre a estrutura do retiro e a Usina da Traição, com aproximadamente 10 km de extensão e nível d'água médio de 716,00 metros.
- Canal Pinheiros Superior (CPS): Trecho montante, entre a Usina da Traição e a Represa Billings, com aproximadamente 15 km de extensão e nível d'água médio de 721, 00 metros.

Figura 49 – Seções transversais médias do Canal Pinheiros Superior e Inferior.
Fonte: Dados fornecidos pela EMAE.

Terraços

Com a supressão completa da antiga planície de inundação os terraços antrópicos se espalharam por toda a sua antiga área, seja por meio de finos e descontínuos aterros que caracterizam o Terraço de Nível 1, seja por meio de espessos e bem marcados aterros incorporados aos níveis 2 e 3.

O Terraço Nível 1 compreende 14,69 km², sendo que 0,13 km² correspondem a terraplanagens em terrenos limítrofes realizadas majoritariamente para a implantação das vias marginais.

O Terraço Nível 2 aumentou sua abrangência para 9,64 km² (27,52% de aumento com relação ao nível pré-urbano), sendo 2,33 km² referente a aterros e 0,21 km² referente a terraplanagens. Os aterros mais expressivos neste nível são na região das Avenidas Luiz Carlos Berrini e Chucri Zaidan e nas proximidades da Ponte da Cidade Jardim.

O Terraço Nível 3 também aumentou a sua representatividade, atingindo 11,84 km² da área (19,90% de aumento com relação ao nível pré-urbano), sendo 1,54 km² contribuições de aterros e 0,44 km² de terraplanagem. Além dos espessos aterros que sustentam as pontes e ferrovias, há outros dois expressivos depósitos na área, o primeiro no Parque Villa Lobos (Figura 50) e o segundo no Parque do Povo (Figura 51).

Figura 50 – Aterro do Parque Villa-Lobos.

Obs.: A rua representa a altura da antiga planície de inundação. Fonte: Rodrigues (2006).
Foto: Eduardo Justiniano.

Figura 51 – Aterro do Parque do Povo.

Fonte: GoogleStreetView, 2014, imagem de nov. 2013.

6.4 Materiais superficiais e estratigrafia dos depósitos

A estratigrafia da planície fluvial engloba:

- depósitos tecnogênicos e morfologias antrópicas superficiais e subsuperficiais (Figura 52);
- solos orgânicos e hidromórficos;
- depósitos de morfologias fluviais originais enterradas (Figura 53), e;
- rochas do embasamento em diversos graus de decomposição.

Figura 52 – Depósitos tecnogênicos no Parque Villa-Lobos.
Fonte: Acervo do Pq. Villa-Lobos (RODRIGUES, 2006).

Figura 53 – Perfil vertical típico dos depósitos da antiga planície de inundação.
Fonte: Luz (2010).

As características e propriedades destes depósitos e rochas foram incorporadas à descrição dos materiais que compõem cada unidade geomorfológica nas legendas detalhadas das cartas (Figura 34 pg. 117, Figura 41 pg. 129 e Figura 48 pg. 142).

A análise estratigráfica também revela morfologias subsuperficiais. O paleocanal preenchido por sedimentos da Fm. Itaquaquecetuba é uma morfologia fluvial enterrada marcante, que auxilia na compreensão da história geomorfológica da planície fluvial. A formação deste canal pretérito assinala o princípio da formação da planície fluvial do Rio Pinheiros, quando os sedimentos fluviais que ocorrem atualmente abaixo da cidade começaram a ser depositados.

A seguinte sequência de eventos pode ser delineada:

1 – Pleistoceno Tardio.

1a - Entalhamento de um canal fluvial que atingiu o embasamento cristalino não intemperizado. As dimensões deste canal indicam fluxos de energia de grande magnitude, mais potentes do que os fluxos meândricos pré-urbanos.

1b - Instalação do sistema fluvial entrelaçado representado pelos depósitos da Fm. Itaquaquecetuba que preencheram o paleocanal (Figura 54).

2 – Holoceno. Instalação do sistema fluvial meândrico que se manteve na planície até a urbanização.

3 – Séc. XX. Instalação do sistema antrópico urbano. Deposição direta de materiais tecnogênicos na planície, artificialização do sistema hidromorfológico e formação de novas morfologias superficiais e subsuperficiais.

A descontinuidade lateral e vertical entre os pacotes sedimentares fluviais quaternários e o embasamento cristalino com diferentes graus de intemperismo forma uma zona de mudança abrupta na composição do material (Figura 54). Por exemplo, a maior permeabilidade dos sedimentos inconsolidados fluviais frente aos maciços rochosos e rochas intemperizadas podem condicionar significativamente os fluxos hídricos subterrâneos, criando áreas de concentração de água que devem ser consideradas em intervenções subterrâneas, como escavação de túneis e construção de dutos e fundações.

A estratigrafia da planície fluvial do Rio Pinheiros demonstra que a intervenção antrópica não modifica apenas os processos e morfologias na superfície. Escavações e estruturas subterrâneas também modificam as morfologias subsuperficiais do sistema hidromorfológico. As antigas cavas de mineração são as primeiras destas morfologias criadas pela ação antrópica direta, e foram posteriormente preenchidas e aterradas. Com o avanço da urbanização, outras morfologias antrópicas subterrâneas foram construídas, como as fundações de edifícios e pontes, tubulações diversas e grandes túneis como o do Metrô Linha 4 – Amarela e o Túnel Jânio Quadros.

Portanto, a planície fluvial urbanizada do Rio Pinheiros é composta por materiais e morfologias enterradas relacionados a sua história pré-urbana e a sua história urbana, resultando em uma combinação complexa de rochas do embasamento cristalino em diversos graus de intemperismo, sedimentos fluviais e

paleocanais, aterros, antigas cavas de mineração, fundações de edificações, tubulações diversas e túneis.

6.4.1 Compartimentação topográfica e volume de aterros

A cota altimétrica média da planície de inundação pré-urbana e dos terraços fluviais foi identificada principalmente com apoio dos pontos cotados dos mapas do SARA BRASIL S/A (1930) (Figura 55). Secundariamente, foram consultadas as cartas da EMPLASA (1972, 1974, 1980 e 1981), considerando apenas os trechos com baixo grau de perturbação antrópica (Figura 56).

Figura 55 – Fragmento da carta topográfica do SARA BRASIL S/A (1930) e pontos cotados de apoio à compartimentação topográfica da Planície Fluvial Pré-Urbana do Rio Pinheiros.

Figura 56 - Fragmento da carta topográfica do EMPLASA (1972/74) e remanescentes pré-urbanos com pontos cotados de apoio à compartimentação topográfica da Planície Fluvial Pré-Urbana do Rio Pinheiros.

O primeiro nível terraceado **pré-urbano** está a uma média de 3,5 metros acima da planície de inundação, podendo atingir o máximo de 7 metros, enquanto que o segundo nível terraceado está a uma média de 9,5 metros acima da planície de inundação, podendo atingir o máximo de 12 metros (Figura 57).

Figura 57 – Perfil topográfico típico da Planície Fluvial do Rio Pinheiros Pré-Urbana e compartimentos geomorfológicos

Tendo a altitude da planície de inundação como base, foi possível dividir a planície fluvial do Rio Pinheiros **Pré-Urbano** em 4 compartimentos topográficos, de montante para jusante temos (Figura 58):

1 – Santo Amaro / Guarapiranga

Planície de inundação = 724 metros

Terraço Nível 1 = 727,5 metros

Terraço Nível 2 = 733,5 metros

2 – Cidade Jardim / Itaim

Planície de inundação = 722 metros

Terraço Nível 1 = 725,5 metros

Terraço Nível 2 = 731,5 metros

3 – Butantã / Pinheiros

Planície de inundação = 720 metros

Terraço Nível 1 = 723,5 metros

Terraço Nível 2 = 729,5 metros

4 – Jaquaré / Leopoldina

Planície de inundação = 718 metros

Terraço Nível 1 = 721,5 metros

Terraço Nível 2 = 727,5 metros

A altitude média dos aterros mapeados em 1949 foi identificada pela análise estereoscópica baseada na comparação das alturas entre aterros e terraços fluviais, com apoio da cartografia histórica. A altitude dos aterros mapeados em 2012 foi identificada pelo Modelo Digital de Terreno elaborado sobre dados de São Paulo (Município) (2004) (Figura 59).

A multiplicação da altitude média de cada aterro pela sua área indica o volume aproximado dos mesmos (Figura 60, Figura 61, Figura 62 e Figura 63).

Figura 58 – Compartimentação topográfica e cotas altimétricas da planície de inundação e dos níveis terraceados da Planície Fluvial do Rio Pinheiros Pré-urbana.

Figura 59 – Modelo Digital de Terreno da Planície Fluvial do Rio Pinheiros de 2004 e aterros mapeados em 2012.

Figura 60 – Altura média dos aterros mapeados em 1949.

Figura 61 – Volume estimado dos aterros mapeados em 1949.

Figura 63 - Volume estimado dos aterros mapeados em 2012.

6.5 Mudanças na morfologia do sistema

As mudanças na morfologia do sistema são decorrentes das intervenções antrópicas diretas relacionadas à urbanização às obras de engenharia para controle de cheias e aproveitamento hidroenergético. Como resultado, a morfologia pré-urbana foi intensamente modificada em função de escavações, aterramentos e terraplanagens necessárias para a construção de edificações diversas, ruas e avenidas, ferrovias, pontes, viadutos, túneis, canais artificiais, redes de esgoto e drenagem, dentre outros.

A Tabela 7 apresenta os geoindicadores analisados e os valores e variações ocorridas na morfologia da planície fluvial do Rio Pinheiros ao longo da urbanização.

Canal

A construção do canal artificial representa uma das alterações mais significativas do sistema. Em apenas 21 anos, de 1936 a 1957, o antigo canal meândrico deu lugar a um canal artificial retilíneo. A retificação representou um aumento significativo da largura, porém também representou uma redução igualmente significativa no comprimento do canal. Além disso, a declividade do canal artificial é de praticamente zero (EMAE, 2009), o que eliminou o fluxo das águas para jusante e fez com que o canal passasse a se comportar como uma sequência de lagos, e não mais como um canal fluvial propriamente dito.

Tabela 7 – Geoindicadores de mudanças na morfologia da Planície Fluvial do Rio Pinheiros entre o estágio pré-urbano (1933) e os estágios de intervenção antrópica (1949 e 2012).

Subsistema e unidade hidromorfológica			Parâmetro	Estágio Pré-Urbano (1933)	Estágio de Perturbação Ativa (1949)	Estágio Pós-Perturbação (2012)	Variação de 1933 a 1949	Variação de 1949 a 2012	Variação de 1933 a 2012
Canal		Canal Fluvial Ativo	Comprimento	33.722 m	18.215 m	18.551 m	-45,98 %	1,84 %	-44,99 %
			Largura média	29,83 m	60,24 m	85,00 m	101,94 %	24,76%	184,95 %
			Profundidade Média	-	-	3,78 m	-	-	-
			Profundidade em estágio de margens plenas	4,38 m	-	6,40 m	-	-	46,13 %
			Sinuosidade	1,88	1,00	1,00	-46,81 %	0,00 %	-46,81 %
	Canais abandonados	Meandros abandonados	Área	1,46 km²	1,38 km²	0,00	-5,40	- 100,00 %	-100,00
		Trechos remanescentes do Rio Pinheiros		n.s.a. (não se aplica)	0,10 km²	0,00	n.s.a.	- 100,00 %	n.s.a.
Planície de inundação	Planície de inundação indiferenciada		Área	13,91 km²	5,50 km²	0,00	-60,46 %	-100,00 %	-100,00 %
	Planície de inundação de rio afluente			0,47 km²	0,25 km²	0,00	-46,10 %	-100,00 %	-100,00 %
	Backswamps			1,66 km²	1,12 km²	0,00	-32,48 %	-100,00 %	-100,00 %
	Diques			0,66 km²	0,32 km²	0,00	-52,04 %	-100,00 %	-100,00 %
	Total			16,70 km²	7,19 km²	0,00	-56,94 %	-100,00 %	-100,00 %
Terrapços	Nível 1	Urbanização na antiga planície de inundação do Rio Pinheiros	Área	n.s.a.	9,15 km²	14,11 km²	n.s.a.	54,20 %	n.s.a.
		Urbanização em antigas planícies de inundação de rios afluentes		n.s.a.	0,20 km²	0,45 km²	n.s.a.	125,62%	n.s.a.
		Terraplanagens (corte de vertente)		n.s.a.	0,000002 km²	0,13 km²	n.s.a.	5.303,10 %	n.s.a.
		Total		n.s.a.	9,35 km²	14,69 km²	n.s.a.	57,10 %	n.s.a.
	Nível 2	Remanescentes não urbanizados	Área	7,56 km²	2,57 km²	0,00 km²	-65,96 %	-100,00 %	-100,00 %
		Urbanização sobre o nível pré-urbano		n.s.a.	4,90 km²	7,10 km²	n.s.a.	45,09 %	n.s.a.
		Terraplanagens (corte de vertente)		n.s.a.	0,01 km²	0,21 km²	n.s.a.	1.460,56 %	n.s.a.
		Aterros		n.s.a.	1,55 km²	2,33 km²	n.s.a.	50,21 %	n.s.a.
		Total		7,56 km²	9,03 km²	9,64 km²	19,46 %	6,75 %	27,52 %
	Nível 3	Remanescentes não urbanizados	Área	9,88 km²	1,80 km²	0,00 km²	-76,20 %	-100,00 %	-100,00 %
		Urbanização sobre o nível pré-urbano		n.s.a.	8,04 km²	9,86 km²	n.s.a.	-22,67 %	n.s.a.
		Terraplanagens (corte de vertente)		n.s.a.	0,20 km²	0,44 km²	n.s.a.	116,98 %	n.s.a.
		Aterros		n.s.a.	0,07 km²	1,54 km²	n.s.a.	2.059,38 %	n.s.a.
		Total		9,88 km²	10,11 km²	11,84 km²	2,42 %	17,07 %	19,90 %

Planície de Inundação e Terraços

Perfis transversais à planície fluvial em cada estágio de perturbação apresentam a evolução das modificações morfológicas ao longo da urbanização sobre a antiga planície de inundação e níveis terraceados (Figura 64, Figura 65, Figura 66 e Figura 67). A morfologia atual é resultado deste histórico de intervenções sobrepostas, como demonstrado pela justaposição dos perfis transversais de cada estágio de perturbação (Figura 68).

Figura 64 – Perfis geomorfológicos e estágios de perturbação antrópica. Santo Amaro / Guarapiranga.

Figura 65 - Perfis geomorfológicos e estágios de perturbação antrópica. Cidade Jardim / Itaim.

Figura 66 - Perfis geomorfológicos e estágios de perturbação antrópica. Butantã / Pinheiros.

Figura 67 - Perfis geomorfológicos e estágios de perturbação antrópica. Jaguaré / Leopoldina.

Figura 68 – Perfis transversais justapostos e mudanças morfológicas.

6.6 Mudanças na hidrodinâmica do sistema

A relação hidráulica entre a profundidade do canal pré-urbano e as medidas existentes de vazão indica que a vazão de margens plenas pré-urbana seria da ordem de 159 m³/s (como demonstrado no Capítulo 6.1.1, pg. 118). Brito (1926, p. 153) sugeriu que a vazão máxima de margens plenas do Rio Pinheiros pré-urbano não excederia 150 m³/s.

Os processos hidrológicos do sistema, assim como as modificações decorrentes da urbanização, podem ser divididos em hidrodinâmica do canal, que corresponde às vazões do rio até o estágio de margens plenas e, hidrodinâmica das cheias, que corresponde às vazões de extravasamento do canal.

6.6.1 Hidrodinâmica do canal

Medições diretas da descarga do canal fluvial pré-urbano são escassas, descontínuas no tempo e sem controle estatístico adequado. Além disso, as observações existentes são posteriores à implantação da Represa do Guarapiranga em 1908, e já refletiam a influência deste reservatório no controle das águas do Rio Pinheiros pré-urbano.

Além das observações apresentadas na Tabela 2 (pg. 118) há medições anteriores realizadas principalmente pela *Light & Power*. No entanto, a *Light* ignorava as descargas acima de 50 m³/s, pois sua preocupação era manter seus reservatórios cheios em condições de gerar energia elétrica, fazendo com que somente as descargas das estiagens fossem monitoradas. A Tabela 8 apresenta todas as medições de vazão e altura do canal pré-urbano compiladas por Brito (1926).

Além da descontinuidade temporal das observações, outro problema dos dados de vazão existentes para o canal pré-urbano é a falta dos valores de

referência das réguas de medição (Tabela 8), o que não permite o agrupamento tratamento estatístico adequado dos dados.

Tabela 8 - Registro de medições de vazão realizadas no Rio Pinheiros entre 1915 e 1925:

Data	Altura medida (h) (m)	Cota (m) **	Vazão (Q) (m ³ /s)
Jan./15 (*)	1,04	-	15,0
Nov./15 (*)	1,70	-	32,0
Jan./16 (L)	2,00	-	31,0
Mar./16 (*)	3,90	-	-
Dez./16 (*)	1,40	-	27,0
Jan./17 (*)	2,20	-	-
Abr./17 (*)	1,54	-	30,0
Jan./18 (L)	2,30	-	36,0
Mar./18 (L)	2,26	-	36,0
Out./18 (L)	1,90	-	29,0
Dez./18 (*)	0,80	-	11,0
Jun./19 (L)	1,88	-	31,0
Jan./20 (L)	2,40	-	38,0
Fev./20 (*)	3,47	-	-
Abr./20 (L)	2,70	-	44,0
Set./20 (L)	2,07	-	32,0
Nov./22 (L)	2,29	-	35,0
Jan./23 (L)	2,16	-	40,0
05/04/24 (B)	0,77	715,85	10,9
11/04/24 (B)	0,93	716,01	15,0
16/04/24 (B)	0,98	716,06	16,4
29/04/24 (B)	1,23	716,31	23,9
31/12/24 (B)	1,41	716,49	23,3
03/01/25 (B)	1,75	716,83	33,0
10/07/25 (B)	0,51	715,59	4,8

(*) - Observações sem referência. Provavelmente realizadas pela Comissão de Saneamento do Estado instituída em 1894.

(L) – Observações realizadas pela Companhia Light & Power.

(B) – Observações realizadas pela Comissão de Melhoramentos do Rio Tietê, apresentadas por Brito (1926). “0” da régua = 715,08 m.

** : Não há informações da cota de referência (nível 0) das réguas anteriores às observações de (B), portanto, não foi possível estabelecer a cota altimétrica destas medidas.

Fonte: Brito (1926).

Ao analisar a quantidade de registros por mês, temos a seguinte distribuição de número de dias com registro e vazões médias mensais (Tabela 9).

Tabela 9 – Número de observações realizadas por mês e médias mensais de vazão:

Mês	Número de dias com registro	Vazão média (Q) (m³/s)
Jan	7	32,16
Fev	0	-
Mar	1	36,00
Abr	6	23,36
Mai	0	-
Jun	1	31,00
Jul	1	4,80
Ago	0	-
Set	1	32,00
Out	1	29,00
Nov	2	33,50
Dez	3	20,43

Fonte: Brito (1926)

Brito (1926) e Pontes (1995) alertam que os anos de 1912 a 1925 foram atipicamente secos na Bacia do Alto Tietê e, somando-se a influência do represamento das águas na Represa de Guarapiranga concluída em 1907, é esperado que as vazões medidas durante este período estivessem subestimadas.

O avanço das obras de retificação e inversão do fluxo do canal do Rio Pinheiros a partir da década de 1940 modificou completamente a hidrodinâmica do sistema. Atualmente, as águas do Canal Pinheiros são controladas por estruturas de engenharia e reservatórios operados pela Empresa Metropolitana de Águas e Energia S. A. (EMAE), que mantêm o nível d'água do canal artificialmente (Tabela 10).

A Figura 69 apresenta a relação entre os picos mínimos e máximos anuais com a precipitação anual. Chama a atenção o maior valor de máxima medido pela EMAE entre os anos de 1980 e 2013. Em 25/05/2005, já no primeiro mês do período seco de um ano moderadamente chuvoso, o Canal Pinheiros Inferior ultrapassou os 718,00 metros (718,86 m a jusante da Usina da Traição e 718,99

m a montante da Estrutura do Retiro) (Tabela 10). No entanto, 24/05/05 foi o dia mais chuvoso daquele ano, a estação meteorológica do Observatório do IAG registrou 96,3 mm para este dia, que foi seguido de 53,3 mm no dia 25/05/05 (IAG, 2005). Portanto, o alto nível d'água do canal provavelmente foi um reflexo direto das elevadas precipitações dos dias anteriores.

Tabela 10 – Níveis d'água máximos e mínimos (em metros) do Canal Pinheiros a montante e a jusante da Usina da Traição e a montante da Estrutura do Retiro de 1980 a 2013. Destaque para os picos máximos e mínimos.

Ano	Traição Montante				Traição Jusante				Retiro Montante			
	Máximos		Mínimos		Máximos		Mínimos		Máximos		Mínimos	
	Nível D'água	Data	Nível D'água	Data	Nível D'água	Data	Nível D'água	Data	Nível D'água	Data	Nível D'água	Data
1980	721,20	6/3	718,02	24/2	716,76	13/2	713,90	1/1	716,85	13/2	714,28	20/7
1981	721,14	9/11	718,70	9/7	716,76	9/11	713,54	9/7	716,30	16/3	714,57	18/1
1982	721,74	6/2	718,19	31/12	718,52	6/2	713,87	19/3	718,74	6/2	713,98	21/2
1983	721,65	1/2	718,68	1/11	717,43	1/2	713,82	1/8	717,53	1/2	713,57	6/4
1984	720,90	2/9	718,97	16/2	717,00	20/9	713,85	14/3	717,13	20/9	713,53	21/1
1985	721,02	23/1	718,12	2/7	716,32	18/2	713,92	14/1	716,44	18/2	713,20	3/7
1986	721,06	28/7	718,81	12/3	716,35	23/8	713,93	15/2	716,46	23/8	713,53	3/2
1987	721,51	15/6	719,17	22/9	717,66	14/6	713,91	5/2	717,77	14/6	713,35	1/2
1988	721,23	18/3	718,48	26/6	717,21	18/3	713,92	17/3	717,37	18/3	713,45	4/1
1989	721,50	28/7	719,40	7/8	718,43	30/7	713,86	10/9	718,50	30/7	713,42	9/3
1990	721,27	23/1	719,07	28/11	717,65	23/1	713,76	29/12	717,77	22/1	713,90	14/9
1991	721,46	19/3	718,28	9/5	718,58	19/3	713,15	18/11	718,65	19/3	713,83	12/1
1992	722,06	29/3	718,90	13/4	718,73	29/3	713,12	11/9	718,50	29/3	713,62	8/9
1993	721,13	18/2	718,67	26/3	716,04	23/3	713,60	22/9	716,56	13/1	713,32	23/5
1994	720,99	2/1	718,61	6/6	716,31	20/1	713,54	30/7	716,66	20/1	713,43	26/6
1995	721,39	3/2	718,74	1/11	718,49	2/2	713,05	7/4	718,70	3/2	713,17	27/8
1996	721,67	5/3	718,76	13/2	718,18	3/1	713,64	20/2	718,32	3/1	713,29	24/8
1997	721,10	21/1	718,95	5/2	716,25	5/6	713,65	21/1	716,38	5/6	713,18	4/9
1998	720,85	8/2	718,95	22/2	716,75	4/3	713,95	6/2	716,86	4/3	713,58	18/3
1999	721,23	1/3	718,84	7/2	717,35	25/2	713,82	5/2	717,36	26/2	713,90	3/1
2000	721,78	28/2	719,13	29/2	716,71	13/12	713,81	14/2	716,33	28/2	713,44	30/8
2001	721,37	9/1	719,25	24/12	716,95	1/10	713,87	28/1	716,89	1/10	713,68	9/1
2002	721,10	13/1	719,21	31/8	717,39	12/11	713,86	15/1	716,78	13/2	713,90	15/7
2003	721,64	28/1	719,24	3/1	717,10	28/1	713,95	4/3	717,41	28/1	713,40	15/1
2004	721,26	22/2	719,25	25/9	716,84	28/11	714,04	23/2	717,05	28/11	713,70	15/4
2005	722,04	25/5	719,19	22/1	718,86	25/5	713,93	29/10	718,99	25/5	713,41	12/9
2006	721,98	4/12	719,25	19/1	717,40	4/12	714,00	31/12	717,33	4/12	713,79	25/4
2007	721,44	19/12	719,23	9/2	717,10	19/12	713,96	25/7	716,86	16/3	714,06	3/4
2008	721,55	29/1	719,20	22/4	717,17	21/12	714,02	22/2	716,95	21/12	714,10	30/1
2009	721,54	8/9	719,23	28/3	718,20	8/12	714,06	12/7	718,23	8/12	714,08	24/4
2010	721,98	21/1	719,21	16/2	718,34	21/1	714,12	10/2	718,39	21/1	713,84	23/9
2011	721,95	11/1	719,24	23/4	717,85	11/1	714,07	27/9	718,06	11/1	713,93	22/12
2012	722,00	13/2	719,20	29/12	717,22	13/2	713,16	17/10	716,26	17/1	714,00	21/2
2013	721,40	9/3	719,16	23/2	717,18	14/2	714,14	16/1	716,92	9/3	714,04	22/6

Fonte: Dados fornecidos pela Empresa Metropolitana de Águas e Energia S. A. (EMAEE)

Figura 69 - Nível d'água máximo e mínimo a montante da Usina da Traição e a montante da Estrutura do Retiro entre 1980 e 2013.

Fontes: Dados de nível fornecidos pela EMAE. Precipitação anual total registrada na Estação Meteorológica do Observatório do IAG.

Com o controle artificial do Canal Pinheiros a vazão média atual é de aproximadamente 10 m³/s (PENA, 2008). Isso faz do Rio Pinheiros um caso raro de redução da vazão de um canal fluvial após a urbanização, resultado das intervenções diretas de engenharia e controle artificial do sistema hidráulico. Cálculos hidráulicos do Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê de 1998 (citados por Monteiro Jr., 2011) indicam que a contribuição máxima do Canal Pinheiros na desembocadura com o Rio Tietê seria de 85 m³/s para eventos com tempo de retorno de 50 anos, e de 100 m³/s para eventos com retorno de 100 anos. Valores menores do que os 150 m³/s de vazão máxima

calculada por Brito (1926), e dos 159 m³/s calculados na presente pesquisa para o canal pré-urbano.

Ao contrário do Pinheiros, outros rios da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê apresentaram aumento expressivo das vazões ao longo da urbanização. O Rio Tietê possuía vazões de pico em torno de 200 m³/s na região da Ponte Grande, próximo a atual Ponte das Bandeiras (BRITO, 1926), e teve que ser canalizado para suportar vazões acima de 1.500 m³/s (CARVALHO, 2006; MONTEIRO JR., 2011). O Rio Tamanduateí, em seus primeiros planos de retificação possuía vazões de projeto de 30 m³/s em 1890, e hoje pode chegar a 700 m³/s (MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010).

Outra modificação significativa na hidrodinâmica do canal foi a reversão de seu fluxo para montante, quando o Canal Pinheiros deixa de ser um afluente do Rio Tietê e passa a receber as águas deste rio e enviá-las para os reservatórios nas cabeceiras através das usinas elevatórias da Traição e de Pedreira. O sistema de reversão foi frequentemente acionado até outubro de 1992 quando, por conta da poluição das águas do Canal Pinheiros, a reversão passou a ser permitida somente durante as operações de controle de cheia, reduzindo significativamente o volume de água enviado para a Represa Billings (Figura 70). Entre 1939 e 1991 a vazão média bombeada na Elevatória de Pedreira foi de 54,9 m³/s, enquanto que entre 1993 e 2000 este valor foi reduzido para 10,8 m³/s (MONTEIRO JR., 2011).

Figura 70 – Vazões bombeadas médias anuais na Usina Elevatória da Pedreira.
Fonte: FUSP (2009)

A operação de controle de cheias entra em cena quando as águas do Canal Pinheiros Inferior sobem 30 cm, e consiste em separar as águas do Canal Pinheiros do Rio Tietê por meio do fechamento da Estrutura do Retiro, em interromper a descarga na Usina de Traição e iniciar o bombeamento em Traição e na Usina Elevatória de Pedreira (EMAE, 2009). Desta maneira, a reversão continua a fazer as águas fluírem para montante, mas agora sem a contribuição direta das águas vindas do Rio Tietê (Figura 71).

A partir de 1992, com o fluxo do canal sendo revertido somente para controle de cheias o nível mínimo anual do canal passou a ser mais constante do que anteriormente, principalmente a montante da Usina da Traição (Figura 69, pg. 172). Segundo dados da EMAE desde outubro de 1992 o fluxo d'água foi revertido 820 vezes, numa média de 37,2 vezes por ano, sendo os meses chuvosos de outubro a março os que registram mais eventos de reversão (Tabela 11).

Figura 71 – Operação de controle de cheias no Canal Pinheiros.
Fonte: EMAE (2009).

Tabela 11 – Eventos de reversão para controle de cheias do Canal Pinheiros por mês e ano de outubro de 1992 até dezembro de 2013.

Ano	jan	fev	mar	Abr	mai	jun	jul	ago	set	Out	nov	dez	Total
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	6	4	17
1993	8	11	6	4	2	2	0	1	7	5	3	2	51
1994	7	6	6	2	2	2	1	0	0	1	4	7	38
1995	12	3	9	3	2	1	2	0	1	6	4	4	47
1996	13	12	9	1	1	0	0	1	3	3	3	6	52
1997	8	9	4	1	2	2	0	1	5	3	7	8	50
1998	9	11	7	3	2	1	0	1	2	4	0	3	43
1999	5	10	3	2	1	2	1	0	1	1	1	2	29
2000	8	8	3	0	0	0	0	1	2	1	3	3	29
2001	2	3	5	1	1	0	0	0	0	2	3	6	23
2002	6	2	5	1	0	0	1	1	1	2	4	4	27
2003	6	2	2	0	0	0	0	0	0	1	1	2	14
2004	4	4	3	4	1	0	1	0	0	3	4	0	24
2005	6	3	4	1	1	0	0	0	2	2	1	6	26
2006	6	3	10	0	0	1	1	0	3	1	7	5	37
2007	6	6	6	5	1	1	3	0	0	2	6	4	40
2008	9	7	4	4	1	3	0	2	1	2	1	5	39
2009	8	5	2	1	0	0	3	1	5	5	5	4	39
2010	7	8	6	4	1	0	1	0	3	4	6	8	48
2011	2	10	2	3	0	2	0	1	0	6	2	6	34
2012	11	13	8	5	1	6	2	0	0	3	5	10	64
2013	7	13	6	3	1	4	2	0	3	5	2	3	49
Total	150	149	110	48	20	27	18	10	39	69	78	102	820

Fonte: Dados fornecidos pela EMAE.

A Figura 72 indica anos com baixa precipitação e alta atividade do sistema de reversão, como em 2000 e 2004, demonstrando novamente um comportamento hidrológico que possivelmente não pode ser explicado apenas pela pluviosidade média anual.

Figura 72 – Número de dias com reversão de fluxo do Canal por ano e precipitação anual entre 1993 e 2013.

Fontes: Dados de dias com reversão fornecidos pela EMAE. Precipitação anual total registrada na Estação Meteorológica do Observatório do IAG.

As águas lentas do Canal Pinheiros faz com que ele se comporte muitas vezes como uma série de lagos, aumentando a capacidade deposição e, conseqüentemente, gerando problemas de assoreamento. De acordo com EMAE (2009), são retirados cerca de 200.000 m³ de material assoreado no Canal Pinheiros por ano.

Portanto, o canal fluvial meândrico pré-urbano foi transformado em uma série de dois canais artificiais retilíneos, mais largos e mais profundos, porém com uma vazão mantida artificialmente em valores baixos, fazendo com que as águas lentas do Canal Pinheiros apresentem muitas vezes uma dinâmica próxima aos sistemas lacustres. O resultado é uma menor capacidade de transporte fluvial, incremento de sedimentos depositados no leito do canal e conseqüente assoreamento. Além disso, o sistema pré-urbano que fluía naturalmente pra jusante foi transformado, e atualmente as águas podem ser direcionadas para montante.

6.6.2 Hidrodinâmica das cheias

A dinâmica de cheias de um sistema hidromorfológico meândrico permite a classificação das inundações conforme sua frequência e magnitude:

- inundações periódicas - são as de maior recorrência, esperadas numa escala temporal de anos durante as vazões de pico dos períodos chuvosos ordinários. Atingem a planície de inundação;
- inundações ocasionais - são menos frequentes, esperadas numa escala temporal de décadas durante as vazões elevadas dos períodos com chuva acima das médias. Atingem os terraços mais baixos, como visto na grande enchente de 1929;
- inundações raras - são pouco frequentes, esperadas numa escala secular durante as vazões elevadíssimas dos eventos extremos de chuvas. Atingem os terraços mais altos.

A ocupação urbana da planície fluvial do Rio Pinheiros é relativamente recente, grande parte ocorreu ao longo dos últimos 100 anos, fazendo com que não haja registros de inundações raras que tenham atingido a área neste período. Tendo em vista que este seria um evento de recorrência secular, é possível admitir apenas a possibilidade teórica de sua ocorrência, uma vez que inundações desta magnitude que porventura tenham ocorrido antes deste período não foram registradas em arquivos históricos por causa da inexistência de ocupação colonial nestas terras.

Contudo, estudos realizados na planície fluvial meândrica do Rio Ribeira do Iguape por Santana (2008) demonstram que as inundações que atingem os níveis terraceados mais altos possuem intervalos de recorrência muito mais curtos, de ordem decenal. Trabalhos futuros que busquem identificar paleo-inundações

sobre os Terraços de Nível 2 das planícies fluviais do Alto Tietê poderão responder se estas grandes inundações também podem ser mais frequentes no Planalto Paulistano.

Um evento de inundação se inicia com o transbordamento do canal, quando a vazão de margens plenas é superada e as águas se alastram sobre os terrenos da planície de inundação e terraços, de acordo com a magnitude e frequência da cheia (periódica, ocasional ou rara). Após a passagem da onda de cheia se inicia o esvaziamento e secamento da planície, quando as águas retornam gradualmente ao canal fluvial, porém, parte destas águas é represada nas *backswamps* e meandros abandonados.

A planície de inundação pré-urbana do Rio Pinheiros exercia um papel fundamental na atenuação dos efeitos das cheias e seu comportamento hidrodinâmico durante as inundações foi reconstituído (Figura 73, Figura 74 e Figura 75). As áreas tomadas pelas águas durante cada fase são apresentadas na Tabela 12.

Figura 73 – Reconstituição de inundação periódica no sistema hidromorfológico pré-urbano do Rio Pinheiros.

Figura 74 – Reconstituição de inundação ocasional no sistema hidromorfológico pré-urbano do Rio Pinheiros.

Figura 75 - Reconstituição da fase de secamento pós-inundação no sistema hidromorfológico pré-urbano do Rio Pinheiros.

Tabela 12 – Áreas tomadas pelas águas em cada fase de inundação no sistema hidromorfológico pré-urbano do Rio Pinheiros

Fase e tipo de inundação	Área
Periódica	17,70 km ²
Ocasional	25,72 km ²
Fase de esvaziamento / secamento	3,12 km ²

A altura máxima da coluna d'água durante as inundações pré-urbanas (Figura 76) foi identificada por meio da reconstituição das alturas médias dos terraços da planície fluvial apresentadas no capítulo 6.4.1 (pg. 151). O volume d'água máximo para a fase de enchimento durante as inundações periódicas (Tabela 13) foi calculado conforme procedimentos descritos no capítulo 3.2 (pg. 81) e Equação 3, reproduzida aqui.

$$V = a \left(\frac{h}{2} \right) \quad (3)$$

onde, a é a área da unidade hidromorfológica e h é a altura máxima da coluna d'água na unidade.

Figura 76 – Perfil geomorfológico típico da Planície Fluvial do Rio Pinheiros Pré-Urbano e coluna d'água máxima na fase de enchimento.

Tabela 13 – Volume máximo d'água estimado durante as inundações periódicas e ocasionais no sistema hidromorfológico do Rio Pinheiros pré-urbano.

Fase e tipo de inundação	Área	Altura máxima estimada da coluna d'água	Volume d'água estimado (m ³)
Periódica	17,70 km ²	3,5 metros	30,96 x 10 ⁶ m ³
Ocasional	25,72 km ²	7 metros	90,03 x 10 ⁶ m ³

A última vazão extrema do canal pré-urbano provavelmente ocorreu durante a grande enchente de 18 de fevereiro de 1929 (PONTES, 1995), quando águas recobriram os terraços fluviais mais baixos do Tietê e Pinheiros em cerca de 0,30 a 0,70 m (AB'SABER, 1978). Maffei (1995) afirma que no encontro do Rio Pinheiros com o Rio Tietê as águas chegaram a 720,55 m (Figura 77). Seabra (1987) afirma que o nível d'água da inundação foi de 724 m, o que teria sido suficiente para recobrir os Terraços de Nível 1 da região de Pinheiros e Butantã (Figura 78). Portanto, em 1929 na região de Pinheiros e Butantã, a lâmina d'água atingiu até 6 metros acima da cota de margens plenas de 718,08 registrada por Brito (1926) (Figura 35, pg. 119).

Este volume excepcional de água foi reflexo da alta precipitação que atingiu a bacia hidrográfica entre dezembro de 1928 e fevereiro de 1929, porém, a planície já sentia impactos significativos da ação antrópica. Seabra (1987; 1995) apresenta evidências da atuação premeditada da Companhia *Light & Power* em potencializar esta inundação. De acordo com a autora, a *Light* foi responsável por armazenar os excedentes das chuvas dos dias e meses anteriores na Represa do Guarapiranga e na Represa Billings (inaugurada em 1927) e por liberar estas águas subitamente em 14 de fevereiro de 1929 ao abrir as comportas das represas.

Figura 77 – Grande enchente de 1929 na confluência dos Rios Pinheiros e Tietê.
Fonte: <<http://saudadesampa.nafoto.net/photo20110521092833.html>>.

Figura 78 – Grande enchente de 1929 na região de Pinheiros.
Fonte: <<http://saudadesampa.nafoto.net/photo20111117083508.html>>

Maffei (1995, p. 83) discorda da ação premeditada da *Light*, alegando que devido à alta precipitação do período nada poderia ser feito pela companhia, e justifica que a abertura das comportas da Represa Billings se deu por questões de segurança estrutural da barragem, em construção na época.

Inundações da magnitude como a de 1929, que recobrem os baixos terraços fluviais de uma planície meândrica, são esperadas em sistemas naturais. O controle da liberação das águas na Represa do Guarapiranga provavelmente potencializou a magnitude da enchente e ampliou os seus efeitos negativos, uma vez que estas águas poderiam ter sido liberadas paulatinamente nos meses e dias anteriores.

A partir da informação de que a cota atingida pela enchente foi de 724 metros e do Modelo Digital de Elevação (MDE) de 2004 da área, foi realizada uma primeira aproximação da suposta área atingida pelas águas (GRUPO HÍMACO - História, Mapas e Computadores)²⁵ (Figura 79).

²⁵ Grupo de estudos do Dep. de História da UNIFESP e do Arquivo Público do Estado de São Paulo responsável pelo desenvolvimento do projeto-piloto "Impactos sociais das enchentes na cidade de São Paulo (1870-1940)". Material resultante do projeto disponibilizado em: <http://www.unifesp.br/himaco/>, acessado em 27 de agosto de 2014.

Figura 79 – Suposta área alagada na enchente de 1929.
Fonte: Grupo HÍMACO

Os principais problemas advindos deste tipo de levantamento é a extrapolação de uma única cota para todas as planícies fluviais da cidade, desconsiderando o gradiente longitudinal das mesmas que só para o Rio Pinheiros é de 6 metros entre Santo Amaro e Jaguaré, e a utilização de uma referência altimétrica já antrópica (MDE de 2004), fazendo com que grandes aterros posteriores a enchente não sejam contabilizados (por exemplo, Parque Villa Lobos). A interpretação geomorfológica do evento indica que ele atingiu os baixos terraços da planície, aproximadamente a área representada pelo mapa da Figura 74 (pg. 181).

A transformação da planície fluvial pré-urbana alterou completamente a dinâmica de cheias. Apesar da ampliação da capacidade de armazenamento das vazões elevadas dentro do Canal Pinheiros (Tabela 14) e das operações de controle de cheias as enchentes continuam impactando a planície fluvial do Rio Pinheiros.

Tabela 14 – Capacidade de armazenamento e cotas de extravasamento do Canal Pinheiros.

Setor	Capacidade de armazenamento	Cota de extravasamento
Canal Pinheiros Superior	$2,7 \times 10^6 \text{ m}^3$	723,24 m na Ponte do Morumbi
Canal Pinheiros Inferior	$1,4 \times 10^6 \text{ m}^3$	719,00 m na Ponte do Jaguaré / Cebolão
		718,00 m no CEAGESP. Inundação por refluxo.

Fonte: EMAE(2009)

As enchentes atuais são de origem complexa e muitas vezes são decorrentes de uma combinação de fatores. A localização dos pontos de inundação entre 2007 e 2013 e a classificação dos fatores predominantes definidos pela sua localização é apresentada na Figura 80:

- Inundações por extravasamento do canal - estão limitadas a pontos das vias marginais, ocorrendo principalmente próximas às pontes onde a pista de rolamento é rebaixada para permitir a passagem de caminhões altos por debaixo destas pontes (Figura 81). As cotas de extravasamento de cada setor do Canal Pinheiros de acordo com EMAE (2009) são sumarizadas na Tabela 14.
- Inundações por refluxo - ocorrem quando o Canal Pinheiros impede o fluxo das águas dos tributários e das galerias pluviais. O local mais crítico deste tipo de inundação é no CEAGESP, que é recoberto pelas águas de refluxo quando o Canal Inferior Pinheiros atinge a cota de 718,00 m, fato que ocorreu em 10 anos entre 1980 e 2013 (Tabela 10, pg. 171), uma média de uma vez a cada 3,4 anos (Figura 82).
- Inundações em avenidas de fundo de vale – ocorrem sobre as antigas planícies dos rios e córregos tributários do Canal Pinheiros, onde as águas das chuvas já se concentravam antes da urbanização e, com a construção das avenidas de fundo de vale, passam a recobrir as vias a cada

temporada de chuvas na cidade, como na Av. Roque Petroni Júnior, Av. Cidade Jardim/Nove de Julho e Av. Jornalista Roberto Marinho.

- Inundações potencializadas por aterros – ocorrem nos terrenos mais baixos da antiga planície de inundação, frequentemente separados do Canal Pinheiros por aterramentos que barram o fluxo destas águas em direção ao canal.

- Estrutura de drenagem urbana deficiente – rede de bueiros e galerias de águas pluviais que não dão conta das descargas por causa do crescimento do escoamento superficial na bacia de contribuição, subestimação da capacidade, ou falta de manutenção.

Figura 80 – Pontos e tipo de inundação na Planície Fluvial do Rio Pinheiros.
 Fonte: FUSP (2009) e dados fornecidos pelo Centro de Gerenciamento de Emergências da Prefeitura de São Paulo (CGE).

Figura 81 – Rebaixamento da via marginal sob a Ponte da Cidade Jardim sem inundao (acima) e inundada (abaixo).

Fontes: GoogleStreetView, 2014, imagem de out. 2012 (acima); Nelson Antoine/FOTOARENA/AE, nov. 2011 (abaixo).

Figura 82 – CEAGESP inundado em janeiro de 2010.
Fonte: JB Neto / AE.

7 INTERPRETAÇÕES E AVALIAÇÕES QUALITATIVAS E QUANTITATIVAS

7.1 Eventos geomorfológicos em condições naturais e no sistema hidromorfológico urbanizado do Rio Pinheiros

Os resultados da pesquisa demonstram os significativos efeitos da ação antrópica relacionada à urbanização nos terrenos de origem fluvial, assim como a elevada magnitude das mudanças na hidrodinâmica dos sistemas fluviais. Em apenas 21 anos um canal retilíneo substituiu o antigo canal meândrico, o comprimento foi reduzido quase pela metade, a profundidade média foi aumentada para um pouco mais da metade e a largura foi aumentada em quase duas vezes.

Um canal fluvial que antes transportava sedimentos finos e matéria orgânica num fluxo de água constante para jusante foi substituído por um canal artificial com fluxo controlado por estruturas de engenharia, que se comporta como uma série de lagos com vazão insignificante que é, por vezes, revertida para montante. Atualmente, a maior parte dos sedimentos e matéria orgânica que chegam ao Canal Pinheiros, incluindo os poluentes, são depositados e acumulados em seu leito.

Durante cerca de 80 anos de urbanização, as intervenções antrópicas diretas foram responsáveis pela completa remoção do sistema hidromorfológico meândrico original. Os terrenos úmidos da antiga planície de inundação foram drenados, o que permitiu a sua urbanização. Como resultado, não há mais terrenos remanescentes da planície de inundação que poderiam servir como áreas de armazenamento de águas durante as inundações, e que atenuariam os efeitos das descargas de cheia do sistema.

Com a eliminação da planície de inundação, seu antigo nível topográfico tornou-se um nível de terraço baixo por causa das modificações na dinâmica de cheias do canal, agora controlada artificialmente. A disposição de aterros sobre a antiga planície de inundação criou novos níveis de terraços que topograficamente podem ser incorporados aos níveis pré-existentes. Escavações e terraplanagens nas vertentes adjacentes também aumentaram as áreas dos níveis terraceados da planície fluvial.

Portanto, em décadas ocorreram transformações na geomorfologia da área comparáveis em magnitude a eventos naturais extremos e instantâneos ou a eventos milenares de curto e médio prazo (Quadro 8).

Morfologia	Materiais	Processos
Formação de terraços	Incremento de material de origem não fluvial de composição complexa (aterros)	Redução da infiltração
Supressão da planície de inundação		Redução da vazão do rio e regulação do ciclo de cheias
Redução da sinuosidade	Aumento da sedimentação de finos e matéria orgânica no leito do canal	Aumento da frequência de inundações em áreas específicas (refluxo, águas barradas por aterros, rede de drenagem urbana deficiente)
Formação de morfologias subterrâneas (subsolo de edifícios, túneis, tubulações)	Modificação das características físicas e químicas dos depósitos fluviais e tecnogênicos (resíduos sólidos e poluição)	Aumento da secção transversal do canal (aprofundamento, alargamento e encurtamento)
Formação de lagos		Bombeamento das águas subterrâneas e modificação do nível do lençol freático
Substituição de um canal meândrico por um retilíneo		

Quadro 8 - Mudanças hidromorfológicas na Planície Fluvial do Rio Pinheiros ocorridas durante o processo de urbanização.

Em menos de 80 anos agentes antrópicos têm sido responsáveis pela geração ou eliminação de tipos e formas de relevos (DEMEK, 1967) como, por exemplo, a substituição de um canal meândrico por um retilíneo, a criação de terraços e a supressão da planície de inundação. De acordo com Cailleux & Tricart (1956), eventos geomorfológicos desta magnitude são esperados para ocorrer em escalas temporais de 10^4 anos em condições naturais.

Ao considerarmos a substituição do antigo canal meândrico pelo canal artificial, ocorrida no breve período de 21 anos (1936 a 1957), chegamos às taxas de erosão resultante da construção do Canal Pinheiros (encurtamento, alargamento e incisão) (Tabela 15).

Tabela 15 – Mudanças nos processos de canal e taxas erosão representativas da substituição do canal pré-urbano pelo canal artificial entre 1936 e 1957 = 21 anos.

Unidade Geomorfológica	Parâmetros		Canal Meândrico Pré-Urbano	Canal Pinheiros
Canal fluvial	Vazão		Margens plenas (estimado) 159 m ³ /s	Média anual 10 m ³ /s
	Comprimento		33.722 m	18.551 m
			Taxa de encurtamento	722,47 m/ano
	Sinuosidade		1,88	1,00
			Taxa de redução da sinuosidade	0,041 ao ano
	Largura média		28,83 m	85,00 m
			Taxa de alargamento	2,63 m/ano
	Profundidade	Média	2,46 m	3,78 m
			Taxa de incisão	0,06 m/ano
		Margens plenas	4,38 m Taxa de incisão	6,40 m 0,10 m/ano

Hooke (1984) apresenta uma revisão de estudos que tratam da redução da sinuosidade em alguns canais meândricos decorrentes de ação antrópica indireta na bacia hidrográfica (Quadro 9). Quando comparados aos dados aqui apresentados, a construção do Canal Pinheiros apresenta taxas de redução da sinuosidade 4 a 20 vezes maiores do que as identificadas por este autor.

	Rio Kansas, EUA		Rio Sacramento, EUA.		Rio Bollin, Reino Unido	
	Ano	Sinuosidade	Ano	Sinuosidade	Ano	Sinuosidade
	1856	1,45	1896	1,56	1872	2,41
	1870	1,47				
	1900	1,38				
	1905	1,23				
	1942	1,14				
	1951	1,24	1974	1,35	1935	2,34
1959	1,20	1969			1,97	
				1973	1,37	
Taxa de redução da sinuosidade	0,0024 ao ano		0,0026 ao ano		0,0102 ao ano	
Causa principal	Substituição de pastagens por agricultura (DORT e RATZLAFF, 1970) ²⁶		Desmatamento da vegetação ripária (BRICE, 1977) ²⁷		Urbanização e agricultura (MOSLEY, 1975) ²⁸	

Quadro 9 – Mudanças históricas na sinuosidade de canais meândricos. Modificado de Hooke (1984).

Aproximadamente 16.280.000 m³ de materiais tecnogênicos foram dispostos sobre a antiga planície de inundação e baixos terraços ao longo da urbanização. A Tabela 16 apresenta os volumes totais de aterros em cada estágio de perturbação antrópica e a taxa de deposição anual entre cada período.

Tabela 16 – Volume estimado de aterros e taxa de deposição em cada estágio de perturbação antrópica (1949 e 2012).

Unidades			Parâmetros	Estágio de Perturbação Ativa (1949)	Estágio de Pós-perturbação (2012)	Variação de 1933 a 1949	Variação de 1949 a 2012
Terraços	Nível 2	Aterro	Volume	3,09x10 ⁶ m³	5,79x10 ⁶ m³	n.s.a.	87,34 %
				Taxa de deposição*		193.316 m³/ano	42.878 m³/ano
	Nível 3	Aterro	Volume	0,23x10 ⁶ m³	10,49x10 ⁶ m³	n.s.a.	4.359,35 %
				Taxa de deposição*		14.700 m³/ano	162.751 m³/ano
	Total. Aterros de 1933 a 2012		Volume	16,28x10 ⁶ m³	Taxa de deposição*	206.113 m³/ano	

* A taxa de deposição dos aterros foi calculada a partir da diferença dos volumes estimados de cada ano, dividida pelo número de anos entre as duas datas.

²⁶ Dort, W e Ratzlaff, J. Recent variation in course and regimen, Kansas River and nearby reaches. Kansas Water Resources Research Institute, **Completion Report**, 50, 1970.

²⁷ Brice, J. C. Lateral Migration of the Middle Sacramento River, California. US Geological Survey Report, **WRD/WR1-77/052**, 1977.

²⁸ Mosley, M. P. Channel changes on the River Bollin, Cheshire, 1872-1973. **East Midland Geographer**, 6, 1075, 185-99.

Entre 1933 e 1949 predominaram os depósitos mais baixos (Nível 2), que provavelmente refletem a disposição dos rejeitos do material escavado durante a construção do Canal Pinheiros. A partir de 1949 houve um crescimento significativo dos aterros mais altos (Nível 3), representado pela formação do depósito do atual Parque Villa-Lobos, que representa 47,83% do total de aterros da planície fluvial do Rio Pinheiros em 2012 ($7,79 \times 10^6 \text{ m}^3$). Considerando todo o período analisado, chegamos a uma taxa de deposição de aterros de 206.113 m^3 por ano. No entanto, além de descontínua no espaço esta disposição também é descontínua no tempo, representada por períodos de maior intensidade de deposição.

Portanto, em décadas, foram criados terraços antrópicos, resultado da incorporação de uma grande quantidade de depósitos não fluviais de composição e origem diversos, majoritariamente formados por resíduos sólidos domésticos, industriais e oriundos da construção civil (entulho), além de sedimentos remobilizados da escavação do Canal Pinheiros e do desassoreamento de rios e canais. O maior e mais alto destes depósitos (Parque Villa-Lobos) é formado basicamente por resíduos sólidos, material de desassoreamento do Rio Tietê e por rejeitos das escavações da construção do Metrô da cidade São Paulo (RODRIGUES, 2006), o que resultou na formação de um terraço com cerca de 9 metros de altura.

Formação de terraços a partir de eventos extremos e instantâneos sem a participação antrópica é registrada em sistemas fluviais montanhosos altamente dinâmicos, a exemplo do que ocorre na Nova Zelândia. Estes terraços são continuamente formados e eliminados por ciclos de aggradação e erosão de 10 anos, apresentando pouca persistência na paisagem (GAGE, 1970).

De acordo com a classificação temporal dos eventos geomorfológicos de Brunnsden (1996), estas mudanças na geomorfologia da planície fluvial do Rio

Pinheiros ao longo dos últimos 80 anos ou menos, são comparáveis a eventos extremos e instantâneos ou a eventos milenares (curto-prazo, de 10^3 a 10^4 anos).

Ainda de acordo com a classificação de Brusden (1996) podemos classificar estas mudanças como eventos geomorfológicos **formativos** e **efetivos**. Formativos porque foram criados tipos e formas de relevo como, por exemplo, os terraços antrópicos e o canal artificial, que apresentam longa persistência temporal. Efetivo porque causaram mudanças instantâneas e de alta efetividade nos processos e nas taxas pré-urbanas como, por exemplo, a deposição de aterros e a redução da sinuosidade e alargamento do canal. Portanto, a magnitude das mudanças no sistema pré-urbano foi efetiva ao ponto de criar novos processos e morfologias que só poderão ser novamente transformados através de novas intervenções antrópicas instantâneas e de alta magnitude ou através de eventos naturais ao menos milenares.

Isto ocorre porque as mudanças ocorridas nos processos geomorfológicos superaram os limiares geomórficos que mantinham o sistema meândrico pré-urbano em equilíbrio dinâmico (SCHUMM, 1977). Os impactos da urbanização resultaram em um *stress* externo tão elevado que produziram morfologias, materiais e taxas de erosão, deposição e de descarga tão distintas das condições pré-existentes que mesmo uma hipotética retirada do elemento antrópico da área não seria suficiente para o retorno do sistema meândrico pré-urbano, ao menos num período histórico de percepção humana (inferior a 10^3 anos).

Há ainda as mudanças antrópicas sofridas em toda a bacia hidrográfica, para além da planície fluvial, onde a urbanização modificou as taxas e processos de infiltração nas vertentes e as descargas dos rios afluentes. O *input* de águas e sedimentos das vertentes e rios afluentes no sistema hidromorfológico da planície

fluvial do Rio Pinheiros também está significativamente alterado pela ação antrópica, o que torna ainda mais difícil o retorno do sistema às condições pré-urbanas.

7.2 Implicações Hidrodinâmicas e Inundações

Onde antes havia um canal meândrico com fluxo d'água contínuo que alimentava o Rio Tietê, hoje há uma sequência de lagos com fluxo d'água controlado por estruturas de engenharia, com baixa descarga em direção ao Rio Tietê, que pode ser interrompida ou até mesmo revertida para montante. Não há qualquer sistema em condições naturais que possa controlar, interromper e reverter o fluxo d'água em um canal com tanta rapidez e dinamismo. Portanto, as modificações impostas ao fluxo d'água no canal foram extremas.

Não há medições sistemáticas da vazão do canal que permita uma análise mais aprofundada da dinâmica hidrológica do sistema, da relação dos eventos de pico de vazão com os eventos de precipitação, e das vazões de pico que chegam ao Rio Tietê. Porém, os dados relativos ao nível d'água do canal fornecem alguns elementos de análise.

O controle artificial do nível d'água no Canal Pinheiros resulta em uma discreta variação de seus valores mínimos e numa maior amplitude dos valores máximos (Tabela 10, pg. 171). Anos chuvosos não refletem necessariamente em anos com os níveis d'água mais elevados, demonstrando que a quantidade de água no canal provavelmente responde de maneira direta às precipitações ocorridas nos dias imediatamente anteriores, não refletindo assim as precipitações mensais e anuais, como demonstrado no registro da maior máxima do nível d'água de 25/05/2005 (Capítulo 6.6.1, pg. 168).

As cheias e secas sazonais esperadas durante os períodos chuvosos (outubro a março) e de estiagem (abril a setembro) são assim potencializadas em função da baixa capacidade da bacia hidrográfica como um todo em armazenar temporariamente as águas das chuvas. A resposta rápida entre a precipitação na bacia hidrográfica e a elevação do nível d'água do canal torna as operações de controle de cheias ainda mais complexas, principalmente nos períodos chuvosos, uma vez que o canal deve sempre estar abaixo de sua capacidade máxima, preparado para receber águas de chuvas rápidas e intensas, as famosas “chuvas de verão”. Soma-se ainda a falta de áreas marginais para o armazenamento destas águas, função antes exercida pela planície de inundação.

Por outro lado, em períodos de estiagem é difícil manter o nível d'água do canal elevado, e o abaixamento das águas passa a revelar os materiais assoreados no leito, resultando no surgimento de bancos marginais e ilhas de sedimentos e resíduos sólidos (Figura 83) (FOLHA DE SÃO PAULO, 2014)

Figura 83 – Ilhas e bancos marginais no Canal Pinheiros. Resultado da estiagem que tem atingido a Bacia do Alto Tietê no ano de 2014.

Foto: Moacyr Lopes Júnior/Folhapress. Fonte: Folha de São Paulo (2014).

A completa artificialização do sistema hidráulico do Canal Pinheiros e o aumento de sua seção transversal refletiram na diminuição das áreas atingidas pelas inundações de extravasamento do canal. Em teoria, os picos de cheia do Pinheiros podem ser tanto enviados para jusante, em direção ao Rio Tietê, quanto revertidos para montante, em direção aos reservatórios Guarapiranga e Billings. No entanto, mesmo num cenário de águas despoluídas onde as operações de reversão poderiam ser mais frequentes, o fato dos dois reservatórios também serem usados para abastecimento d'água faz com que eles tenham que ser mantidos com elevados estoques, diminuindo a capacidade de atenuação dos mesmos.

Como resultado das estruturas de controle de cheias implantadas no Canal Pinheiros, os terrenos construídos sobre a antiga planície de inundação estão mais efetivamente protegidos das águas de extravasamento do canal, que hoje atingem apenas alguns trechos rebaixados das vias marginais muito próximos ao canal. Porém, a ampliação da seção transversal do canal e das estruturas de bombeamento deve ser constante, uma vez que o avanço da urbanização e impermeabilização da bacia hidrográfica tem aumentado a vazão dos rios tributários (MONTEIRO JR., 2011).

A drenagem dos antigos terrenos úmidos da planície de inundação permitiu a sua urbanização, no entanto, a sua antiga função hidrológica de armazenar as águas das cheias e atenuar os seus efeitos foi completamente perdida. Foi estimado que a planície de inundação possuía a capacidade de reter temporariamente cerca de 30,96 milhões de m³ das águas das inundações periódicas e, juntamente com os Terraços de Nível 1, 90,03 milhões de m³ nas inundações ocasionais (Tabela 13, pg. 184). Estas águas eram liberadas

posteriormente, quando a onda de cheia havia passado, reduzindo assim os impactos negativos sociais e econômicos das enchentes.

Se objetivo inicial da retificação era retirar as águas do sistema rapidamente por meio do aumento da seção transversal do canal, o resultado foi o inverso. As intervenções antrópicas transformaram o antigo sistema fluvial num sistema próximo ao lacustre e a capacidade de transporte de água e de sedimentos foi significativamente reduzida. Soma-se a este sistema de baixa capacidade de transporte o aumento do volume d'água e da carga sedimentar que chega ao canal por causa da urbanização da bacia hidrográfica, via escoamento superficial, rede de esgoto e galerias pluviais. Segundo EMAE (2009), os trabalhos de desassoreamento do leito do Canal Pinheiros removem anualmente cerca de 200.000 m³ de material sólido.

As áreas atingidas pelas inundações por extravasamento do Canal Pinheiros foram reduzidas por causa do sistema de controle de cheias atualmente operado pela EMAE e pela alta magnitude da intervenção estrutural, incluindo, aumento da seção transversal (calha), implantação de barragens que impedem o refluxo das águas do Rio Tietê, implantação de reservatórios a montante e de bombas para reversão do fluxo d'água. No entanto, este efeito é sentido apenas ao longo da antiga planície de inundação do Rio Pinheiros e não nos canais e planícies de rios e córregos afluentes que, ao contrário, tiveram suas inundações potencializadas, como é o caso da foz do Ribeirão Pirajussara, do Córrego Águas Espaiadas, e das avenidas de fundo de vale como a Av. Roque Petrone Júnior Av. Cidade Jardim/Nove de Julho.

A Figura 84 sintetiza as modificações na dinâmica hidrológica e sedimentar da planície fluvial do Rio Pinheiros ao longo da urbanização da área.

Figura 84 – Modificações na dinâmica hidrológica e sedimentar no sistema hidromorfológico da planície fluvial do Rio Pinheiros decorrentes da urbanização.

Agentes antrópicos têm sido apontados como responsáveis por causar ou potencializar os efeitos de eventos extremos como as inundações desde a grande enchente de 1929. Quando há consequências sociais e econômicas negativas, as justificativas do poder público e das empresas operadoras do sistema são as mesmas desde então: “ocorrência de eventos extremos aquém do controle humano”. A justificativa da *Light* em 1929 para a ocorrência da grande enchente foi o excesso de chuvas (MAFFEI, 1995), a mesma justificativa foi usada pelos órgãos estaduais responsáveis 72 anos depois para as enchentes do Rio Tietê em janeiro de 2011 (IZIDORO, 2011). Três anos após estas enchentes, em 2014, a estiagem é apontada como a causa única para a crise no abastecimento de água na Bacia do Alto Tietê (LEITE; VENCESLAU, 2014).

Comumente eventos extremos são apontados como grandes responsáveis por enchentes e secas. Desta maneira, o reconhecimento de suas frequências e magnitudes é essencial para orientar o planejamento urbano e as políticas de recursos hídricos, uma vez que são fundamentais para que os impactos causados por tais eventos não sejam potencializados.

7.3 Geomorfologia aplicada

Compreender as implicações que as características pré-urbanas e as mudanças decorrentes da urbanização sobre um sistema fluvial é crucial para a aplicação do conhecimento geomorfológico no planejamento urbano. Cidades industriais antigas, e que estão em processo de declínio industrial e estabilização da população desde a Segunda Guerra Mundial, auxiliam no entendimento dos problemas ambientais das cidades industriais modernas como São Paulo.

Durante a realização desta pesquisa foram reconhecidos alguns exemplos de aplicação na Região Metropolitana de Manchester, no Reino Unido, como base de comparação para o entendimento da situação na Região Metropolitana de São Paulo e Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. O legado histórico da industrialização nas primeiras regiões industriais do mundo, como em Manchester, fornecem ótimos estudos de caso a respeito da resposta dos sistemas fluviais aos impactos antrópicos derivados da urbanização (LAWSON; LINDLEY, 2008).

A análise das mudanças instantâneas, de elevada magnitude e de alta efetividade identificadas na planície fluvial do Rio Pinheiros, bem como a composição e estratigrafia dos seus materiais e as características pré-urbanas do seu sistema hidromorfológico meândrico, são fundamentais para o planejamento ambiental, particularmente para o gerenciamento e controle de enchentes, estudos geotécnicos e propostas de recuperação ambiental.

7.3.1 Gerenciamento e controle de enchentes

A urbanização leva à necessidade de controle artificial das inundações por meio da criação de áreas para receber as águas das vazões de pico, seja pelo aumento da seção transversal do canal fluvial, seja pela instalação de reservatórios de armazenamento e de bacias de contenção a montante.

Entretanto, tais soluções de engenharia normalmente transferem os problemas das inundações a jusante e, no caso do Rio Pinheiros, não solucionaram por completo os problemas causados pelas inundações.

Apesar de ter diminuído a área atingida pelas enchentes, o controle artificial dos fluxos do canal não as tem evitado por completo. Vários locais hoje construídos sobre a antiga planície fluvial e baixos terraços têm sido atingidos pelas águas das enchentes, e novas tipologias de inundações têm sido criadas. Entre as principais causas destas enchentes está a perda da capacidade de armazenamento das águas das cheias decorrente da supressão da planície de inundação, a disposição indiscriminada de aterros, a rede de drenagem urbana deficiente, a implantação de avenidas de fundo de vale e a diminuição da permeabilidade da bacia hidrográfica como um todo.

Uma das soluções implantadas na Região Metropolitana de Manchester tem sido a implantação de bacias de armazenamento de inundações em setores da antiga planície de inundação (*Flood Storage Basin*), que nada mais são do que áreas livres para a ocupação das águas das inundações durante as cheias (Figura 85). Estas áreas podem ser usadas para lazer e recreação da população ou por clubes esportivos durante os períodos secos, uma vez que não há atualmente problemas graves relacionados à poluição das águas dos rios da cidade (Figura 86 e Figura 87). Uma destas bacias de armazenamento (*Salford Flood Storage Basin*) tem capacidade de armazenar 650.000 m³ de água durante as ondas de cheia, e está encravada na cidade, atenuando significativamente os efeitos das inundações a jusante, justamente a região central de Manchester (Figura 88).

Figura 85 – Placa de alerta da bacia de armazenamento de inundações do Rio Irwell, Lower Kersal, Salford, Reino Unido.
Foto: Nigel Lawson, dez. 2013.

Figura 86 – Rio Irwell em primeiro plano e bacia de armazenamento com campos de futebol ao fundo. Lower Kersal, Salford, Reino Unido.
Foto: Nigel Lawson, dez. 2013.

Figura 87 – Bacia de armazenamento em operação. Entrada das águas do extravasamento do Rio Irwell nos terrenos ocupados por campos de futebol.
Fonte, Environment Agency (2008b).

Figura 88 – Localização da Bacia de Armazenamento de Inundações de Salford e ocupação urbana em na Região Metropolitana de Manchester. Setas indicam a direção do Rio Irwell.

Fonte: Imagem de satélite, Google Earth 7 de 01/06/2009, consultada em 16/07/2014.

Desta forma, é recuperada e potencializada função pré-urbana da planície de inundação, que volta a ser um local de atenuação das ondas de cheia do sistema. Além disso, na maior parte do tempo as áreas ficam disponíveis para a população para o uso recreativo e de lazer, uma vez que as bacias só entram em operação durante as cheias. A localização deste tipo de estrutura passa pela identificação e preservação dos remanescentes da planície de inundação e baixos terraços pouco perturbados. Áreas passíveis de serem utilizados para armazenamento temporário das águas sem a necessidade de grandes intervenções de engenharia, uma vez que seus atributos hidromorfológicos, principalmente a permeabilidade, se encontram conservados.

As melhores áreas para este tipo de intervenção seriam aquelas com grau muito baixo de perturbação antrópica e localizadas sobre a antiga planície de inundação. No caso do Pinheiros estes remanescentes são muito pequenos, correspondendo a apenas 0,78% dos terraços de nível 1 (Figura 89), o que torna praticamente impossível a sua utilização para controle de enchentes. No entanto, análises e mapeamentos como os aqui realizados pode ser aplicados na identificação destas áreas em outras partes da Região Metropolitana de São Paulo, como tem sido demonstrado em trabalhos semelhantes executados na planície fluvial do Rio Tietê (RODRIGUES *et al.*, 2012) e nas bacias hidrográficas do Rio Tamanduateí (MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2010) e do Córrego da Tapera, Bacia Hidrográfica do Rio Aricanduva (CLARO, 2013).

Figura 89 – Localização dos remanescentes com menor grau de perturbação sobre a antiga planície de inundação.

No entanto, estas bacias de armazenamento temporário de inundações são apenas parte das políticas de gerenciamento e controle de enchentes, e não podem ser tratadas isoladamente. No Reino Unido, elas são planejadas em conjunto com o monitoramento das chuvas e controle de reservatórios a montante, e refletem diretrizes e projetos definidos por planos de gerenciamento de enchentes em diversas escalas (Quadro 10).

Escala	Referências
Nacional	Scottish Executive Environment Group Research (2005) Environment Agency (2011)
Regional	Environment Agency (2008a) Environment Agency (2008b)
Metropolitana	Association of Greater Manchester Authorities (2008) Manchester City, Salford City and Trafford Councils (2010)
Local	Salford City Council (2007) e Salford Strategic flood risk assessment 2011: http://www.salford.gov.uk/strategic-flood-risk-assessment-2010.htm Manchester City Council (2014) Bury City Council Planning and flood risk: http://www.bury.gov.uk/index.aspx?articleid=4515

Quadro 10 – Exemplos de planos de gerenciamento de inundações do Reino Unido e Região Metropolitana de Manchester conforme a escala.

A experiência da Região Metropolitana de Manchester não resultou na eliminação das inundações fluviais, ou seja, daquelas oriundas do extravasamento de canal, porém, é possível afirmar que hoje elas são geridas satisfatoriamente pelo sistema de controle implantado, reduzindo significativamente os impactos negativos dos eventos de cheia (Prof. Nigel Lawson, Universidade de Manchester, informação verbal)²⁹. A preocupação atual é com as inundações decorrentes de tubulações de drenagem antigas e inadequadas e do adensamento localizado da urbanização da região.

Outro problema atualmente enfrentado diz respeito aos conflitos decorrentes da grande quantidade de agentes públicos e privados que tratam da questão no Reino Unido, o que resulta na falta de coesão entre estes agentes e na indefinição das responsabilidades sobre a execução das políticas públicas do

²⁹ Informação fornecida pelo Prof. Nigel Lawson durante visita de campo às bacias de armazenamento de inundações da Região Metropolitana de Manchester.

setor e pagamentos de seguros aos atingidos pelas inundações (DOUGLAS *et al.*, 2010). Conflitos semelhantes na gestão ambiental e de recursos hídricos têm sido identificados no Brasil (RODRIGUES, 1997a; TRAVASSOS, 2010)

7.3.2 Geotecnia

A complexa estratigrafia formada por materiais tecnogênicos, sedimentos fluviais de diferentes gêneses e rochas cristalinas com diferentes graus de decomposição tornam este tipo de ambiente bastante problemático do ponto de vista geotécnico, como por exemplo, para a escavação de túneis e construção de dutos subterrâneos e fundações. Os materiais subsuperficiais da planície fluvial urbanizada do Rio Pinheiros revelam que o embasamento cristalino pré-cambriano foi entalhado por um canal fluvial, preenchido posteriormente por sedimentos fluviais de rios entrelaçados durante o Pleistoceno (Formação Itaquaquecetuba) e, durante o Holoceno, foi recoberto pelos sedimentos do sistema fluvial meândrico pré-urbano até passar a receber os depósitos tecnogênicos dos últimos cem anos.

Portanto, além dos altos níveis do lençol freático típico das planícies de inundação e baixos terraços, há uma complexa variabilidade vertical e lateral que pode gerar fragilidades geotécnicas, composta por depósitos tecnogênicos, sedimentos fluviais (sistemas meândricos e entrelaçados) e rochas cristalinas com vários graus de decomposição. Esta complexa estratigrafia, somada a fragilidade natural de terrenos úmidos fluviais, podem influenciar desde a simples formação de buracos nas vias até a ocorrência de acidentes graves como o da Estação Pinheiros do Metrô (Linha 4 – Amarela) (AB'SÁBER, 2007; IPT, 2009; LUZ; RODRIGUES, 2013).

Além disso, os constantes bombeamentos do lençol freático das edificações realizadas no subsolo da planície geram instabilidades geotécnicas

que não têm sido consideradas nos planos de uso e ocupação do solo do município (KAYO, 2013).

7.3.3 Recuperação ambiental

Do ponto de vista ecológico muitas cidades industriais antigas da Europa têm passado por uma fase de transição do urbano avançado, quando há uma intensificação das áreas impermeáveis e da densidade de edificações, em direção ao estágio de regeneração urbana, quando antigas edificações abandonadas são removidas, áreas degradadas são recuperadas e as áreas verdes são ampliadas (DOUGLAS, 1983).

A cidade de São Paulo parece ainda estar na fase do urbano avançado, uma vez que ainda predomina a lógica do aumento da densidade das edificações e do sistema viário em detrimento das áreas verdes, como exemplo, no caso de um dos últimos remanescentes dos baixos terraços fluviais e planície de inundação do Rio Pinheiros na região do Panamby (Figura 90, Figura 91 e Figura 92). Estes remanescentes têm sido ameaçados por empreendimentos imobiliários que resultaram no adensamento das edificações (CARDIM, 2014; RIBEIRO; ZANCHETTA, 2014).

Figura 90 – Unidades geomorfológicas pré-urbanas e localização da área remanescente na região do Panamby sobre a aerofoto de 1948.

Figura 91 – Último remanescente da planície de inundação do Rio Pinheiros com aterro da Marginal Pinheiros ao fundo.
Foto: Ricardo Cardim. Fonte: Cardim (2014)

Figura 92 - Unidades hidromorfológicas pré-urbanas e localização da área remanescente na região do Panamby sobre imagem de satélite de 2008.
Fonte: Google Earth 7 de 14/12/2008, consultada em 17/07/2014.

Algumas ações pontuais de recuperação de áreas degradadas, como projetos de parques lineares e programas de recuperação de córregos indicam o início da preocupação com a fase denominada de regeneração urbana por Douglas (1983). No entanto, os efeitos destas políticas ainda são muito incipientes e, segundo Travassos(2010), respondem ainda parcialmente as demandas sociais, ambientais e urbanas devido ao caráter intersetorial das intervenções, que resulta em ações muitas vezes incompletas.

Um dos principais problemas ambientais do Canal Pinheiros é a poluição de suas águas, o que diminui significativamente a efetividade de qualquer projeto de melhoramento urbanístico ou recuperação ambiental, uma vez que a poluição restringe a possibilidade de desenvolvimento da vida aquática e ripária e o uso recreativo e de lazer pela população. Apesar da expansão do sistema de esgoto e tratamento nos últimos 15 anos, 30% do esgoto da Região Metropolitana de São Paulo ainda não é tratado. A entrada em operação dos interceptadores de esgoto ao longo do Canal Pinheiros em 2008 (SABESP, 2013) provavelmente contribuiu para a redução dos poluentes registrados por Rodrigues (2012), mas somente a expansão da coleta e tratamento para toda a Região Metropolitana de São Paulo prevista para 2024 irá trazer condições ecológicas satisfatórias para as águas do canal (SABESP, 2013). O fluxo vagaroso do canal e seu consequente baixo potencial de depuração também dificulta a melhora na qualidade da água.

Portanto, o melhoramento urbanístico e paisagístico do canal e de suas margens, ao menos para fins recreativos e educacionais, passa pela limpeza das águas. Outro problema é a existência de vias marginais expressas, que isolam canal, desintegrando funcionalmente suas margens da cidade, dificultando o

acesso da população, que pode até ver o canal e suas margens, mas não pode alcançá-los (MONTEIRO, 2010).

Os exemplos de Manchester são novamente úteis para fins de comparação. Os antigos canais de navegação da cidade têm passado por projetos de urbanização de suas margens, sustentando inclusive usos semelhantes aos que ocorrem nas margens do Pinheiros na região da Berrini, Itaim-Bibi e Brooklin, com a substituição dos antigos galpões industriais, por shoppings, casas de espetáculo, empreendimentos multiuso, centros de mídia e condomínios verticais de altíssimo padrão (Figura 93). Assim como na planície do Pinheiros, os terrenos às margens dos antigos canais de Manchester também foram valorizados financeiramente, mas a limpeza das águas e a inexistência de vias expressas marginais permitem o uso recreativo e de lazer pela população (Figura 94).

Figura 93 – Urbanização atual no entorno do Canal de Navegação de Manchester. O canal passou a ser pouco utilizado para navegação após o declínio industrial da cidade pós-1945. Edifícios do centro compõem o Centro de Mídia da BBC inaugurado em 2011 juntamente com alguns edifícios de hotéis. No canto direito inferior edifícios residenciais de alto padrão. No canto esquerdo inferior um shopping-center. Fonte: MediaCityUK aerial view, April 2011, University of Salford Press Office.

Figura 94 – Canal recuperado e utilizado para festivais de natação. Foto: Rodolfo Luz, 22/06/2013.

No entanto, projetos que visem ir além do melhoramento urbanístico e paisagístico da área, buscando uma recuperação ambiental efetiva do sistema exigirão uma intervenção maior na configuração e usos da terra atuais. Experiências de recuperação ambiental de sistemas fluviais em antigas cidades da Europa e América do Norte (GREENWOOD, 1996; GROVE; BURCH, 1997; NEWSON *et al.*, 1997; FINKENBINE; ATWATER; MAVINIC, 2000; BOITSIDIS; GURNELL, 2004; BERNHARDT; PALMER, 2007; EUROPEAN CENTRE FOR RIVER RESTORATION (ECRR), 2013) apontam as principais diretrizes e condicionantes deste tipo intervenção, assim como suas potencialidades e limitações.

A caracterização da dinâmica hidromorfológica pré-urbana, bem como a identificação da magnitude das modificações antrópicas subsequentes é um dos principais requisitos de programas de recuperação ambiental em sistemas fluviais. É justamente sobre este tipo de estudo e da análise do grau de perturbação antrópica já sofrida pelo sistema que as possibilidades de recuperação devem ser delineadas. Assim, em sistemas com baixo grau de perturbação o retorno às condições próximas às originais provavelmente é ainda possível, enquanto que em sistemas com alto grau de perturbação isto é praticamente impossível.

Portanto, a escolha do tipo de intervenção de recuperação da área dependerá do grau de perturbação ao qual ela foi submetida, que é realizado através da avaliação e dimensionamento da atividade antrópica na superfície (RODRIGUES, 2004), e que irá refletir nas técnicas e metodologias a serem utilizadas nos projetos de recuperação.

Como visto, as magnitudes das mudanças no sistema hidromorfológico da planície fluvial do Rio Pinheiros foram tão elevadas que não é mais possível a

restauração às condições pré-urbanas. Além do mais, qualquer tentativa de recuperação ambiental só será efetiva se o sistema de coleta e tratamento de esgotos da bacia hidrográfica for melhorado e universalizado (BERNHARDT; PALMER, 2007), o mesmo pode ser dito sobre os outros rios e canais da Região Metropolitana de São Paulo como os rios Tietê, Tamanduateí, Aricanduva, Pirajussara etc.

Juntamente com a melhoria na qualidade das águas, outra medida fundamental para a recuperação ambiental efetiva do sistema é a preservação dos remanescentes pouco perturbados da planície fluvial, bem como das nascentes e terrenos remanescentes das vertentes de toda a bacia hidrográfica.

As mudanças ocorridas no sistema também não permitem mais a regeneração da vegetação ripária nativa por causa das alterações na dinâmica das cheias, da complexidade dos depósitos tecnogênicos que compõem os solos das margens e das alterações no nível do lençol freático. Além disso, faltam áreas livres para o desenvolvimento da vegetação devido às atuais estruturas urbanas assentadas nas margens (vias, ferrovias, linhas de transmissão de energia, edificações diversas). Na situação atual, é possível a execução de programas paisagísticos como o Projeto Pomar (<http://pomarurbano.sp.gov.br/>), onde várias espécies de árvores e arbustos nativas e exóticas têm sido plantadas no diminuto espaço entre o canal e as vias expressas marginais (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011) (Figura 95).

Figura 95 – Projeto Pomar Urbano. Fonte: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2011).

Apesar de representarem um incipiente avanço das políticas de qualidade ambiental urbana, os projetos atuais de despoluição e paisagismo são insuficientes no que tange a recuperação ambiental do sistema, que deve ir além do mero paisagismo ao redor de estruturas urbanas (BERNHARDT; PALMER, 2007). Além da melhoria na qualidade da água do canal, a recuperação ambiental do sistema passa obrigatoriamente pela disponibilização de mais áreas verdes nas suas margens, o que demanda a remoção de estruturas urbanas das margens, especialmente das vias marginais expressas.

Todo o canal deve ser pensado como um corredor verde para a água, a fauna, flora e pessoas. Só assim será possível restaurar parte do valor ecológico e social do sistema fluvial, uma vez que o retorno às condições pré-urbanas são impossíveis. Porém, ainda é possível fazer do Canal Pinheiros parte

ambientalmente integrada à cidade de São Paulo, em busca do efetivo início de uma fase de regeneração urbana (DOUGLAS, 1983). Isto não ocorrerá pelo retorno utópico das condições originais, mas por meio do estabelecimento de uma nova geomorfologia urbana, que busque recuperar parte das funções sociais, ecológicas e hidrológicas do sistema e diminuir a concentração de edificações e vias expressas nas suas margens.

8 CONCLUSÕES

A pesquisa demonstra que planícies fluviais meândricas submetidas à urbanização em meio tropical úmido podem apresentar mudanças geomorfológicas consideradas instantâneas, que podem ser anuais, decenais e seculares (10^0 a 10^2 anos), resultando em eventos geomorfológicos comparáveis a eventos naturais extremos e de alta magnitude ou a eventos milenares (10^3 a 10^4 anos) como por exemplo, a formação de terraços, supressão da planície de inundação e transformações de padrões canal fluvial. A urbanização também modifica os processos hidrodinâmicos do sistema, que passam a apresentar uma resposta mais rápida e intensa do que em sistemas não urbanizados como por exemplo, o curto espaço de tempo entre a ocorrência da precipitação na bacia hidrográfica e a rápida elevação do nível d'água do canal.

Este curto tempo de resposta às intervenções antrópicas faz das fontes históricas recursos bastante adequados para a datação, dimensionamento e mapeamento dos processos geomorfológicos de décadas e séculos. Cidades de urbanização relativamente moderna como São Paulo e outras cidades do mundo tropical possuem fontes históricas, especialmente mapas, que revelam as condições pré-urbanas com bastante qualidade, uma vez que modernos e mais acurados levantamentos cartográficos puderam ser realizados no início, ou até mesmo antes, da urbanização.

A análise geomorfológica orientada para a identificação de mudanças em ambientes urbanos não somente permite a compreensão dos eventos passados, como também fornece elementos cruciais para a atual gestão da cidade e para o planejamento de seu futuro. Metodologias e técnicas baseadas no uso de fontes históricas e na elaboração de cartas retrospectivas, orientadas à reconstituição da

evolução geomorfológica pré-urbana da área e da sequência de intervenções antrópicas posteriores, fornecem bases para o entendimento do papel do Homem nas mudanças hidromorfológicas ocorridas no sistema, como tem sido demonstrado por Rodrigues (1997a; 2010) e Moroz Caccia-Gouveia (2010).

Tanto a evolução geológica e geomorfológica quanto as modificações antrópicas podem ser identificadas, e a magnitude e as consequências da urbanização podem ser analisadas e dimensionadas. Desta maneira, são geradas bases técnico-científicas fundamentais para o aperfeiçoamento da gestão dos rios, canais artificiais e planícies fluviais, podendo ser aplicadas em projetos ambientais e de controle de enchentes e em levantamentos geotécnicos.

Diferentes estágios de perturbação são caracterizados e as diferentes possibilidades de recuperação ambiental da área podem ser reconhecidas, apontado desde áreas com potencial de restauração ambiental das condições pré-urbanas, até áreas onde o nível de perturbação é tão elevado que a reabilitação ambiental com finalidades diferentes das pré-urbanas são mais adequadas.

Apesar de ter diminuído significativamente a área atingida pelas inundações de extravasamento do canal, as intervenções antrópicas criaram novos tipos de inundação, potencializaram os impactos das inundações nas avenidas de fundo de vale dos afluentes do Pinheiros, transferiram parte dos impactos para jusante e demandam manutenção e ampliação constante. O sistema de controle de cheias do Canal Pinheiros exigiu a ampliação da seção transversal do canal e a implantação de grandes estruturas de engenharia e depende, atualmente, da mobilização de técnicos e operadores da EMAE, da

dragagem constante do leito assoreado e da contínua ampliação da capacidade do sistema por causa do avanço da urbanização na bacia hidrográfica.

A drenagem dos antigos terrenos úmidos das planícies de inundação e baixos terraços permitiu a sua urbanização, mas, por outro lado, a função hidrológica destes setores em armazenar temporariamente os volumes extravazados pelo canal em eventos extremos de vazão foi perdida. Restaram poucas e diminutas áreas que poderiam servir para a atenuação das ondas de cheia na planície fluvial do Rio Pinheiros, mas estudos como este podem auxiliar na identificação de terrenos com este potencial em outros sistemas hidromorfológicos mais preservados da Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, como na planície do Rio Tietê a montante da Barragem da Penha e a jusante de Osasco.

O caso do Pinheiros mostra como intervenções urbanísticas pontuais e baseadas na implantação de medidas estruturais de engenharia, muitas vezes não consideram a resposta complexa que os fenômenos geomorfológicos podem apresentar quando limiares são rompidos (SCHUMM, 1977). Lições aprendidas à duras penas, que devem ser consideradas no planejamento de uso e ocupação de sistemas ainda pouco perturbados.

As mudanças ocorridas no sistema ao longo dos últimos 80 anos foram tão grandes e intensas que qualquer projeto eficaz de recuperação ambiental demanda uma igualmente grande e intensa intervenção na área, bem como uma significativa mudança no uso da terra nas margens do canal e nas áreas planas e baixas da antiga planície de inundação. Impactos negativos decorrentes da remoção de estruturas urbanas serão compensados pelos benefícios sociais e

ambientais advindos da recuperação de parte das funções do antigo sistema hidromorfológico.

Projetos de recuperação ambiental dos rios paulistanos passam obrigatoriamente pela remoção da carga poluidora e das vias marginais expressas ou, no mínimo, pela diminuição do número de faixas, alterando seu status de “via expressa” para via local, com uma circulação mais lenta e integrada aos bairros. Dentre outras intervenções antrópicas, as vias marginais expressas funcionam como verdadeiras barreiras entre as águas dos canais e rios e a população, exemplos comumente utilizados de recuperação de rios em grandes cidades, como o Rio Tâmisa em Londres, ou o Rio Sena em Paris, tratam justamente de rios que não são margeados por vias expressas de grande circulação e alta velocidade.

Projetos que buscam a recuperação destas funções, mesmo que parcial, têm sido propostos desde o início do século por meio das propostas do engenheiro sanitaria Saturnino Brito, que já alertava para a necessidade de preservação de setores das planícies de inundação para fins de controle de enchentes (BRITO, 1926). Projetos mais recentes das décadas de 1980 e 1990 descritos por Monteiro (2010), também propõem grandes intervenções nas margens dos rios paulistanos. No entanto, a maior parte dos instrumentos de planejamento urbano não leva em consideração tais referências. Exemplo disso é a recente revisão do Plano Diretor Estratégico do município de São Paulo aprovada em julho de 2014, que inclui maior parte das planícies fluviais paulistanas urbanizadas e os raros remanescentes em zonas de adensamento e

aumento do potencial construtivo (macroárea de estruturação metropolitana) (Projeto de Lei nº 688/13)³⁰.

O conhecimento científico e os projetos que prevêm a recuperação das funções hidrológicas e ecológicas perdidas, propõem uma radical mudança de lógica no uso das planícies fluviais. Mudar uma lógica tão enraizada é um grande desafio, exige grandes esforços políticos e de participação social, esforços tão grandes quanto às magnitudes das mudanças impostas ao sistema ao longo da urbanização.

9 BIBLIOGRAFIA

AB'SÁBER, A. N. Os terraços fluviais da região de São Paulo. **Anuário da Faculdade de Filosofia "Sedes Sapientiae" da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo**, São Paulo, 10, 1952-1953. 86-104.

AB'SÁBER, A. N. **Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo**. (Edição Fac-Similar 50 anos editada em 2007). ed. Cotia-SP: Ateliê Editorial, 1957. 349 p.

ABAS (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS); ABGE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA); SBG (SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA). **Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo**. (Seminário), São Paulo: ABAS, ABGE e SBG, 1992. 290 p.

ABGE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA); SBG (SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA). **Aspectos geológicos e geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo**. (Mesa redonda) Publicação Especial, São Paulo: ABGE e SBG, 1980. 190 p.

AB'SÁBER, A. N. A Planície do Tietê no Planalto Paulistano. **Geomorfologia**, São Paulo, 1978. 1 - 24.

AB'SÁBER, A. N. **São Paulo: Ensaio Entreveros**. São Paulo: EDUSP, 2004. 522 p.

AB'SÁBER, A. N. A estrutura da planície do Pinheiros: a Geologia da região do Butantã, em São Paulo, e o desastre recente nas obras do Metrô. **Scientific American Brasil**, p. 98, Observatório, mar. 2007.

AHNERT, F. Equilibrium, scale and inheritance in geomorphology. **Geomorphology**, 11, n. 2, 1994. 125-140.

³⁰ Para acesso aos documentos do projeto de lei acessar: <http://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/novo-plano-diretor-estrategico/>.

ALLEN, P. M.; ARNOLD, J. G.; SKIPWITH, W. Erodibility of urban Bedrock and alluvial channels, North Texas. **Journal of the American Water Resources Association**, 38, n. 5, 2002. 1477-1491.

ALMEIDA, F. F. M. O Planalto Paulistano. In: AZEVEDO, A. **A Cidade de São Paulo: Estudos de Geografia Urbana**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, v. 1, 1958. p. 113-168.

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim IGG. Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, 41, 1964. 168-274.

ALMEIDA, F. F. M. et al. **Tectônica da Formação Itaquaquetuba na Grande São Paulo**. Anais do 33º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. Rio de Janeiro: SBG. 1984. p. 1794-1808.

ANGELI, P. A. L. **As operações urbanas consorciadas como instrumento de planejamento urbano: Estudo de caso na cidade de São Paulo**. 104 f. Dissertação (Mestrado em Urbanismo). Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias - PUC. Campinas. 2011.

ARAI, M.; YAMAMOTO, J. K. **Datação da Formação Itaquaquetuba**. Anais do 4º Simpósio de Geologia do Sudeste, São Pedro-SP. São Pedro-SP: SBG. 1995. p. 84.

ARNOLD, C. L.; BOISON, P. J.; PATTON, P. C. Sawmill Brook: An Example of Rapid Geomorphic Change Related to Urbanization. **The Journal of Geology**, 90, n. 2, 1982. 155-166.

ASSOCIATION OF GREATER MANCHESTER AUTHORITIES. **Strategic Flood Risk Assessment for Greater Manchester**. Scott Wilson. Manchester, p. 127. 2008.

BATHERELLOS, G. D. An overview in urban geology and urban geomorphology. **Bulletin of the Geological Society of Greece**, Proceedings of the 11th Congress, Athens, 40, 2007. 1354-1364.

BATISTA, S. C. **Conversa Cartográfica: Processo de expansão urbana na Metrópole Paulistana e unidades geomorfológicas de média escala**. Trabalho de Graduação Individual (Bacharelado em Geografia). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2002.

BERGER, A. R. The geoinicator concept and its application: an introduction. In: BERGER, A. R.; IAMS, W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in Earth systems**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1996. p. 1-14.

BERGES, B. **Geomorfologia Urbana Histórica aplicada à análise das inundações na bacia hidrográfica do Córrego da Moóca - São Paulo, SP**. 179 f + apêndice. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2013.

BERNHARDT, E. S.; PALMER, M. A. Restoring streams in an urbanizing world. **Freshwater Biology**, 2007. 738–751.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, IGEOG-USP, São Paulo, 13, 1971. 1-27.

BIGARELLA, J. J. Variações climáticas no Quaternário Superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método do Carbono 14. **Paleoclimas**, IGEOG - USP, São Paulo, 1, 1971. 1-22.

BLEDSON, B. P.; WATSON, C. C. Effects of urbanization on channel instability. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 37, n. 2, p. 255-270, 2001.

BOITSIDIS, A.; GURNELL, A. **Environmental Sustainability Indicators for Urban River Management**: sustainable management of urban rivers and floodplains. London: Dep. Geogr., King's College, 2004. 42 p.

BRIDGE, J. S. **Rivers and Floodplains**: Forms, Processes, and Sedimentary Record. Oxford: Blackwell Science Ltd., 2003. 504 p.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management**: applications of the river styles framework. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. 398 p.

BRITO, F. S. R. **Melhoramentos do Rio Tietê em São Paulo**. Relatório. Seção de obras d' "O Estado de S. Paulo". São Paulo, p. 270. 1926.

BROCANELI, P. F.; STUERMER, M. M. Renaturalização de rios e córregos no município de São Paulo. **Exacta**, São Paulo, 6, n. 1, 2008. 147-156.

BROOKES, A. River channelization: traditional engineering methods, physical consequences, and alternative practices. **Progress in Physical Geography**, 9, 1985. 44-73.

BROWN, E. H. Man Shapes the Earth. **The Geographical Journal**, 136, 1970. 74-85.

BRUNSDEN, D. Geomorphological events and landform change. **Z. Geomorph. N.F.**, Berlin-Stuttgart, v. 40, n. 3, p. 273-288, 1996.

CAILLEUX, A.; TRICART, J. Le problème de la classification des faits géomorphologiques. **Ann. de Géogr.**, 1956. 162 -186.

CAMPAGNOLI, F. **A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na bacia do alto Tietê, SP**. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica - USP. São Paulo. 2002.

CARDIM, R. A última floresta e brejos nativos do Rio Pinheiros estão condenados a virar concreto em frente ao Parque Burle Marx no Panamby. **Site "Árvores de São Paulo"**, 11 mar. 2014. Disponível em: <<http://arvoresdesaopaulo.wordpress.com/2014/03/11/a-ultima-floresta-e-brejos-nativos-do-rio-pinheiros-estao-condenados-a-virar-concreto-em-frente-ao-parque-burle-marx-no-panamby/>>. Acesso em 17 jul. 2014.

CARVALHO, D. **Indicadores geomorfológicos de mudanças ambientais no sistema**. 135f (v. 1) + anexos (v. 2). Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2006.

CARVALHO, D. L. R. **Ensaio de cartografia geomorfológica de detalhe sob a abordagem da Antropogeomorfologia - Bairro Jardim Serrano (Ribeirão Pires - RMSP)**. Trabalho de Graduação Individual (Bacharelado em Geografia). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2002.

- CHIN, A. Urban transformation of river landscapes in a global context. **Geomorphology**, 79, 2006. 460-487.
- CHIN, A.; GREGORY, K. J. Managing urban river channel adjustments. **Geomorphology**, 69, 2005. 28-45.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blucher, 1974. 149 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher, 1981. 313 p.
- CHURCH, M. et al. Rivers. In: SLAYMAKER, O.; SPENCER, T.; EMBLETON-HAMANN, C. **Geomorphology and Global Environmental Change**. New York: Cambridge University Press, 2009. p. 98-129.
- CLARO, M. S. **Unidades morfológicas complexas na bacia hidrográfica do Córrego da Tapera, São Paulo, SP: Contribuições ao planejamento ambiental e urbano**. 156 f + mapas. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2013.
- COIMBRA, A. M.; RICCOMINI, C.; MELO, M. S. **A Formação Itaquaquetuba: evidências de tectonismo no Quaternário paulista**. Atas do 4º Simpósio Regional de Geologia, São Paulo. São Paulo: SBG-SP. 1983. p. 253-266.
- COLTRINARI, L. Um exemplo de carta geomorfológica de detalhe: a carta do médio vale do rio Parateí, SP. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 1982. 55-63.
- COLTRINARI, L. Cartas geomorfológicas. **Orientação**, São Paulo, 1984. 96-99.
- COLTRINARI, L. Natural and anthropogenic interactions in the brazilian tropics. In: BERGER, A. R.; IAMS, W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in Earth systems**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1996. p. 1-14.
- COLTRINARI, L. Geomorfologia e mudanças globais: algumas considerações. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 11, 1997. 39-45.
- COLTRINARI, L. Mudanças ambientais globais e geoindicadores. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, 28, n. 2, 2001. 307-314.
- COLTRINARI, L.; MCCALL, G. J. H. Geo-indicadores: ciências da terra e mudanças ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 9, 1995. 5-12.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Seminário – Arco do Tietê. Projeto Tietê**. Apresentação de slides arquivada no site do Instituto de Engenharia. São Paulo. 2013. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urban_o/arquivos/arco-tiete/Sabesp-Seminario-ArcoTiete-20130409.pdf. Acesso em: 28 abr. 2014.
- COOKE, R. U. Urban Geomorphology. **The Geographical Journal**, 142, 1976. 59-65.
- COULTARD, J. P. et al. Carta do modelado e das formações superficiais do médio vale do Parateí, SP. **Sedimentologia e Pedologia**, IGEOG-USP, São Paulo, 9, 1978. 1-35.

COUTINHO, J. M. V. Petrologia do Pré-Cambriano de São Paulo e arredores. **Boletim IG**, São Paulo, 3, 1972. 5-99.

CRUZ, O. A escala temporal-espacial nos estudos dos processos geomorfológicos erosivos atuais: Uma questão de método. **Geomorfologia**, São Paulo, 1985. 6.

CSIMA, P. Urban development and anthropogenic geomorphology. In: SZABÓ, J.; DÁVID, L.; LÓCZY, D. **Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-Made Landforms**. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2010. p. 179-188.

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 211-252.

CUSTÓDIO, V. **A persistência das inundações na Grande São Paulo**. 333 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2002.

DACKOMBE, R. V.; GARDINER, V. **Geomorphological field manual**. London: George Allen & Unwin, 1983. 254 p.

DEMEK, J. Generalization of Geomorphological Maps. **Proceedings of the IGU Commission on Applied Geomorphology, sub-commission on Geomorphological Mapping**, Brno, p. 36–72, 1967.

DEMEK, J. **Manual of Detailed Geomorphological Mapping**. International Geographical Union, Commission on Geomorphological Survey and Mapping. Prague, p. 344. 1972.

DEMEK, J. Quaternary relief development and man. **Geoforum**, 15, 1973. 68-71.

DINIZ, R. O.; FERRARI, S. M. A Billings e o Projeto Serra. **Revista História & Energia**, Dep. de Patrimônio Histórico da Eletropaulo, 5, 1995. 22-25.

DOLLAR, E. S. J. Progress Reports: Fluvial Geomorphology. **Progress in Physical Geography**, 26, n. 1, 2002. 123-143.

DOUGLAS, I. **The Urban Environment**. London: Edward Arnold, 1983. 229 p.

DOUGLAS, I. Hydrogeomorphology downstream of bridges: one mechanism of channel widening. **Applied Geography**, 5, n. 2, 1985. 167–170.

DOUGLAS, I. Urban geomorphology. In: FOOKES, P. G.; LEE, E. M.; GRIFFITHS, J. S. **Geomorphology for engineers**. Caithness: Whittles, 2005a. p. 757-777.

DOUGLAS, I. Hot wetlands. In: FOOKES, P. G.; LEE, E. M.; GRIFFITHS, J. S. **Engineering geomorphology: theory and practice**. [S.l.]: Whittles, 2005b. p. 473-500.

DOUGLAS, I. et al. Characterisation of urban streams and urban flooding. In: ASHLEY, R., et al. **Advances in Urban Flood Management**. Leiden: Taylor and Francis, 2007. p. 29-58.

DOUGLAS, I. et al. Urban pluvial flooding: a qualitative case study of cause, effect and nonstructural mitigation. **Journal of Flood Risk Management**, n. 2, 2010. 112–125.

DOUGLAS, I.; LAWSON, N. The Human Dimensions of Geomorphological Work in Britain. **Journal of Industrial Ecology**, 2, 2000. 9–33.

DREW, D. **Processos interativos Homem-Meio Ambiente**. São Paulo: Difel, 1986. 206 p.

EMAE. EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA. **Controle de Cheias do Canal Pinheiros**. Apresentação de slides arquivada no site do Instituto de Engenharia. São Paulo. 2009. Disponível em: <http://ie.org.br/site/ieadm/arquivos/arqnot2650.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2014.

ENVIRONMENT AGENCY. **Upper Mersey Catchment Flood Management Plan: Final Plan 2008, managing flood risk**. Environment Agency (United Kingdom). Warrington, p. 582. 2008a.

ENVIRONMENT AGENCY. **Irwell Catchment Flood Management Plan: Final Report 2008, managing flood risk**. Environment Agency (United Kingdom). London, p. 32. 2008b.

ENVIRONMENT AGENCY. **National flood and coastal erosion risk management strategy for England**. Environment Agency (United Kingdom). London, p. 63. 2011. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/national-flood-and-coastal-erosion-risk-management-strategy-for-england>.

ESTAIANO, J. C. **Impactos da mineração de areia em planícies fluviais meândricas da bacia hidrográfica do Alto Tietê: o caso do rio Embu-Guaçu**. 185 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2007.

EUROPEAN CENTRE FOR RIVER RESTORATION (ECRR). **Rivers by Design, rethinking development and river restoration: a guide for planners, developers, architects and landscape architects on maximising the benefits of river restoration**. Environment Agency. Bristol, p. 44. 2013.

FELS, E. Nochmals: Anthropogene Geomorphologie. **Petermanns Geographische Mitteilungen**, 109, 1965. 9-15.

FINKENBINE, J. K.; ATWATER, J. W.; MAVINIC, D. S. Stream health after urbanization. **Jour. Am. Water Resour. Assoc.**, 2000. 1149-1160.

FITTIPALDI, F. C. Primeira ocorrência de briófitas na Bacia de São Paulo (Cenozóico). **Revista do Instituto Geológico**, 23, n. 2, 2002. 19-22.

FITTIPALDI, F. C.; SIMÕES, M. G. **Estado atual do conhecimento sobre a Paleontologia da Bacia de São Paulo**. Coletânea de comunicações do Workshop Geologia da Bacia de São Paulo. São Paulo: IGc-USP; SBG. 1989. p. 37-34.

FIX, M. A. Fórmula Mágica da Parceria Público-Privada: Operações Urbanas em São Paulo. **Urbanismo: Dossiê São Paulo**, Rio de Janeiro, Campinas. PUCCAMP, PROURB, p. 185-198, 2004.

FIX, M. A. **São Paulo cidade global: fundamentos financeiros de uma miragem**. São Paulo: Boitempo editorial, 2007. 192 p.

FIX, M. A. Uma ponte para a especulação: ou a arte da renda na montagem de uma “cidade global”. **Caderno CRH**, Salvador, 22, 2009. 41-64.

FLORSHEIM, J. L.; MOUNT, J. F. Changes in lowland floodplain sedimentation processes: pre-disturbance to post-rehabilitation, Consumes River, CA. **Geomorphology**, 56, 2003. 305-323.

FOLHA DE SÃO PAULO. Acúmulo de detritos faz surgir ilhas de areia e sujeira no rio Pinheiros, 16 jul. 2014. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/07/1486583-acumulo-de-detritos-faz-surgir-ilhas-de-areia-e-sujeira-no-rio-pinheiros.shtml>. Acesso em: 17 jul. 2014.

FRYIRS, K. Guiding principles for assessing geomorphic river condition: application of a framework in the Bega catchment, South Coast, New South Wales, Australia. **Catena**, 53, n. 1, 2003. 17–52.

FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (FUSP). **Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Relatório Final**. Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. São Paulo, 4v., p. 271. 2009.

GAGE, M. The Tempo of Geomorphic Change. **Journal of Geology**, 1970. 619-625.

GALLO, R.; GERARQUE, E. Condomínios descartam água de lençol freático na rua. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 08 abr. 2012. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2012/08/1130166-condominios-descartam-agua-de-lencol-freatico-na-rua.shtml>. Acesso em 06 ago. 2014.

GALSTER, J. C.; PAZZAGLIA, F. J.; GERMANOSKI, D. Measuring the Impact of Urbanization on Channel Widths Using Historic Aerial Photographs and Modern Surveys. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)**, 44, n. 4, 2008. 948–960.

GOUDIE, A. Human influence in geomorphology. **Geomorphology**, v. 7, n. 1, p. 37-59, 1993.

GOUDIE, A. **Encyclopedia of Geomorphology**. London e New York: Taylor & Francis. 2ª. ed. London e New York: Taylor & Francis e-library, 2006. 1156 p.

GOUDIE, A. S. **The Human Impact: man's role in environmental change**. Oxford: Basil Blackwell, 1981. 316 p.

GOUDIE, A.; VILES, H. A. **The Earth Transformed: An Introduction to Human Impacts on the Environment**. Oxford: Blackwell, 1997. 288 p.

GRAF, W. L. The impact of suburbanization on fluvial geomorphology. **Water Resources Research**, 11, n. 5, 1975. 690–692.

GRAF, W. L. Locational probability for a Dammed Urbanizing stream: Salt River, Arizona, USA. **Environmental Management**, 25, n. 3, 2000. 321-335.

GREENWOOD, E. F. (Ed.). **Ecology and Landscape Development: a history of the Mersey Basin**. P. Conf. Merseyside Marit. Mus. Liverpool: University of Liverpool Press, 1996. 256 p.

GREGORY, K. J. The context of river changes. In: GREGORY, K. J. **River Channel Change**. Chichester: Wiley, 1977. p. 1-12.

GREGORY, K. J. **The nature of Physical Geography**. London: Edward Arnold, 1985a. 259 p.

- GREGORY, K. J. The impact of river channelization. **Geographical Journal**, 151, 1985b. 53-74.
- GREGORY, K. J. River channels. In: GREGORY, K. J.; WALLING, D. E. **Human activity and environmental processes**. Chichester e New York: Wiley, 1987. p. 207-235.
- GREGORY, K. J. Urban channel adjustments in a management context: An Australian example. **Environmental Management**, 29, n. 5, 2002. 620-633.
- GREGORY, K. J. The human role in changing river channels. **Geomorphology**, v. 79, n. 3-4, p. 172-191, 2006.
- GREGORY, K. J.; DAVIS, R. J.; DOWNS, P. W. Identification of river channel change to due to urbanization. **Applied Geography**, v. 12, n. 4, p. 299-318, 1992.
- GREGORY, K. J.; WALLING, D. E. **Human activity and environmental processes**. Chichester and New York: Wiley, 1987. 466 p.
- GROVE, J. M.; BURCH, W. R. J. A social ecology approach and applications to urban ecosystem and landscape analyses: a case study of Baltimore, Maryland. **Urban Ecosyst.**, 1997. 259–75.
- GRUPO HÍMECO (HISTÓRIA, MAPAS E COMPUTADORES). **Mapa temático da suposta área alagada na enchente de 1929**. Departamento de História da UNIFESP e do Arquivo Público do Estado de São Paulo. São Paulo. (Material consultado em site na internet). Disponibilizado em <http://www.unifesp.br/himaco/#>. Acesso em 27 ago. 2014.
- GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1980. 446 p.
- GUPTA, A. Geoindicators for tropical urbanization. **Environmental Geology**, 42, n. 7, 2002. 736-742.
- GUPTA, A.; AHMAD, R. Geomorphology and the urban tropics: building an interface between research and usage. **Geomorphology**, 31, 1999. 133-149.
- GURNELL, A. M.; PEIRY, J.-L.; PETTS, G. E. Using Historical Data in Fluvial Geomorphology. In: KONDOLF, G. M.; PIÉGAY, H. **Tools in Fluvial Geomorphology**. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2003. p. 77-101.
- HACK, J. T.; GOODLETT, J. C. Geomorphology and forest ecology of a mountain region in the Central Appalachians. **U. S. Geol. Survey Prof. Paper**, 347, 1960. 1-66.
- HAMMER, T. R. Stream channel enlargement due to urbanization. **Water Resources Research**, 8, n. 6, 1972. 1530–1540.
- HART, M. G. **Geomorphology pure and applied**. London: George Allen & Unwin, 1986. 228 p.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. The Ribeira folded belt. **Revista Brasileira de Geociências**, 5, 1975. 257-266.
- HASUI, Y.; SADOWSKY, G. R. Evolução geológica do precambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, 6, 1976. 182-200.

HAYDEN, R. S. Geomorphological Mapping. In: SHORT, N. M.; BLAIR JR., R. W. **Geomorphology from space. A global overview of regional landforms**. Washington DC: NASA, 1986. p. 637-656. Disponível em http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/geomorphology/GEO_11. Acesso em 28 nov. 2012.

HEPNER, A. **Desenho urbano, capital e ideologia em São Paulo: Centralidade e forma urbana na marginal do Rio Pinheiros**. 322 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) - USP. São Paulo. 2010.

HESSION, W. C. et al. Influence of bank vegetation on channel morphology in rural and urban watersheds. **Geology**, 2, 2003. 147–150.

HOCKIN, D. L. Channelization: Some Engineering Aspects. **The Geographical Journal**, 151, n. 1, 1985. 54-57. Publicado por: The Royal Geographical Society (com o Institute of British Geographers), Disponível em <http://www.jstor.org/stable/633278>.

HOCKIN, D. L.; WHITTLE, I. R.; BAILEY, R. A. Managing and Engineering Rivers for the Benefit of Man. **Water and Environment Journal**, v. 2, p. 151-158, 1978.

HOOKE, J. M. Changes in river meanders: a review of techniques and results of analyses. **Progress in Physical Geography**, v. 8, n. 4, 1984. 473–508.

HOOKE, J. M.; KAIN, R. J. P. **Historical change in the physical environment: a guide to sources and techniques**. London: Butterworth Scientific, 1982. 236 p.

HOOKE, R. L. On the history of humans as geomorphic agents. **Geology**, v. 28, n. 9, p. 843-846, 2000.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, G. E. C. A. (. **Edições e Observações de Superfície Efetuadas na Estação Meteorológica**. São Paulo: Seção Técnica de Serviços Meteorológicos, Universidade de São Paulo, v. 16, 2013.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS (IAG). **Edições e Observações de Superfície Efetuadas na Estação Meteorológica**. São Paulo: Seção Técnica de Serviços Meteorológicos, Universidade de São Paulo, v. 9, 2005.

IZIDORO, A. Alckmin culpa chuva excepcional e anuncia obras futuras contra enchentes. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 11 jan. 2011. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2011/01/858910-alckmin-culpa-chuva-excepcional-e-anuncia-obras-futuras-contr-enchentes.shtml>. Acesso em: 09 mai. 2014.

JUNQUEIRA, C. B. Camadas cruzadas de areias, gravas e cascalhos fluviais do Vale do Rio Pinheiros (“Campus” da Cidade Universitária, S.P): Notas Prévias. **Geomorfologia**, IGEOG – USP, São Paulo, 10, 1969. 7-9.

KAYO, A. **Impactos gerados pela ocupação no leito antigo do Rio Pinheiros em áreas de Operações Urbanas Consorciadas Faria Lima e Águas Espraiadas**. 154f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). São Paulo. 2013.

KESEL, R. H. Human modifications to the sediment regime of the lower Mississippi River floodplain. **Geomorphology**, 56, 2003. 325-334.

- KLIMASZEWSKI, M. Detailed geomorphological maps. **ITC Journal**, p. 265-271, 1982.
- KLINK, H. J. Geoecologia e regionalização natural: bases para a pesquisa ambiental. **Cadernos Biogeografia**, IGEOG-USP, São Paulo, 17, 1981. 1-32.
- KNIGHTON, D. **Fluvial forms and processes: a new perspective**. London, New York: Arnold, 1998. 383 p.
- KOHLER, H. C. A Escala na Análise Geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 3, p. 21-31, 2002.
- LAWSON, N.; LINDLEY, S. A deeper understanding of climate induced risk to urban infrastructure: case studies of past events in Greater Manchester. **North West Geography**, 8, 2008. 4-18.
- LEGGET, R. F. **Cities and Geology**. New York: McGraw-Hill, 1973. 624 p.
- LEITE, F.; VENCESLAU, P. Seca atual só ocorre a cada 3.378 anos. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 13 mai. 2014. Disponível em: <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,seca-atual-so-ocorre-a-cada-3378-anos,1165826>. Acesso em: 26 ago. 2014.
- LEOPOLD, L. B. River channel change with time: an example. **Geological Society of America Bulletin**, 84, n. 6, 1973. 1845-1860.
- LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial processes in Geomorphology**. São Francisco: W. F. Freeman and Co., 1964. 522 p.
- LIMA, C. R. **Urbanização e intervenções no meio-físico na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo: uma abordagem geomorfológica**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 1990.
- LIMA, E. C. D. **O levantamento pioneiro da Sara Brasil: histórico, tecnologia empregada e avaliação dos produtos**. 197 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica - USP. São Paulo. 2013.
- LIMA, M. R.; MELO, M. S.; COIMBRA, A. M. Palinologia de sedimentos da bacia de São Paulo, Terciário do Estado de São Paulo, Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, 2, n. 1, 1991. 17-20.
- LINDH, G. Urbanization: a hydrological headache. **Ambio**, 1, n. 6, 1972. 185-201.
- LUCAS, L. M.; CUNHA, S. B. Rede de drenagem urbana em area tropical: mudanças na morfologia do canal e níveis de poluição das águas, rio dos Macacos, Rio de Janeiro, RJ. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, 22, 2007. 39-64.
- LUZ, R. A. **Geomorfologia da Planície Fluvial do Rio Pinheiros entre os Bairros de Pinheiros, Butantã e Cidade Jardim, São Paulo (SP)**. 115f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia - FFLCH – USP. São Paulo. 2010.
- LUZ, R. A.; RODRIGUES, C. Reconstituição geomorfológica de planícies fluviais urbanizadas: o caso do rio Pinheiros, São Paulo-SP. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 14, 2013. 47-57.
- MACHADO, R. P. P. **Sobreposição da cartografia digital vetorial às cartas e mapas históricos da Cidade de São Paulo**. Anais do 3º Simpósio

Iberoamericano de História da Cartografia: Agendas para a História da Cartografia Iberoamericana. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2010.

MAFFEI, R. A Light e o controle das enchentes. **Revista História & Energia**, Dep. de Patrimônio Histórico da Eletropaulo. São Paulo, 1995. 72-85.

MANCHESTER CITY COUNCIL. **Local Flood Risk Management Strategy**. Manchester City Council. Manchester, p. 73. 2014.

MANCHESTER CITY, SALFORD CITY AND TRAFFORD COUNCILS. **Manchester City, Salford City and Trafford Councils Level 2 Hybrid Strategic Flood Risk Assessment (SFRA): Level 1 SFRA, Final, March 2010**. JBA Consulting. Manchester, p. 36. 2010.

MANGELSDORF, J.; SCHEURMANN, K.; WEIB, F. H. **River Morphology: a guide for geoscientists and engineers**. Berlin: Springer, 1990. 243 p.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 23-50.

MELO, M. S. et al. **Datações C14 de sedimentos quaternários da Grande São Paulo**. Anais do 1º Congresso da ABEQUA, Porto Alegre. Porto Alegre: UFRGS. 1987. p. 427-436.

MELO, M. S.; COIMBRA, A. M.; RICCOMINI, C. **Evolução do conhecimento sobre a Geologia da Bacia de São Paulo na década de oitenta**. Coletânea das comunicações do Workshop "Geologia da Bacia de São Paulo", São Paulo. São Paulo: Instituto de Geociências (IGC)- USP, SBG. 1989. p. 1-11.

MELO, M. S.; PONÇANO, W. L. **Gênese e distribuição geográfica dos depósitos cenozóicos do Estado de São Paulo**. Monografias 9, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1983. 74 p.

MELO, M. S.; VINCENS, A.; TUCHOLKA, P. **Contribuição à cronologia da Formação Itaquaquecetuba - SP**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. [S.l.]: [s.n.]. 1985. p. 175-181.

MESCERJAKOV, J. P. Les concepts de morphostructure et de morphosculpture: un nouvel instrument de l'analyse géomorphologique. **Annales de Géographie**, Paris, v. 77, p. 539-552, 1968.

MIALL, S. A. **The Geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology**. New York, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. 582 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Como anda São Paulo**. Cunha, E. M. P. e Pedreira, R. S. (org.), Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 328 p.

MONTEIRO JR., L. **Infraestruturas urbanas: uma contribuição ao estudo da drenagem em São paulo**. 294 f. Dissertação (Mestrado em Planjemaneto Urbano e Regional). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) - USP. São Paulo. 2011.

MONTEIRO, P. R. **São Paulo no centro das marginais: a imagem paulista refletida nos rios pinheiros e tietê**. 193 f. Tese (Doutorado em Design e Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) - USP. São Paulo. 2010.

MONTGOMERY, D. R.; MACDONALD, L. H. Diagnostic approach to stream channel assessment and monitoring. **Journal of the American Water Resources Association**, 38, 2002. 1–16.

MORISAWA, M. **Rivers: form and processes**. London and New York: Longman, 1985. 222 p.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. 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**. 366 f + anexos. Tese (Doutorado em Geografia Física). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2010.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C.; RODRIGUES, C. **Geomorfologia Urbana Histórica: uso da historiografia, iconografia, cartografia antiga e toponímia em estudo geomorfológico retrospectivo aplicado à bacia hidrográfica do Rio Tamanduateí, na região metropolitana de São Paulo**. Anais do IX Simpósio Nacional de Geomorfologia. Rio de Janeiro, 2012: União de Geomorfologia Brasileira (UGB). 2012. CD-ROM.

NANSON, G. C. Point bar and floodplain formation of the meandering Beatton River, northeastern British Columbia, Canada. **Sedimentology**, 27, 1980. 3-29.

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

NANSON, G. C.; YOUNG, R. W. Downstream reduction of rural channel size with contrasting urban effects in small coastal streams of Southeastern Australia. **Journal of Hydrology**, 52, 1981. 239-255.

NEWSON, M. D. et al. Case studies in the application of geomorphology to river management. In: THORNE, C. R.; HEY, R. D. & N. M. D. **Applied Fluvial Geomorphology for river engineering and management**. Chichester: Wiley, 1997. p. 311-361.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent: an introduction to Anthropogenic Geomorphology**. Boston, Jerusalem: D. Reidel publishing Co., Keter publishing, 1983. 165 p.

OKEKE, F. I. Review of Digital Image Orthorectification Techniques. **Gisdevelopment**, Image Processing, 2006. Disponível em: http://www.gisdevelopment.net/technology/ip/fio_1.htm. Acesso em 03 fev. 2010.

OLIVEIRA, A. M. S. **Depósitos tecnogênicos associados à erosão atual**. Anais do 6º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Salvador. São Paulo: ABGE. 1990. p. 411-415.

OSEKI, J. H. A fluvialidade do rio Pinheiros. **Revista de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, São Paulo. Comissão de Pós-graduação - FAU - USP, 8, 2000. 168-177.

OSTERKAMP, W. R. **Annotated Definitions of Selected Geomorphic Terms and Related Terms of Hydrology, Sedimentology, Soil Science and Ecology**. Reston, Virginia: Open File Report, 2008. 49 p.

PARK, C. C. Man-induced changes in stream channel capacity. In: GREGORY, K. J. **River Channel Change**. Chichester: Wiley, 1977. p. 121-144.

PAROLIN, T. **Ensaio de Reconstituição Morfológica e Fitogeográfica de Detalhe na Área do Parque Villas Boas, em São Paulo**. Trabalho de Graduação Individual (Bacharelado em Geografia). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2009.

PELOGGIA, A. U. G. A ação do homem enquanto ponto fundamental da geologia do tecnógeno: proposição teórica básica e discussão acerca do caso do município de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 257-268, 1997.

PENA, D. Despoluir o Pinheiros, tarefa de gerações. **Folha de São Paulo**, Tendências/Debates. São Paulo, 20 mar. 2008. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniaofz2003200808.htm>. Acesso em: 28 abr. 2014.

PEREIRA FILHO, A. J. et al. Impactos Antrópicos no Clima da Região Metropolitana de São Paulo. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, 30, 2007. 48-56.

PETRONE, P. (ORG.). **Pinheiros: aspectos geográficos de um bairro paulistano**. São Paulo: (Relatório do Curso de Orientação para a Pesquisa) Ed. da Universidade de São Paulo, 1963. 196 p.

PETTS, G. E.; MOLLER, H.; ROUX, A. L. (Eds.). **Historical change of large alluvial rivers in Western Europe**. Chichester: Wiley, 1989. 350 p.

PIZZUTO, J. E.; HESSION, W. C.; MCBRIDE, M. Comparing gravel-bed rivers in paired urban and rural catchments of southeastern Pennsylvania. **Geology**, 28, n. 1, 2000. 79–82.

PONTES, J. A. O. V. Pinheiros: do rio ao canal. **Revista História & Energia**, Dep. de Patrimônio Histórico da Eletropaulo, São Paulo, 1995. 15-29.

PORTO, R. et al. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Edusp e Ed. da Universidade da UFRGS, ABRH, 1993. p. 805-847.

PRICE, S. J. et al. Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground in Great Britain. **Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences**, v. 369, n. 1938, p. 1056-1084, 2011.

RIBEIRO, R.; ZANCHETTA, D. Empreendimentos ameaçam emparedar Parque Burle Marx e cortar 5 mil árvores. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 09 mar. 2014. Disponível em: <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,empreendimentos-ameacam-emparedar-parque-burle-marx-e-cortar-5-mil-arvores-imp-,1138788>. Acesso em 17 jul. 2014.

RICCOMINI, C.; COIMBRA, A. M.; TAKIYA, H. Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo. In: SBG; ABAS; ABGE **Problemas geológico e geotécnicos na Região de São Paulo**. São Paulo: SBG; ABAS; ABGE, 1992. p. 21-45.

RICCOMINI, C.; SANTA'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V., et al. **Geologia do continente Sul-americano: Evolução da obra de Fernando Flavio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 383-405.

RICHARDS, K. **Rivers: Form and process in alluvial channels**. London: Methuen & Co. Ltd., 1985. 358 p.

RICHARDS, K. S.; WOOD, R. Urbanization, water redistribution, and their effect on channel processes. In: GREGORY, K. J. **River Channel Change**. Chichester: Wiley, 1977. p. 369-388.

RIO DE JANEIRO (ESTADO). **Revitalização de rios: orientação técnica**. Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMADS). Rio de Janeiro. 2001. Projeto Planagua Semads GTZ de cooperação técnica Brasil/Alemanha.

RODRIGUES, C. **Geomorfologia aplicada: avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiro**. 279 f. Tese (Doutorado em Geografia Física). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 1997a.

RODRIGUES, C. Qualidade ambiental urbana: como avaliar? **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 11, 1997b. 135-150.

RODRIGUES, C. **On antropogeomorphology**. Anais da Regional Conference on Geomorphology. Rio de Janeiro: [s.n.]. 1999. p. 100-110.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 2001a. 69-77.

RODRIGUES, C. Documentos geográficos: arquivos de fotos aéreas como opção de pesquisa. **Memória e Energia**, 28, 2001b. 26-41.

RODRIGUES, C. A urbanização da metrópole sob a perspectiva da geomorfologia: tributo a leituras geográficas. In: CARLOS, A. F. A.; OLIVEIRA, A. U. D. **Geografias de São Paulo: representação e crise da metrópole**. São Paulo: Contexto, 2004. p. 89-114.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: Exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 17, 2005. 101-111.

RODRIGUES, C. **Guia de Excursão VI SINAGEO: Sistemas geomorfológicos e o impacto da urbanização na metrópole de São Paulo**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia. 2006.

RODRIGUES, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos: Desenvolvimento e aplicação de metodologia na Grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 20, 2010. 111-125.

RODRIGUES, C. et al. **Plano de manejo da APA Várzea do Rio Tietê: diagnóstico do meio físico, sub-módulo recursos hídricos**. Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH-USP); Fundação Florestal (Governo do Estado de São Paulo). São Paulo, p. 142. 2012.

RODRIGUES, C.; GOUDIE, A. Historical Urban Geomorphology and assessment of human impact in physical systems: the case of Metropolitan Region of Sao Paulo. **Progress in Physical Geography**, no prelo.

RODRIGUES, F. M. G. **Análise da evolução das transformações no Rio Pinheiros e das políticas ambientais associadas, São Paulo - SP.** 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2012.

RODRIGUES, R.; COLTRINARI, L. **Geoindicators of urbanization effects in humid tropical environment:** São Paulo (Brazil) Metropolitan Area. 32^o International Geological Congress. Florença: [s.n.]. 2004. p. 976.

RODRIGUES, S. C. Cartografia e simbologia geomorfológica: evoluindo da cartografia tradicional para o uso de simbologia digital. Nota técnica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 10, n. 2, 2009. 107-114.

ROSS, J. L. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 8, 1994. 63-74.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo: DG-FFLCH-USP, v. 6, p. 17-29, 1992.

SABESP. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Seminário - Arco Tietê.** Apresentação de slides arquivada no site da Prefeitura de São Paulo. São Paulo. 2013. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urban o/arquivos/arco-tiete/Sabesp-Seminario-ArcoTiete-20130409.pdf. Acesso em: 23 jun. 2014.

SALFORD CITY COUNCIL. **Broughton, Lower Kersal and Chalestown flood response plan Version 1.0 (Final Draft).** Salford City Council, Emergency Planning Unit. Salford. 2007.

SANTANA, C. L. **Geomorfologia da planície fluvial do rio Ribeira de Iguape entre Sete Barras e Eldorado (SP): subsídios ao planejamento físico-territorial de áreas inundáveis.** 288f + Mapas. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2008.

SANTOS, D. et al. Palinoestratigrafia da Formação Itaquaquetuba. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 13, n. 3, p. 205-220, 2010.

SANTOS, E. O. Tietê, o rio de São Paulo. In: AZEVEDO, A. **A Cidade de São Paulo.** São Paulo: Companhia Editora Nacional, v. 1, 1958. p. 45-66.

SÃO PAULO (MUNICÍPIO). **Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo (PMAPSP).** Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU); Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH-USP). [S.l.]. 2012. Disponível em: <http://www.aguaspluviais.inf.br/mapas.aspx?id=1>. Acesso em: 10 jun. 2014.

SÃO PAULO (PREFEITURA). **Projeto de lei nº 688 de 2013. Aprova o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo.** Câmara Municipal de São Paulo. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU) (Prefeitura de São Paulo). São Paulo. 2013. Disponível em: <http://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/projeto-de-lei-com-links/>. Acesso em: 27 ago. 2014.

SARA BRASIL S/A. **Mappa Topographico do Município de São Paulo.** Instituto Geográfico de Agostini. Roma. 1930. (Folha III), Escala 1:20.000.

SAVIGEAR, R. A. G. A technique of morphological mapping. **Annals of the Association of American Geographers**, 55, 1965. 514 – 538.

SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. New York: Wiley, 1977. 338 p.

SCOTTISH EXECUTIVE ENVIRONMENT GROUP RESEARCH. **Natural Flood Storage and Extreme Flood Events: Final Report**. JBA Consulting. Edinburgh, p. 74. 2005.

SEABRA, O. C. D. L. **Os meandros dos rios nos meandros do poder, Tietê e Pinheiros: valorização dos rios e das várzeas na cidade de São Paulo**. 323f. Tese (Doutorado em Geografia Humana). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 1987.

SEABRA, O. C. D. L. Enchentes em São Paulo: Culpa da Light? **Revista História & Energia**, Dep. de Patrimônio Histórico da Eletropaulo, São Paulo, 1995. 64 - 71.

SEAR, D. A.; NEWSON, M. D.; BROOKES, A. Sediment related river maintenance: the role of fluvial geomorphology. **Earth surface processes and landforms**, 20, n. 7, 1995. 629-647.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Pomar Urbano: uma história de sucesso**. Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 32. 2011.

SILVA, J. P. **Expansão urbana e evolução geomorfológica em remansos de reservatórios: análise comparativa de duas bacias hidrográficas em Guarapiranga, São Paulo**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia – FFLCH – USP. São Paulo. 2005.

SIMON, A.; DOWNS, P. W. An interdisciplinary approach to evaluation of potential instability in alluvial channel. **Geomorphology**, 12, 1995. 215-232.

SOTCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. **Cadernos Biogeografia**, IGEOG-USP, São Paulo, 14, 1978. 1-24.

SUGUIO, K. **Estudo dos troncos de árvores “linhitificados” dos aluviões antigos do rio Pinheiros (SP): significados geocronológico e possivelmente paleoclimático**. Anais do 25º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. São paulo: Sociedade Brasileira de Geologia. 1971. p. 63-69.

SUGUIO, K. Síntese dos conhecimentos sobre a sedimentação na Bacia de São Paulo. In: ABGE; SBG **Aspectos geológicos e geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo (Mesa redonda)**. São Paulo: Publicação especial: ABGE; SBG, 1980. p. 25-31.

SUGUIO, K. et al. Provável Significado Geológico de Idades LOE (Luminescência Opticamente Estimada) da Formação Itaquaquetuba, SP. **Revista do Instituto de Geociências**, Geologia USP, Série Científica, São Paulo, 10, n. 3, 2010. 49-56.

SZABÓ, J.; DÁVID, L.; LÓCZY, D. (Eds.). **Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-Made Landforms**. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2010. 250 p.

TAKIYA, H. **Estudo de Sedimentação Neogênico Quaternário no Município de São Paulo: Caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia**

urbana. 152 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar). Instituto de Geociências (IGc) – USP. São Paulo. 1997.

TARIFA, J. R.; ARMANI, G. Os climas "Naturais". In: TARIFA, J. R.; AZEVEDO, T. R. **Os climas da cidade de São Paulo: Teoria e prática.** São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura e Extensão - USP, Laboratório de Climatologia, DGEO-FFLCH-USP, 2001. p. 34-46. (GEOUSP - Coleção Novos Caminhos, 4).

THORNE, C. R.; ALLEN, R. G.; SIMON, A. Geomorphological river channel reconnaissance for rivers analysis, engineering and management. **Transactions of the Institute of British Geographers**, 21, n. 3, 1996. 469-483.

TOY, T. J.; HADLEY, R. F. **Geomorphology and reclamation of disturbed lands.** Orlando: Academic press Inc., 1987. 480 p.

TRAVASSOS, L. R. F. C. **Novos paradigmas para a intervenção em fundos de vale urbanos na cidade de São Paulo.** 243f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM) - Universidade de São paulo (USP). São Paulo. 2010.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie.** Paris: Masson et Cie., 1965. 469 p.

TRICART, J. Os tipos de leitos fluviais. **Notícia geomorfológica**, Campinas, 11, 1966. 41-49.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 97 p.

TRICART, J.; KIEWIETDEJONGE, C. **Ecogeography and rural management: a contribution to the International Geosphere-Biosphere Programme.** New York: Longman Scientific & Technical, 1992. 267 p.

TRIMBLE, A. W. The use of historical data and artifacts in geomorphology. **Progress in Physical Geography**, 32, 2008. 3-29.

TRIMBLE, S. W. Contribution of Stream Channel Erosion to Sediment Yield from an Urbanizing Watershed. **Science**, 278, n. 5342, 1997. 1442-1444.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Edusp, 1993. p. 621-658.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **INUNDAÇÕES URBANAS NA AMÉRICA DO SUL.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. p. 11-44.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 150 p.

TURNER, B. L. et al. Two types of global environmental change: definitional and spatial – scale issues in their human dimensions. **Global Environmental Change**, 1, n. 1, 1990. 14-22.

VAN ZUIDAM, R. A. Considerations on systematic medium scale geomorphological mapping. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, Berlin-Stuttgart, 26, n. 4, 1982. 473-480.

VARGAS, M. **Os solos da cidade de São Paulo.** Artigo técnico nº 17, São Paulo: ABGE, 2002. 103 p.

VAUGHAN, I. P. et al. Integrating Ecology with Hydromorphology: A Priority for River Science and Management. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, Viewpoint**, 19, n. 1, 2009. 113–125.

VERSTAPPEN, H. T. **Applied geomorphology**: geomorphological surveys for environmental development. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1983. 473 p.

VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. Mudanças na rede de drenagem urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 111-145.

WALKER, R. G. **Facies models**. 5ª. ed. Hamilton and Ontario: Geological Association of Canada Ed., 1983. 211 p.

WALLING, D. E.; GREGORY, K. J. The measurement of the effects of building construction on drainage basin dynamics. **Journal of Hydrology**, 11, n. 2, 1970.

WHALLEY, W. B. **Properties of materials and geomorphological explanation**. Oxford: University press, 1976. 60 p.

WHALLEY, W. B. Part three: material properties. In: GOUDIE, A. **Geomorphological techniques**. 2ª. ed. London: Unwin Hyman, 1990. p. 111-223.

WHARTON, G. The channel geometry method: guidelines and applications. **Earth surface processes and landforms**, 20, 1995. 649-660.

WHARTON, G. et al. River discharge estimated from channel dimensions. **Journal of Hydrology**, 106, 1989. 365-376.

WOLMAN, M. G. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. **Geografiska Annaler**, 49A, 1967. 385–395.

WOLMAN, M. G.; SCHICK, A. P. Effects of construction on fluvial sediment. **Water Resources Research**, 3, 1967. 451–462.

ZALASIEWICZ, J. et al. Are we now living in the Anthropocene. **GSA Today**, v. 18, n. 2, p. 4-8, 2008.

ZALASIEWICZ, J. et al. Stratigraphy of the Anthropocene. **Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences**, v. 369, n. 1938, p. 1036-1055, 2011.

ZONNEVELD, I. S. The land unit: A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape Ecology**, 3, 1989. 67-86.

VÍDEOS CONSULTADOS:

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) (2009): **Relatório sobre o acidente na Estação Pinheiros do Metrô de São Paulo**. 7 vídeos, visualizados em 03 dec. 2013.

- 1 - <http://www.youtube.com/watch?v=e9V6P2Qs0so>;
- 2 - <http://www.youtube.com/watch?v=YKowYfw7pCs>;
- 3 - <http://www.youtube.com/watch?v=Jx9JJLKnVIY>;
- 4 - <http://www.youtube.com/watch?v=FzueTwXkc8>;
- 5 - <http://www.youtube.com/watch?v=zVeyronVrOY>;

- 6 - <http://www.youtube.com/watch?v=muHx2Nsa3mY>;
 7 - <http://www.youtube.com/watch?v=BNBuKR5hUlw>.

CARTOGRAFIA E BASES DIGITAIS:

EMPLASA. EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. **Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo. EMPLASA. Folha: São Paulo. escala: 1:50.000. São Paulo, 1984.

EMPLASA. EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. **Mapa da Área Urbanizada da RMSP**. (Sistema Cartográfico Metropolitano), São Paulo, 1972/74. Escala 1:2.000.

EMPLASA. EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. **Mapa da Região Metropolitana de São Paulo**. (Sistema Cartográfico Metropolitano), São Paulo, 1972/74/80/81. Escala 1:10.000.

EMPLASA. EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. **Mapa da Região Metropolitana de São Paulo**. (Sistema Cartográfico Metropolitano), São Paulo, 1974/80/81. Escala 1:25.000.

EMPLASA. EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. **Uso e Ocupação do Solo da Região Metropolitana de São Paulo e Bacia Hidrográfica do Alto Tietê**. São Paulo, 2005. Escala 1:25.000.

IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A.). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**: Escala 1:500.000. Série Monografias nº6. São Paulo. 1981a. 125p.

IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A.). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**: Escala 1:1.000.000. São Paulo: Publicação IPT, Série Monografias, nº5, 1981b. 94p.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**: Escala 1:500.000. Mapas e Relatório. São Paulo: Lab. de Geomorfologia Depto. Geografia – FFLCH – USP / Lab. de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT / FAPESP, Volume I, 1997. 64 p.

SÃO PAULO (Município). **Atlas Ambiental do Município de São Paulo**: Mapa Geológico. In: O meio físico e a ocupação humana. SVMA-SEMPA, São Paulo, 2002. Disponível em <<http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/?id=13>>. Acesso em 19 jul 2007.

SÃO PAULO (Município). **Mapa Digital da Cidade**. Vetores MDE [Arquivos CAD dados geoespaciais]. Escala 1:1.000, 2004. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/DU0107_MDC. Acesso em 16 dez. 2013.

SÃO PAULO (Município). **Área urbanizada, segundo períodos de expansão Região Metropolitana de São Paulo**. In: Município em Mapas – Série Pôster: Panorama. SEMPLA, São Paulo, 2007.

SARA BRASIL S/A. **Mappa Topographico do Município de São Paulo**. Roma: Instituto Geográfico de Agostini, (Folha III), 1930. Escala 1:20.000.