

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

RAFAELA CAROLINA PEREIRA CAMPOS

**Intervenções de engenharia e seus efeitos à conectividade geomorfológica do
alto curso do rio Tietê, Região Metropolitana de São Paulo**

São Paulo
2024

RAFAELA CAROLINA PEREIRA CAMPOS

**Intervenções de engenharia e seus efeitos à conectividade geomorfológica do
alto curso do rio Tietê, Região Metropolitana de São Paulo**

Versão Original

Trabalho de Graduação Individual apresentado
à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências
Humanas da Universidade de São Paulo como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geografia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cleide Rodrigues

São Paulo

2024

RESUMO

O conceito de conectividade emerge na Geomorfologia como uma ferramenta analítica dos processos hidrossedimentológicos e da influência da configuração da paisagem nas transferências e retenções de materiais na bacia hidrográfica. A efetiva transmissão hidrológica e sedimentar pelo modelado fluvial possui não apenas variabilidade temporal, como também são reguladas pela presença de descontinuidades naturais e antropogênicas. Nesse contexto, a expansão de áreas urbanas, acentuada na segunda metade do século XX em todo mundo, é composta por um leque de modificações no meio físico que afetam as dinâmicas geomorfológicas e hidrossedimentológicas. Barragens e canalizações integram uma série de obras de engenharia que redesenharam a morfologia dos canais das bacias hidrográficas paulistanas, em um processo centenário de intervenções sobrepostas no sistema fluvial. Considerando a relevância e, em certos casos, a prevalência da agência humana das últimas décadas na gênese do modelado, este trabalho objetivou analisar qualitativamente como intervenções antrópicas associadas à expansão urbana atuam na (des)conectividade do canal do alto curso do rio Tietê (SP). Para isso, partiu-se da abordagem histórica da Geomorfologia Antropogênica, delineando a sequência de obras desenvolvidas e apontando elementos naturais e antrópicos que atuam como ligações e descontinuidades da transmissão de matéria pelo sistema. Assim, tratou-se dos efeitos de obras de engenharia nos aumentos e reduções da conectividade longitudinal do Alto Tietê, assim como as mudanças morfológicas cumulativas em seu percurso principalmente a partir da década de 1940 — intervalo significativo da Grande Aceleração.

Palavras-chave: Geomorfologia Urbana; Rio Tietê; conectividade longitudinal; obras de engenharia; intervenções antrópicas.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.2.1 Central..... | 3 |
| 1.2.2 Específicos..... | 3 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 4 |
| 2.1 GEOMORFOLOGIA FLUVIAL..... | 4 |
| 2.2 GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA..... | 5 |
| 2.2.1 Geomorfologia Urbana..... | 7 |
| 2.3 CONECTIVIDADE EM GEOMORFOLOGIA..... | 8 |
| 2.4 OBRAS DE ENGENHARIA EM CANAL FLUVIAL..... | 10 |
| 2.4.1 Canalização..... | 11 |
| 2.4.2 Barragens e reservatórios..... | 14 |
| 3 METODOLOGIA..... | 15 |
| 4 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA FLUVIAL DO ALTO TIETÊ..... | 19 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 26 |
| 5.1 HISTÓRICO DE PLANOS E INTERVENÇÕES NO CANAL..... | 26 |
| 5.1.1 Comissões, projetos e atores das primeiras propostas..... | 26 |
| 5.1.2 Implementação das canalizações e barragens..... | 37 |
| 5.1.2.1 Retificação e aprofundamento da calha..... | 37 |
| 5.1.2.2 Barragens: Ponte Nova, Penha e Móvel..... | 41 |
| 5.1.3 Planos de Macrodrenagem e a Gestão Integrada do Tietê..... | 43 |
| 5.2 PERDAS E GANHOS DE CONECTIVIDADE LONGITUDINAL..... | 46 |
| 5.2.1 Aspectos geomorfológicos..... | 47 |
| 5.2.2 Efeitos da canalização..... | 50 |
| 5.2.3 Efeitos das barragens..... | 53 |
| 5.2.4 Considerações finais..... | 54 |
| CONCLUSÃO..... | 56 |
| REFERÊNCIAS..... | 58 |

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da história humana, a procura pela sobrevivência e subsistência fez com que os sistemas fluviais e áreas ribeirinhas se tornassem ponto focal da própria história de apropriação de recursos; na atualidade, são também ponto central no debate do Antropoceno (Brown, 2016). Em um longo histórico delineado por Williams *et al.* (2014), argumenta-se que os seres humanos representam um novo estágio da biosfera, cujo papel remontaria às civilizações da Antiguidade. As intervenções estão impressas por modificações de morfologia, materiais de superfície e processos e perpassam assinaturas antropogênicas na estratigrafia de planícies de inundação e lagos, assim como alterações na composição físico-química da água e na própria morfologia. Nisso, o processo de urbanização configura uma das modificações da paisagem natural mais extensamente empreendidas pela humanidade na escala global.

A interseção espacial entre a bacia hidrográfica do Alto Tietê e a Região Metropolitana de São Paulo exprime bem essa relação. Ao longo do século XX, ocorreu na capital paulista uma intensa transformação do meio físico, com a ocupação de áreas de embasamento cristalino e de planícies fluviais, em grande parte, meândricas. Como consequência, vimos um aumento em problemas socioeconômicos associados às enchentes e na produção de sedimentos a partir da apropriação de áreas antes vegetadas (Ab'Saber, 1956; Gouveia, 2010; Oliveira, 1994; Rodrigues *et al.*, 2019).

Dessa forma, uma das mais agudas interferências antrópicas vinculadas à urbanização se deu em compartimentos morfológicos fluviais desta região. Canalizações e barramentos integram uma série de obras de engenharia que redesenharam a morfologia dos canais das bacias hidrográficas paulistanas, em um processo centenário de intervenções sobrepostas no sistema fluvial (Da Luz; Rodrigues, 2015; Gouveia, 2010; Rodrigues, 2004, 2010, 2015; Rodrigues *et al.*, 2019). A diminuição da sinuosidade e o aumento da carga de sedimentos grosseiros no leito compõem alguns dos efeitos da urbanização descritos na literatura científica (Luz, 2015).

Na Geomorfologia, o conceito de conectividade emerge no sentido de demonstrar como a configuração da paisagem afeta a transferência de matéria em sistema (Wohl *et al.*, 2018). Nas condições naturais, as tendências associadas a

processos geomorfológicos de diferentes ordens de frequência e magnitude retratam as transferências entre as vertentes, a planície de inundação e o canal, prenunciando uma descontinuidade na circulação de sedimentos pelo próprio sistema natural em sua evolução (Chorley; Schumm; Sugden, 1985; Wohl *et al.*, 2018) bem como os efeitos buffering que tais sistemas oferecem (Walling, 1983, 1999). Com a antropização de bacias, a chegada ou não desses sedimentos a trechos à jusante — assim como tempo de residência, retrabalhamento, etc. — é influenciada pelas formas e processos hidro-geomorfológicos em grande parte decorrentes da agência humana (Poepl; Keesstra; Maroulis, 2017). Portanto, torna-se elementar a consideração do fator antrópico e sua capacidade em modificar a funcionalidade e a estrutura de sistemas fluviais para avaliar condições que ditam a conectividade nas escalas longitudinal, lateral e vertical.

As propriedades morfométricas do sistema fluvial compõem um leque de aspectos fundamentais e indicadores para o estudo da conectividade, expressando o vínculo entre a morfologia do canal fluvial e a variabilidade espacial da transferência de sedimentos. Nesse sentido, Hooke (2003, p. 92) argumenta que a identificação dessa conectividade na escala longitudinal auxilia na compreensão da "propagação de mudanças, na compreensão da sensibilidade da resposta a perturbações e na evolução a longo prazo do sistema fluvial". Marchi *et al.* (2019) apontam o papel de obras de engenharia na (des)conectividade de canais fluviais e, reconhecendo que estruturas hidráulicas são algumas das intervenções mais executadas no meio urbano, com profundas consequências na dinâmica hidrossedimentológica, Chin (2006), considera que estas denotam aumentos e reduções na conexão entre trechos de um canal ou rede fluvial.

Muitos estudos nos últimos anos, sejam artísticos ou acadêmicos, vêm abordando a questão dos rios “escondidos” na paisagem urbana. Nisso, vemos a importância de debater as consequências sociais e ambientais dos problemas causados pela má gestão de rios antropizados. Considerando a riqueza de obras, documentos e relatos acerca da transformação do Tietê do fim do século XIX até os dias atuais, este estudo busca aproveitá-los para traçar um panorama das intervenções realizadas em seu alto curso e como se refletem na conectividade geomorfológica do canal.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Central

Analisar qualitativamente os efeitos hidrossedimentológicos das intervenções estruturais de engenharia empreendidas no canal do Alto Tietê, no trecho que vai de sua nascente, em Salesópolis, até a soleira no município de Barueri, Estado de São Paulo, a partir do conceito geomorfológico de conectividade fluvial.

1.2.2 Específicos

- I. Levantar fontes de informações históricas sobre obras de engenharia de impacto na conectividade fluvial ao longo do percurso do canal;
- II. Sistematizar, em quadro síntese, a sequência histórico-geográfica destas intervenções de grande porte;
- III. Identificar efeitos potenciais de tais obras estruturais realizadas ao longo deste trecho, focalizando os efeitos em termos de ligações ou descontinuidades geomorfológicas no transporte de materiais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

A bacia hidrográfica destaca-se como uma unidade geomorfológica cujos processos envolvem aspectos morfométricos, geológicos, pedológicos, hidrológicos e de uso e cobertura do solo. Como categoria de análise, é delimitável geograficamente e, a partir de análises morfométricas e de materiais superficiais, seus processos característicos servem à análise da paisagem na perspectiva sistêmica (Chorley, 1969; Leopold; Wolman; Miller, 1995; Zăvoianu, 1985). Fatores exógenos e endógenos atuam de forma conjunta e inter-relacionada na modelagem do relevo, de forma que o clima, a estrutura — perpassando a litologia e a tectônica — e a vegetação são importantes agentes geomorfológicos em bacias hidrográficas (Christofolletti, 1980; Kondolf; Piégay, 2016). Seu caráter tridimensional é, por muitas vezes, negligenciado, ao ser entendida apenas como uma área e não como um volume de materiais líquidos e sólidos, possuindo os canais fluviais, as planícies de inundação e as vertentes como os sub-sistemas por onde ocorrem as entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de matéria e energia (Rodrigues; Adami, 2011; Zăvoianu, 1985).

As interações entre esses subsistemas geram as condições para que ocorram uma série de fluxos e processos fundamentais para a manutenção e evolução da paisagem. Os materiais mobilizados nos informa sobre a natureza da dinâmica fluvial, sendo no meio tropical úmido a água o principal vetor desses materiais, em uma interação que ocorre de diferentes formas no interior e entre os subsistemas (Thomas, 1994).

A transferência de sedimentos entre as vertentes, o canal e a planície de inundação envolve processos geomorfológicos de diferentes ordens de frequência e magnitude, indicando uma descontinuidade na circulação destes pelo sistema (Wohl, 2017). Isso se reflete no tempo de residência dos sedimentos na bacia, com as características morfométricas e hidrodinâmicas ditando a chegada ou não desses materiais a trechos à jusante, podendo ser depositados antes mesmo de chegarem ao canal (Bierman; Montgomery, 2014).

O canal fluvial, podendo ser entendido tanto como um elemento do sistema bacia hidrográfica quanto um sistema próprio, é um grande modelador do relevo e

demonstra o dinamismo da paisagem. Chorley, Schumm e Sugden (1985, p. 278) expressam isso ao afirmar que, dentre todas as feições geomorfológicas, o rio seria o que melhor integra os sistemas de cascata e morfologia, “pois as forças que determinam as dimensões e a morfologia do canal são quase exclusivamente aquelas exercidas pelo fluxo da água”.

O trabalho morfogenético dos rios abarca processos erosivos, deposicionais e de transporte, em que o curso desse fluxo canalizado, composto por matéria líquida e sólida, passa por adaptações para transportar a carga de sedimentos de acordo com a sua vazão. Esses aspectos da dinâmica natural e os elementos que compõem os sistemas bacia hidrográfica e canal fluvial, podem e sofrem alterações com o avanço das ações antrópicas. Essas modificações permeiam desde as características dos materiais, a frequência e magnitude de eventos, e a construção ou descaracterização de feições geomorfológicas (Best, 2019; Islam *et al.*, 2022; Luz, 2015; Rodrigues *et al.*, 2019).

2.2 GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA

Ao elencar a compartimentação topográfica, a estrutura superficial e a fisiologia da paisagem como os três níveis de estudo da pesquisa geomorfológica, (Ab'Saber, 1969, p. 2) evidencia, nesta última, a atuação humana frente aos processos morfoclimáticos e pedogênicos contemporâneos, apontando que podem ser condições "irreversíveis em relação ao 'metabolismo' primário do meio natural". Os trabalhos publicados por Brown (1970), Marsh (1864), Sherlock (1922) e Thomas Jr. (1956) refletem essa maior preocupação com mudanças ambientais associadas à humanidade, colocando em pauta a questão acerca da resposta das paisagens a estas perturbações (Goudie, 1993).

Nisso, as sociedades humanas passam a ser entendidas como agentes geomorfológicos ao atuar no retrabalhamento de materiais, transformando as formas e interferindo na frequência e magnitude dos processos. A obra fundamental da Geomorfologia Antropogênica — ou Antropogeomorfologia — desenvolvida por (Nir, 1983) explicita considerações para a leitura geomorfológica de ações antrópicas em diversos contextos. Assim, a par ou até mesmo superando as outras forçantes, a antrópica impõe novas condições aos processos em uma escala temporal

incompatível com o da dinâmica natural, afetando o equilíbrio e a resiliência do sistema às mudanças (Perez Filho; Quaresma, 2012; Szabó; Dávid; Lóczy, 2010).

Nas condições naturais, as tendências associadas a processos geomorfológicos de diferentes ordens de frequência e magnitude retratam as transferências entre as vertentes, a planície de inundação e o canal, prenunciando uma descontinuidade na circulação de sedimentos pelo próprio sistema natural em sua evolução (Chorley; Schumm; Sugden, 1985; Wohl *et al.*, 2018). Com a antropização de bacias, a chegada ou não desses sedimentos a trechos à jusante – assim como tempo de residência, retrabalhamento, etc. – é influenciada pelas formas e processos hidrogeomorfológicos em grande parte decorrentes da agência humana (Poepl; Keesstra; Maroulis, 2017).

Em um contexto mais amplo do reconhecimento das interferências antrópicas na dinâmica do meio físico, Crutzen e Stoermer (2000) iniciaram a disseminação da ideia de Antropoceno, depois melhor definido por Crutzen (2001). Pautado no reconhecimento de uma possível nova época geológica caracterizada pela expressividade global da ação humana, o termo ganhou momentum principalmente com os efeitos mensuráveis da intervenção humana nos meios terrestres, aquáticos e atmosféricos, passando a ser utilizado em pesquisas de geociências (Owens, 2020; Syvitski *et al.*, 2022) quanto das humanidades (Biermann *et al.*, 2012; Palsson *et al.*, 2013). Apesar de encontrar resistência para sua oficialização por parte da comunidade científica, assim como um longo processo de seleção e validação de marcadores e período representativo, o Antropoceno ultrapassou os limites da estratigrafia e tornou-se uma forma de abordar a realidade, reconhecendo a inviabilidade de se desprezar a capacidade construtiva e destrutiva das atividades antrópicas no meio físico. Dessa forma, a popularização do termo instigou um notável avanço nos estudos de mudanças antropogênicas dentro da ciência geomorfológica, perceptível em trabalhos como de Haff (2013), Paschoal, Simon e da Cunha (2015) e Rodrigues *et al.* (2019).

No Antropoceno, o aporte e a retenção de sedimentos configuram algumas das mais notáveis interferências antrópicas no equilíbrio dinâmico da paisagem. Obras de engenharia, como a construção de barragens em cursos fluviais, podem resultar na diminuição da carga sedimentar a jusante e na fragmentação da rede de drenagem devido à retenção desses materiais, que também contribui para a redução da capacidade de seu reservatório (Walling, 2006). Syvitski *et al.*, (2022) reforçam as

mudanças observáveis no ciclo global de sedimentos e seus efeitos nas dinâmicas dos sistemas fluvial e costeiro, embora haja uma escassez de dados acerca da variabilidade de processos sedimentológicos. Isso também é levantado por Best (2019), de que mesmo em uma era de tantos dados e informações, ainda há pouco no que se referente às descargas líquida e sólida de grandes rios, cujo monitoramento é bastante recente, apesar da relevância desse tipo de dados para avaliar mudanças hidrológicas, geomorfológicas e ecológicas.

2.2.1 Geomorfologia Urbana

Nir (1983) apresenta os processos associados à urbanização e interferências em sistemas fluviais como modalidades de mudanças geomorfológicas antropogênicas, de forma similar à categorização delineada por Szabó, Dávid e Lóczy (2010). Neste último, os impactos “urbanogênicos” e de gestão de rios (*river management*) compõem parte do leque de alterações no meio natural provocadas pela ação humana, sendo estes primeiros o objeto de estudo da Geomorfologia Urbana.

A pesquisa em Geomorfologia Urbana surgiu em resposta ao aumento da urbanização na escala global, reconhecendo as limitações do enfoque tradicional de paisagens naturais para tratar dos aspectos geomorfológicos e os desafios ambientais decorrentes desta forma de ocupação humana (Douglas, 1983). Identifica-se que a expansão de áreas urbanas torna-se mais acentuada na segunda metade do século XX nos países tropicais e subtropicais, estes predominantemente de industrialização mais tardia (Gupta, 2002). Nos estudos antropocênicos, esse período coincide com o que é designado como a Grande Aceleração: a mudança aguda nas taxas e magnitude do impacto humano a partir da década de 1950 (Steffen *et al.*, 2015). O desenvolvimento industrial transformou a capital paulista por volta dessa época, em que o meio urbano transborda os limites municipais, produz o que conhecemos hoje como a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e modifica intensamente o meio físico (Batista; Rodrigues, 2002; Da Luz; Rodrigues, 2015; Rodrigues, 2004, 2015; Rodrigues *et al.*, 2019).

A localização no Planalto Paulistano tornou a região atrativa para assentamentos, transporte de pessoas e mercadorias, integrando o interior e o litoral pelas redes ferroviárias e rodoviárias (Aquino, 2012). Em uma confluência de razões

socioeconômicas, políticas e geográficas, São Paulo deixou de ser uma pequena vila localizada na margem esquerda do rio Tietê e se expandiu de forma intensa a partir do final do século XIX. Isso se expressou na expansão urbana sobre as unidades geomorfológicas da RMSP, que até 1929 tinha somente 2,4% da área total das planícies de inundação ocupadas (Rodrigues, 2004). Vantagens econômicas e ocupacionais foram influenciando a apropriação dessas unidades, como o favorecimento das áreas planas à instalação de linhas férreas e a proximidade às olarias que eram fonte de emprego (Monteiro Júnior, 2012).

A ocupação urbana em si e atividades socioeconômicas também são responsáveis por um aporte notável de materiais ao leito. Desde o século XVII, a qualidade da água e o comportamento hidrológico do Tietê já eram impactados pela exploração de ouro e ferro. Os efeitos nas características físico-químicas e o aumento na carga de sedimentos do rio já eram descritos principalmente na região das minas de Mogi das Cruzes, Guarulhos e no centro de São Paulo (FF, 2013, p. 114). Atualmente, isso se dá de diversas maneiras, incluindo o descarte direto e indireto de resíduos sólidos no rio e o material carregado pelas águas quando atingem o leito maior.

2.3 CONECTIVIDADE EM GEOMORFOLOGIA

A busca por arcabouços analíticos que levem em consideração os problemas vinculados ao estudo da dinâmica sedimentológica no meio fluvial levou à emergência do conceito da conectividade entre geomorfólogos nas últimas duas décadas (Wohl *et al.*, 2018). Já consolidado em outras áreas do conhecimento que também adotam a abordagem sistêmica, como a Ecologia (Tischendorf; Fahrig, 2000), o conceito aplicado ao estudo da superfície terrestre é acompanhado de subdivisões e diferentes escalas de análise. Para as formas, voltando-se ao grau de conexão entre os compartimentos da paisagem que compõem o arranjo espacial das fontes, rotas e saídas de material, fala-se em conectividade estrutural; complementarmente, a conectividade funcional aborda como a estrutura interfere nos processos hidro-geomorfológicos, como o transporte de sedimentos e erosão do solo (Najafi *et al.*, 2021; Poepl *et al.*, 2020).

Wohl *et al.* (2018) expressa a conectividade como a eficiência da transferência de materiais entre componentes do sistema e, como aponta Zanandrea

et al. (2020), o termo é geralmente adaptado ao vetor e/ou matéria em questão (hidrológica, de sedimentos ou hidrossedimentológica). Da contribuição da Ecologia à construção do aporte teórico da conectividade, Brierley, Fryirs e Jain (2006) incorporaram as três dimensões espaciais hierárquicas dos ecossistemas lóticos (lateral, vertical e longitudinal), delineadas por Ward (1989), para tratar de diferentes escalas de ligação entre componentes da paisagem na perspectiva hidro-geomorfológica.

Essa construção se reflete no modelo conceitual de Fryirs *et al.* (2007), em que três tipos de impedimentos expressam a (des)conectividade da paisagem: *buffers*, *blankets* e *barriers*. Quando o material já está presente no canal fluvial, as *barriers* interferem em seu movimento longitudinal ao afetarem o nível de base ou perfil, referindo-se às relações montante-jusante e/ou afluente-rio principal. Em contraste, os *boosters* seriam propulsores, impulsinando a propagação e transporte do material, com a atuação dos processos hidrossedimentológicos associados sendo regulada tanto pela variabilidade temporal quanto pela presença de descontinuidades naturais e antropogênicas (Warner, 2006).

Com o amplo desenvolvimento e aprimoramento de formas de análise da conectividade, pesquisas recentes exploram alguns aspectos de interesse de forma mais específica. Michalek, Zarnaghsh e Husic (2021) avaliam a influência da urbanização na erosão e na conectividade de sedimentos em sub-bacias por meio de modelos matemáticos e o índice proposto por Borselli, Cassi e Torri (2008), mas sem considerar as limitações associadas a barreiras antropogênicas. Infraestruturas hidráulicas e suas interferências nas conectividades lateral e longitudinal de sedimentos são apontadas por Marchi *et al.* (2019), atentando-se ao framework de Fryirs *et al.* (2007).

A partir da ideia de barreiras e propulsores na transmissão de materiais, as propriedades morfométricas do sistema fluvial compõem um leque de aspectos fundamentais para o estudo da conectividade, expressando o vínculo entre a morfologia do canal fluvial e a variabilidade espacial da transferência de sedimentos. Nesse sentido, Hooke (2003, p. 92) argumenta que a identificação dessa conectividade na escala longitudinal auxilia na compreensão da "propagação de mudanças, na compreensão da sensibilidade da resposta a perturbações e na evolução a longo prazo do sistema fluvial". Marchi *et al.* (2019) apontam o papel de obras de engenharia na (des)conectividade de canais fluviais e, reconhecendo que

estruturas hidráulicas são algumas das intervenções mais executadas no meio urbano, com profundas consequências na dinâmica hidrossedimentológica, Chin (2006), considera que estas denotam aumentos e reduções na conexão entre trechos de um canal ou rede fluvial.

2.4 OBRAS DE ENGENHARIA EM CANAL FLUVIAL

Na perspectiva antropogeomorfológica, as intervenções antrópicas diretas e indiretas perpassam uma variedade de atividades socioeconômicas tratadas na literatura de forma mais generalizada por Goudie e Viles (2016), Gregory (2006), Islam *et al.* (2022), Nir (1983) e Szabó, Dávid e Lóczy (2010). Como abordado anteriormente, o meio urbano destaca-se como um ambiente concentrador de grandes intervenções antropogênicas, onde a ação humana é percebida nas modificações em processos hidrogeomorfológicos e nas características dos materiais de superfície (Rodrigues, 2004, 2010). No caso de sistemas fluviais em áreas urbanizadas ou em processo de urbanização, os efeitos indesejados da dinâmica natural de cursos d'água podem ter as obras de engenharia como uma forma de controlá-los.

A modificação de canais fluviais expõe o uso de conhecimentos de engenharia na transformação do meio físico, e tornaram-se mais frequentes com as demandas de sociedades cada vez mais urbanas. Os projetos hidráulicos atendem a uma grande variedade de propósitos, como irrigação, geração de energia elétrica e navegação, e permeando medidas de proteção ambiental ou recreação (Chin, 2006). Mesmo que atendam também a algumas dessas finalidades, as obras realizadas no contexto da região metropolitana da capital paulista são predominantemente voltadas ao controle de enchentes e inundações. Especialmente no caso do rio Tietê, predomina a atuação na mitigação de eventos de transbordamento da água do leito fluvial e saneamento básico, com o mesmo sendo observado nos seus principais afluentes (Da Luz; Rodrigues, 2015; Gouveia, 2010; Seabra, 1987).

Abordando as medidas estruturais que visam o controle de enchentes, Tucci (2001) aponta que estas podem ser extensivas (na bacia hidrográfica) ou intensivas (no rio). As inseridas nesta última podem atuar na aceleração, retardamento ou desvio do escoamento; neste primeiro tipo de efeito, destaca-se as canalizações e obras correlatas, enquanto reservatórios e bacias de amortecimento estão

enquadradas no segundo. No âmbito das chamadas medidas não-estruturais, estão ações mais voltadas ao planejamento e gestão urbana, as quais Tucci (*op. cit.*) agrupa em: regulamentação do uso da terra; construções à prova de enchentes; seguros; previsão e alerta.

Como os efeitos das construções de caráter sanitário (rede de abastecimento de água e de esgoto) são destacadamente ecológicos e de qualidade da água, atém-se aqui a duas categorias de obras que afetam diretamente aspectos morfodinâmicos do sistema fluvial e que foram realizadas no rio estudado: a canalização e a construção de barragens.

2.4.1 Canalização

Com o rápido processo de expansão urbana de São Paulo, a cidade que antes era majoritariamente limitada à margem esquerda do rio Tietê passa a ocupar áreas cada vez mais próximas ao canal. Com isso, problemas associados, principalmente, às cheias e as condições sanitárias do rio foram impulsionando a proposição de interferências diretas ao leito do rio, conforme discutido adiante. Tucci (2015, p. 22) aponta que “[a] tendência de controle das cheias urbanas devido à urbanização é que ele seja realizado, na maioria das vezes, através da canalização dos trechos críticos”, como foi o caso do Tietê na RMSP.

Nisso, o ato de canalizar rios integra o leque de modificações antrópicas em sistemas fluviais decorrentes do processo de urbanização. Essa prática tão disseminada na engenharia civil possui uma ramificação de métodos, abordadas por Brookes (1985) a partir das equivalências nas terminologias estadunidenses e britânicas. *Resectioning* engloba os termos estadunidenses *widening* e *deepening*, que equivalem a alargamento e aprofundamento de canais, respectivamente. Essas medidas são implementadas visando o aumento da seção transversal do canal, em que a manipulação da largura e/ou profundidade permite a contenção de maior volume de água que transbordaria à planície de inundação.

O *realigning* e o *straightening* descritos pelo mesmo autor equivalem à retificação, no qual ocorre o encurtamento de um canal fluvial por meio de corte artificial. São comumente empregados para a redução da altura de enchentes através do aumento do gradiente e da velocidade do fluxo (Brookes, 1987; Overeem; Kettner; Syvitski, 2013).

Embanking e *diking* referem-se aos diques, cuja definição e as principais características são apontadas por Tucci (2001, p. 629):

São muros laterais de terra ou concreto, inclinados ou retos, construídos a uma certa distância das margens, que protegem as áreas ribeirinhas contra o extravasamento. Os efeitos de redução da largura do escoamento confinando o fluxo são o aumento do nível de água na seção para a mesma vazão, aumento da velocidade e erosão das margens e da seção e redução do tempo de viagem da onda de cheia, agravando a situação dos outros locais a jusante. O maior risco existente na construção de um dique é a definição correta da enchente máxima provável, pois existirá sempre um risco de colapso, quando os danos serão piores se o mesmo não existe.

Segundo Fornasari Filho e Braga (1992), a abertura do canal em áreas com materiais inconsolidados ou pouco coerentes pode ocorrer por dragagem, realizada em meio subaquoso. Nas aberturas a seco, “constroem-se diques de terra em cada extremidade do trecho do canal, e escava-se o seu interior com trator” (*ibidem*, p. 143), com o rio sendo desviado para esse novo trecho aberto — sendo este o método mais implantado na retificação de meandros. Outro aspecto da construção da estrutura da canalização citado pelos mesmos autores é o revestimento, que atua no controle da ação erosiva da água canalizada que, com o leito liso e sem obstáculos, é intensificada.

Algo fundamental a se levar em consideração na implantação dessas intervenções são as condições necessárias para que se realize a manutenção das estruturas (Hockin, 1985). Nesse caso, Fornasari Filho e Braga (1992) listam como ações preventivas ou corretivas para todo o período de funcionamento do canal: o controle do assoreamento, a limpeza de drenos, o controle do nível do lençol freático e a manutenção do revestimento, diques e barragens retentoras.

No contexto da conectividade, Wohl (2017) aponta o papel destas infraestruturas no aumento da conectividade longitudinal. Por outro lado, a canalização interfere na transmissão de água e sedimentos na escala lateral e vertical. Com a disseminação desse tipo de medida estrutural, tem-se um cenário de rios não apenas intensamente antropizados, mas também hiper-conectados. De montante a jusante, um curso fluvial canalizado e retificado apresentará, como parte de um leque de mudanças no comportamento hidrológico, um aumento na velocidade do escoamento e nos picos de vazão máxima (Carvalho; Marangon; Santos, 2020).

2.4.2 Barragens e reservatórios

Reconhecidamente uma das intervenções de engenharia mais antigas de que se há registro, a construção de barragens atende a diversos fins, dentre os quais a navegação, abastecimento, geração de energia elétrica e controle de enchentes (Nir, 1983). Na bacia do Alto Tietê, tais estruturas atendem a essa variedade de demandas que existem no contexto urbano, com destaque para as intervenções na sub-bacia do rio Pinheiros, predominantemente voltado ao aproveitamento hidrelétrico (Seabra, 1983). Para este trecho do canal do Tietê, há um enfoque no controle de enchentes, no qual a barragem age na atenuação de vazões de pico, transformando uma vazão afluente em efluente e permitindo seu escoamento a jusante.

A parte principal que as compõem é o barramento, uma estrutura implantada na seção transversal do curso d'água, cujo material pode ser concreto, enrocamento, alvenaria, terra, dentre outros. As ombreiras esquerda e direita, a fundação e o barramento atuam no represamento da água, enquanto os vertedouros de superfície e as descargas de fundo são estruturas extravasoras (ANA, 2019). Tais construções suavizam o gradiente fluvial a montante e o torna mais íngreme a jusante, devido à retenção de sedimentos – que é um dos grandes efeitos das barragens, cuja eficácia média de retenção é de 80% (Overeem; Kettner; Syvitski, 2013).

A conexão montante-jusante e a referente transferência de material líquido e sólido dentro do sistema, da qual a conectividade longitudinal aborda, são especialmente afetadas pela construção de barragens (Fryirs *et al.*, 2007; Wohl, 2017). Esta é, aliás, a intervenção antrópica mais estudada pelas várias ciências da natureza que utilizam do conceito, por ser uma barreira física tão explícita e passível de medições para avaliar seus efeitos. Enquanto que barreiras costumam ser feições pontuais que podem ser retrabalhadas ou violadas, as barragens, contudo, possuem um caráter mais permanente e demandam grandes falhas ou eventos extremos para serem rompidas (Warner, 2006).

3 METODOLOGIA

Tendo em vista o objetivo de análise dos efeitos de obras de intervenção no canal do Alto Tietê à dinâmica hidrogeomorfológica do canal do Alto Tietê, esta pesquisa tem a Geomorfologia Antropogênica e estudos de conectividade em Geomorfologia como base teórico-metodológica. O aporte teórico-conceitual da Geomorfologia Fluvial contribui também na identificação e interpretação de como as intervenções atuam como barreiras ou propulsores na transmissão de água e sedimentos pelo sistema canal fluvial.

Como parte da metodologia antropogeomorfológica, Nir (1983, p. 131) aponta quatro principais abordagens:

- Uma abordagem histórica, para investigar a intervenção do Homem nas formas do relevo, usos da terra e processos geomorfológicos.
- Uma abordagem socioeconômica, para investigar as dinâmicas da atividade do Homem, das quais depende de suas qualidades econômica, social e iconográfica.
- Uma abordagem geomorfológica, para investigar a taxa e extensão dos processos geomorfológicos observados.
- Uma abordagem de planejamento, para unificar os vários pontos de vista.

A partir das bases fornecidas por Nir e outras referências do tema, o projeto de pesquisa "Intervenções Antrópicas e Efeitos Hidromorfodinâmicos em Sistemas Fluviais Urbanizados de São Paulo em Tempos de Mudanças Climáticas", da Profª Drª Cleide Rodrigues, vêm desenvolvendo diversos estudos adotando a metodologia antropogeomorfológica para tais fins no meio tropical úmido, compondo um importante referencial para a análise da bacia do Alto Tietê (Batista; Rodrigues, 2002; Da Luz; Rodrigues, 2015; Moroz-Caccia Gouveia; Rodrigues, 2017; Rodrigues, 1997, 2004, 2005, 2010, 2015; Rodrigues *et al.*, 2019; Rodrigues; Gouveia, 2013). Na metodologia desenvolvida e aplicada ao longo de mais de duas décadas à bacia do Alto Tietê, os efeitos da urbanização em sistemas fluviais são analisados a partir de conceitos, princípios e procedimentos que incluem, conforme as referências citadas acima:

- i. Abordagem sistêmica aplicada à Geomorfologia;
- ii. Pesquisa arquivística e abordagem histórica em Geomorfologia;
- iii. Cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva em escalas diferentes e complementares;

- iv. Indicadores de processos e materiais superficiais referentes às morfologias original e antropogênica;
- v. Identificação de níveis de perturbação antropogênica e fases de urbanização, investigando padrões de ações humanas significativas para a morfodinâmica;
- vi. Geoindicadores para a discriminação de mudanças de origem natural ou antrópica em sistemas fluviais; entre outros.

Em estreita relação com tais bases teórico-metodológicas, outras pesquisas que encontram-se na interseção da Geomorfologia Fluvial com a Geomorfologia Antropogênica no estudo de canais antropizados, como os de Damasco e Cunha (2014), Fagundes e Lupinacci (2017), Gregory, Davis e Downs (1992) e Hammer (1972) ajudam a identificar e compreender os efeitos que a urbanização pode imprimir às formas e processos em sistemas fluviais. Considerando como as intervenções realizadas no canal objeto deste trabalho fazem parte de um processo que ultrapassa cem anos, bastante comentada e registrada ao longo desse tempo, este estudo faz um resgate histórico dessas obras de engenharia empreendidas.

Conforme exposto na subseção 2.5, canalizações e barragens foram selecionadas como variáveis analíticas por serem medidas estruturais reconhecidamente implantadas no Alto Tietê, e serem interferências diretas evidenciadas como elementos da urbanização como fenômeno geomorfológico dentro da Antropogeomorfologia (Goudie; Viles, 2016; Rodrigues, 2004).

Dentro dessa perspectiva, as medições de modificações em canais naturais podem ser destacadas como geoindicadores para o meio urbano tropical, por suas implicações hidrológicas em uma escala quilométrica (Gupta, 2002). Com base nesses e outros autores que abordam os impactos da interferência antrópica em sistemas hidro-geomorfológicos a partir de geoindicadores (Berger; Iams, 1996; Coltrinari, 2001; Rodrigues, 2010), foram consideradas as variáveis de comprimento, declividade, padrão e forma em planta (*planform*) do canal. Tais informações obtidas a partir de dados secundários exprimem efeitos à morfodinâmica e aos processos hidrossedimentológicos, podendo-se aproveitar da documentação presente na literatura sobre a temática e o próprio caso observado na área de estudo. Destaca-se a dissertação de mestrado de Carvalho (2006), que tem o Alto Tietê como universo de análise e realiza uma pesquisa documental que abrange os anos

entre 1902 e 1999, e apresenta geoindicadores morfológicos e de materiais superficiais para a avaliação de mudanças neste sistema.

Tais parâmetros de mudanças guiaram o levantamento, como é o caso da retificação. Como esta intervenção precede a adoção de legislações e processos administrativos que demandam estudos de impacto ambiental, o que se sabe sobre as obras e seus impactos advém predominantemente de relatórios, artigos jornalísticos e produção acadêmica. Dessa forma, foram reunidos documentos, relatórios e outros arquivos referentes ao histórico de intervenções no rio Tietê sob múltiplas perspectivas. Dados secundários também foram reunidos e utilizados para a caracterização do sistema fluvial da área estudada, visando uma melhor compreensão da morfologia e sua dinâmica original.

Portanto, o levantamento bibliográfico teve como principais acervos consultados os de bibliotecas institucionais e laboratórios do campus Butantã da Universidade de São Paulo (USP), como: Laboratório de Geomorfologia, do Departamento de Geografia; Biblioteca da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo; Bibliotecas Central da Escola Politécnica; e a Biblioteca Florestan Fernandes (Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas). Nestes, obteve-se acesso a livros e teses que não constam na também consultada Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (www.teses.usp.br). Para artigos científicos, recorreu-se a plataformas digitais agregadoras como Scielo e o *website* de periódicos específicos, como o da Revista do Departamento de Geografia da USP.

Quanto aos documentos técnicos, foram utilizados os elaborados por órgãos como o Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (CBH-AT), o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). Para tais, recorreu-se aos acervos citados anteriormente, *website* dessas entidades, assim como em coleções particulares.

As cartas foram obtidas, além das fontes já citadas, junto ao acervo digital de museus, bibliotecas e outras instituições, como: *Norman B. Leventhal Map Collection* da *Boston Public Library* (<https://collections.leventhalmap.org/>); Fundação Biblioteca Nacional (<https://bndigital.bn.gov.br/>); Arquivo Digital do Estado de São Paulo (<https://www.arquivoestado.sp.gov.br/>), e; Museu Paulista da USP (<http://acervo.mp.usp.br/>).

Conforme os levantamentos realizados, as informações referentes às principais intervenções no canal e suas datas aproximadas foram reunidas,

agrupando as obras e as representações cartográficas disponíveis cronologicamente. A análise da sistematização das obras e seus efeitos parte do referencial teórico-metodológico da Geomorfologia Fluvial e da Antropogeomorfologia, previamente discutido.

Com os dados sistematizados, foi feita a interpretação da identificação qualitativa da conectividade longitudinal do Alto Tietê, com considerações à transmissão hidrossedimentológica (Hooke; Souza, 2021). Assim, avaliou-se a distribuição espacial de elementos que representem ligações ou descontinuidades na escala longitudinal e ressaltando como a agência antrópica teria estabelecido novas tendências no transporte de matéria pelo sistema.

4 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA FLUVIAL DO ALTO TIETÊ

Visando a melhoria da gestão dos recursos hídricos por todo o território paulista, mas sem perder de vista questões de escala municipal e regional, a divisão de bacias hidrográficas em Unidades de Gestão de Recursos Hídricos Integradas - UGRHIs foi estabelecida dentro do contexto do Plano Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O percurso longitudinal do rio Tietê, setorizado em alto, médio e baixo curso, é composto por seis UGRHIs, sendo a do Alto Tietê (UGRHI 06) subdividida em outros cinco subcomitês e seis Regiões Hidrográficas (São Paulo, 1991, 2016).

Esta UGRHI abrange o território de 40 municípios, com o canal do rio Tietê em si estando localizado em 12 destes, sendo no sentido leste-oeste: Salesópolis, Biritiba Mirim, Mogi das Cruzes, Suzano, Poá, Itaquaquecetuba, Guarulhos, São Paulo, Osasco, Barueri, Santana de Parnaíba e Pirapora do Bom Jesus (Figura 4.1). Neste mesmo contexto espacial, temos a Região Metropolitana de São Paulo, com uma composição de municípios ligeiramente distinta encontrada na bacia do Alto Tietê. A bacia conta com modificações para aproveitamento hídrico como o Sistema Cantareira, a reversão de cursos para abastecimento do reservatório Billings e desvio de águas para a região metropolitana (FUSP, 2009).

Figura 4.1 - Mapa de localização da área de estudo (Região Metropolitana de São Paulo - canal do Alto Tietê)



Fonte: Elaboração própria (2023)

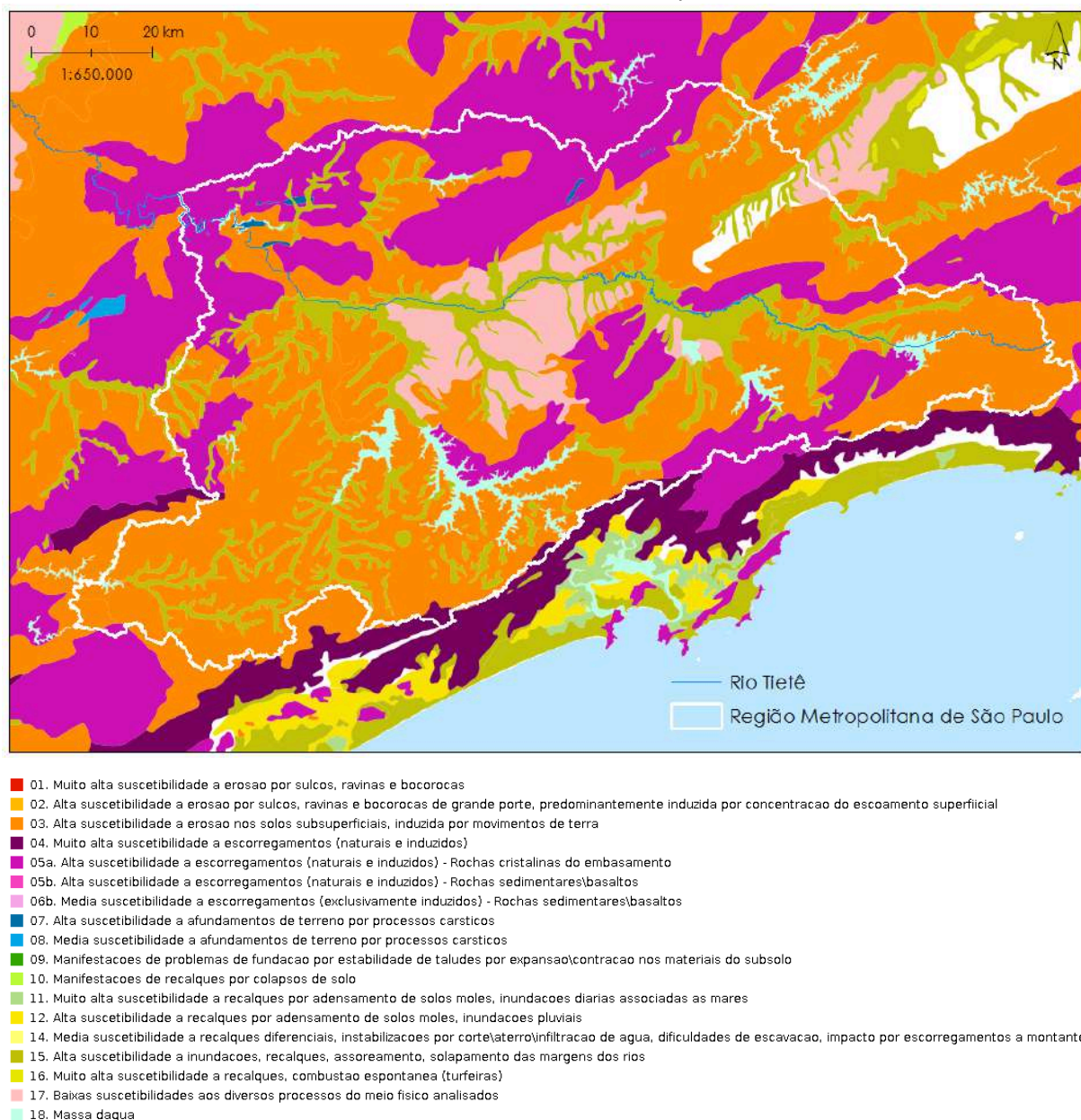
As nascentes do rio estão localizadas na região de Salesópolis, caracteristicamente serrana (1.027 m de altitude), onde foi instituído o Parque Ecológico Nascentes do Tietê a partir do Decreto Estadual nº 29.181/1988 (São Paulo, 1988). Em seu trajeto na direção oeste, a soleira de Barueri (710 m de altitude) representa o nível de base local da bacia do Alto Tietê (Santos, 1958), possuindo 1.136 km de extensão na sua totalidade, até a foz no rio Paraná.

As características geológicas e geomorfológicas propiciaram uma rede de drenagem de maior destaque na margem esquerda, com os rios Claro, Biritiba-Mirim, Jundiaí, Taiaçupeba-Açu, Itaquera, Jacu, Aricanduva, Tamanduateí e Pinheiros. Na margem direita, temos os rios Paraitinga, Baquirivu-Guaçu, Cabuçu de Cima, Cabuçu de Baixo e Juqueri (FUSP, 2009).

O arcabouço geológico da área é caracterizado por terrenos policíclicos do Cinturão de Dobramentos Ribeira, de rochas metamórficas, granitóides e migmatitos sobrepostas por sedimentos do cenozoico (Hasui *et al.*, 1975 *apud* Rodriguez, 1998). A Bacia de São Paulo teria origem de atividade tectônica cenozóica iniciada no fim do Terciário, estando associada ao *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1990). Em geral, os sedimentos são argilosos e arenosos de sistema fluvial e lamíticos de leques aluviais, com a área de estudo estando relacionada às unidades litoestratigráficas de sedimentos aluviais do Quaternário e cenozóicos do *Rift* supracitado (Rodriguez, 1998). Na região das nascentes, com Serras do Itapeti e Cantareira a norte e a Serra do Mar ao sul, assim como na da soleira de Barueri, predominam as suítes graníticas indiferenciadas. Quanto aos solos, os do tipo Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho predominam nas áreas da Bacia Sedimentar de São Paulo, enquanto que nas de embasamento cristalino são os Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos (Ross; Moroz, 1996).

Na Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) na escala 1:500.000, o Tietê e sua planície fluvial são classificadas predominantemente como áreas de alta suscetibilidade a processos como inundações e assoreamento (Figura 4.2). Na carta municipal, as áreas às margens do Tietê constam como planície aluvial, com “área de solos moles (antigos meandros de rios), terras baixas (sujeitas a inundações) e terraços (áreas mais elevadas em relação às anteriores)” (PMSP/IPT, 1992, p. 16).

Figura 4.2 - Mapa da Região Metropolitana de São Paulo com dados da Carta Geotécnica do Estado de São Paulo de 1994, elaborada pelo IPT.



Fonte: Elaboração própria (2024)

As planícies aluviais do Planalto Paulistano adviriam do fim do Pleistoceno e do Holoceno, tendo permanecido em processo de colmatagem até meados da metade do século passado, com as obras realizadas nas várzeas e canal do Alto Tietê (Ab'Saber, 1978). Até a década de 1950, os terrenos mais rasos e inundáveis estavam a 718-720 m, com as colinas mais altas atingindo 770-780 e 790-810 metros de altitude. De Biritiba Mirim a Barueri, a planície fluvial teria largura média de 1,5 a 2 km, com a região da Penha (Vila Maria Baixa) e da Lapa (Vila Anastácio), antes da confluência com o Pinheiros, predominando terrenos cristalinos e

sedimentares descontínuos nas margens direita e esquerda, respectivamente (Ab'Saber, *op. cit.*).

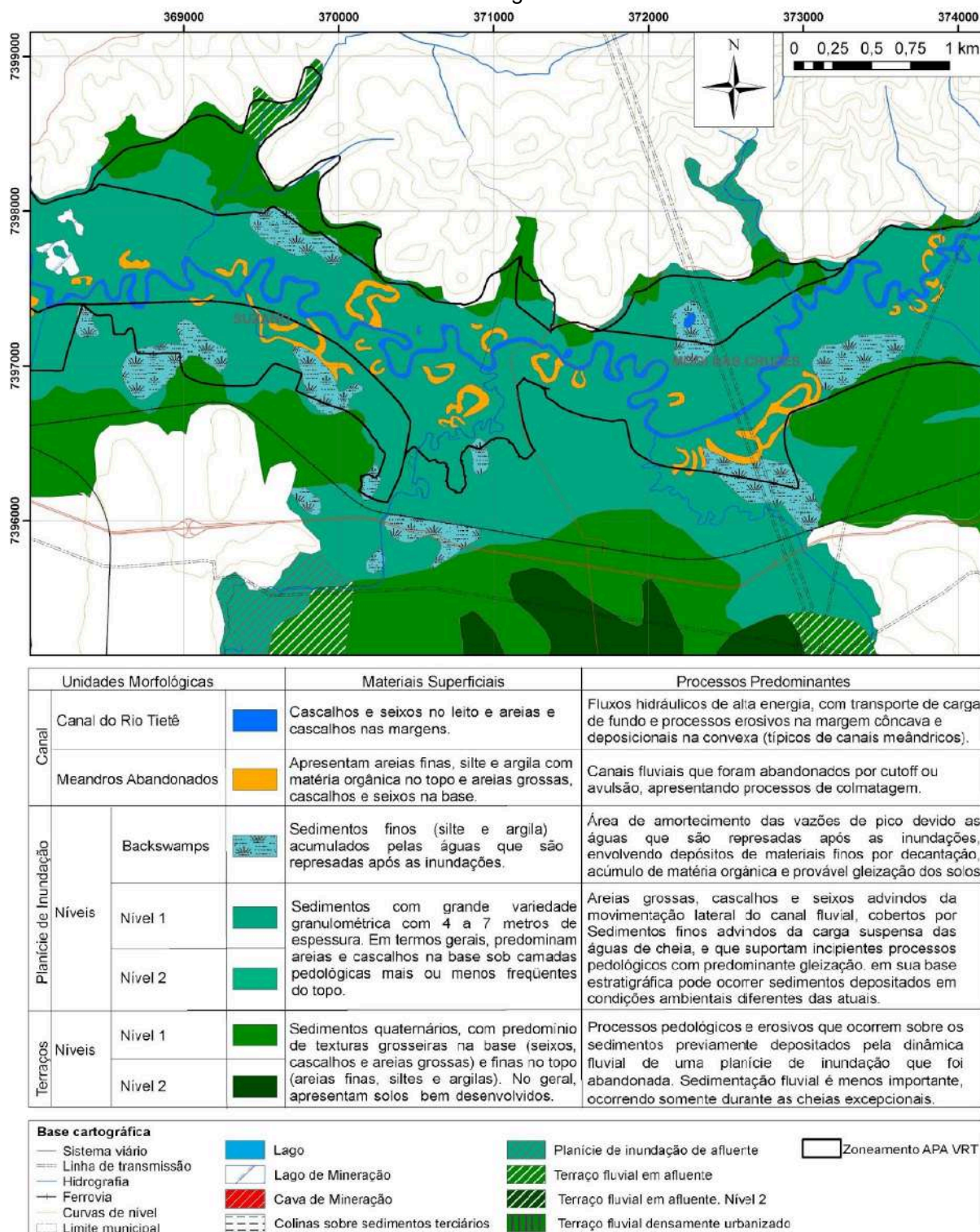
No Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Várzeas do Rio Tietê (APA-VRT), é apontado que o termo popular “várzea” seria um equivalente geomorfológico à planície de inundação atual, que inclui: cordões marginais convexos, lagos em forma de ferradura (*oxbow lakes*), *backswamps*, terraços baixos, diques marginais, leques de rompimento de dique, cinturões meândricos e cinturões atuais (FF, 2013).

Estes cinturões meândricos, característicos da geomorfologia fluvial pretérita do Alto Tietê, são definidos pelo Plano de Manejo (*ibidem*, p. 29) como a “área de um sistema meândrico composto pelo conjunto de formas de canais meândricos, sejam estes ativos ou subatuais”. Ab'Saber (1978) apontou que esse sistema tinha “posição relativamente central dentro do leito maior” nas planícies aluviais deste rio, com larguras médias entre 200 e 400 metros e muitos meandros abandonados.

O grande característico da faixa meândrica central — “meander belt” — era a presença de um complexo de sedimentos e solos aluviais sujeitos ao baixo relevo criado pelos processos de sucessivas autocapturas dos meandros do Rio Tietê. As várzeas atuavam como *backswamps* frente a faixa meândrica aluvial, abrigando uma vegetação rasa adaptada às condições do solo local, caracteristicamente hidromórfico com mistura de argilas e matéria orgânica. Eram relativamente mais baixas que o cinturão meândrico, que possuíam diques marginais de composição siltosa e arenosa atingindo 1,2 a 1,5 metros acima do nível dos *backswamps*.

Em áreas mais preservadas, como as inseridas na APA-VRT, nas proximidades dos municípios de Mogi das Cruzes, Suzano e Poá, é possível observar o cinturão meândrico, como mostra a Figura 4.3 – que também indica as unidades morfológicas aqui citadas.

Figura 4.3 - Fragmento da carta de morfologia original da APA Várzea do Rio Tietê (APA-VRT), região de Suzano e Mogi das Cruzes



Fonte: FF, 2013.

Descrevendo o desenvolvimento da planície do Tietê a partir do encaixe deste nos patamares intermediários, a sua primeira grande calha aluvial teria sido o *locus* da deposição de areias, grânulos e cascalhos ainda no Pleistoceno. O reencaixe à

leste do trecho de Barueri se deu no centro da planície composta por esses sedimentos, levando à remoção irregular desses depósitos. Houve, posteriormente, a sobreposição dos sedimentos cascalhentos da antiga planície (agora terraço fluvial) por depósitos de sedimentos novos nas depressões localizadas nos travessões de terrenos cristalinos, “diretamente acima de sedimentos da Bacia de São Paulo, tais como o das argilas duras, de cor cinza, conhecidas por tabatinga” (Ab’Saber, *op. cit.*). Na região próxima à velha ponte da Vila Maria, aponta-se a presença de *rock-defended terraces*, ou seja, “terraços defendidos por faixas ou núcleos de rochas duras”, de topo plano 6 m acima do nível médio do canal do Tietê — expressando a intensidade do entalhamento.

Das sondagens realizadas no contexto do relatório apresentado por Brito (1926, p. 87), é descrito:

A varzea do Tietê é constituída por uma camada de 0,50 a 5 ms. de sedimento argilo-arenoso, seguindo-se 0,50 a 5 ms. de areia e pedregulho, depois uma camada de argila compactada (“taguá”); nalguns pontos a sondagem foi levada a mais de metro nesta camada e encontrou espessuras até 4,50, seguindo-se pedras que a sonda não atravessou.

As formações arenosas de origem fluvial seguiam os canais semianastomados, com essas camadas cruzadas e os terrenos cristalinos sendo “recobertos por um novo ciclo de sedimentação aluvial, baseado em meandros livres e em aluviação progressiva e abrangente” (Ab’Saber, 1978). Referente às últimas centenas de anos, predominam aluviões finas que alimentaram a calha fluvial nas cheias e inundações sob as condições ambientais do Planalto Atlântico paulista.

As condições ambientais aqui citadas caracterizam esta região como parte do domínio morfoclimático fitogeográfico dos Mares de Morros, descrito por Ab’Saber (2003, p. 29) como uma paisagem com os seguintes aspectos fisiográficos:

(...) decomposição funda e universal das rochas cristalinas ou cristalofílicas, de 3 a 5 até 40 a 60 m de profundidade; presença de solos de tipo latossolo ou *red yellow podzolic*; superposição de solos devido às flutuações climáticas finais do Quaternário em sertões sincopados; mamelonização universal das vertentes, desde o nível de morros altos até os níveis dos morros intermediários e patamares de relevo; drenagem originalmente perene até para o menor dos ramos das redes hidrográficas dendríticas regionais; lençol d’água subterrâneo que alimenta permanentemente, durante e entre as chuvas, a correnteza dos leitos dos cursos d’água; cobertura florestal contínua na paisagem primária desde o fundo dos vales até as mais altas vertentes e interflúvios, desde poucos metros acima do nível do mar até aos espigões divisores situados entre 1

000 e 1 100 m; lençol d'água superficial de tipo difuso, anastomosado, correndo pelo chão da floresta durante as chuvas e redistribuindo detritos finos e restos vegetais serrapilheiras, com formação de horizontes A", A' e A; pouquíssima incidência de raios solares diretamente no chão da floresta; forte cota de umidade do ar; equilíbrio sutil entre processos morfoclimáticos, pedológicos, hidrológicos e ecossistêmicos.

Essa cobertura vegetal, inserida no contexto da Mata Atlântica brasileira, uma floresta pluvial tropical de grande biodiversidade e endemismo, possui um longo histórico de exploração e degradação associado às ações antrópicas voltadas ao desenvolvimento econômico (Dean, 1996). Isso a tornou um grande mosaico de pequenos fragmentos de mata, que pouco lembram a sua cobertura original anterior à colonização europeia e as ocupações e atividades que se seguiram (Ribeiro *et al.*, 2009). Saturnino de Brito já apontava um avanço do desmatamento para culturas e matéria-prima de combustíveis, como lenha e carvão – mas que ainda havia “[matas] virgens além de Mogy das Cruzes (que fica 60 km. de São Paulo), nas cabeceiras do Tayassupeba e nas que o Governo conserva como [protetoras] dos seus [mananciais]” (Brito, 1926, p. 125).

Com o avanço das intervenções antrópicas diretas à morfodinâmica do canal do Tietê, aumenta a importância de se estabelecer áreas protegidas e/ou espaços verdes para preservação da morfologia original ou atenuação de enchentes. A Área de Proteção Ambiental Várzea do Rio Tietê (APA-VRT), uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, é um exemplo, sendo composta por dois trechos descontínuos que abrigam “os últimos remanescentes de planícies fluviais meândricas com morfologia contínua e conectividade na Região Metropolitana de São Paulo, representando cerca de 10% da área total correspondente à paisagem original nesta condição” (FF, 2013, p. 606). Ainda de acordo com o Plano de Manejo, a morfologia e a hidrodinâmica originais são alguns dos aspectos geomorfológicos a serem protegidos na APA, “cuja funcionalidade hidrológica permite a retenção de volumes de água e regulação das cheias do rio, compreendendo planícies de inundação, planícies de decantação e backswamps” (*ibidem*, p. 534).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 HISTÓRICO DE PLANOS E INTERVENÇÕES NO CANAL

A relação da metrópole paulista com o Tietê foi extensivamente estudada sob os pontos de vista das Ciências Sociais, Arquitetura e Urbanismo, Geografia, Saúde Pública, dentre outras áreas do conhecimento. Como ponto de partida para muitos destes, estão os primeiros planos de modificação no leito do rio, e percebe-se nas discussões à época uma preocupação mais sanitária e estética – mas sem negar a relevância de controlar as enchentes, que passavam a afetar cada vez mais a cidade em expansão. Com o processo de retificação em andamento ou próximo de ser concluído, entendendo-se que tal obra não é o suficiente por si só para evitar os grandes impactos socioambientais das enchentes, são desenvolvidos planos e projetos compostos não apenas por obras hidráulicas, mas também medidas não-estruturais ou de caráter urbanístico.

Considerando as informações reunidas, a primeira subseção traça um histórico de planos, projetos e intervenções que antecederam as grandes obras, percorrendo as décadas de 1880 até 1940, com o início das retificações. À frente, abordamos as obras em si, tratando das retificações que se alongaram de 1940 a 1977 e o aprofundamento da calha de 1998 a 2006; por fim, agrupa-se a construção das três barragens localizadas neste trecho do rio.

5.1.1 Comissões, projetos e atores das primeiras propostas

A mais antiga intervenção no canal do Alto Tietê de que se há relato data da segunda metade do século XIX, tratando-se de uma pequena alteração “na região da Coroa em 1856” citada por Monteiro (2010, p. 45). Contudo, não foram encontradas outras referências ou representações cartográficas desta intervenção. É a partir da década de 1880 em que as discussões e projetos para modificá-lo ganham corpo, com projeto apresentado pelo engenheiro Eusébio Stevaux em 1883. Segundo Lucchese (2014), partindo de estudos iniciados em 1881, apresentou-se a intenção de modificar as “‘cachoeiras’ do Tietê” nas proximidades da Casa Verde, visando o controle de enchentes e o aproveitamento agrícola — mas,

aparentemente, sem a Repartição de Obras Públicas do Estado obter aprovação do orçamento para realização da obra.

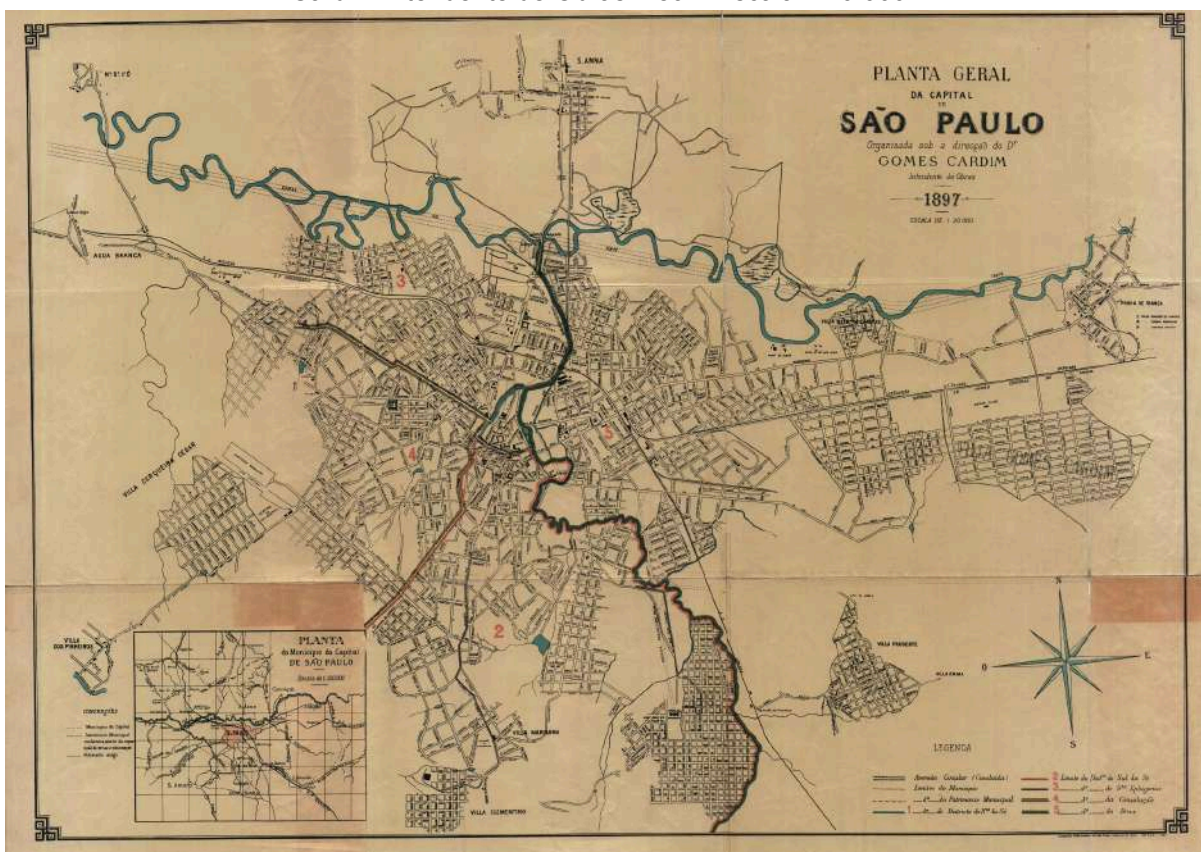
Em 1887, o engenheiro Luis Bianchi Bertoldi, responsável pela Repartição na capital, realiza novos estudos e apresenta a primeira proposta de retificação do rio Tietê, em seu trecho leste-oeste da foz do rio Tamanduateí até Santana de Parnaíba (Lucchese, 2014). O engenheiro deu continuidade ao trabalho de Jules Jean Révy, que no ano anterior havia realizado medições ao longo do vale do Tietê (Custódio, 2002). Em seu relatório, Bianchi Bertoldi apontou que o trecho do vale estudado por ele era “sempre invariavelmente acompanhado por uma várzea quase nunca inferior a um [quilômetro] ao menos de largura, formada à direita ou à esquerda, e muitas vezes de ambos os lados do canal” (Bertoldi, 1887, p. 15 *apud* Lucchese, 2014).

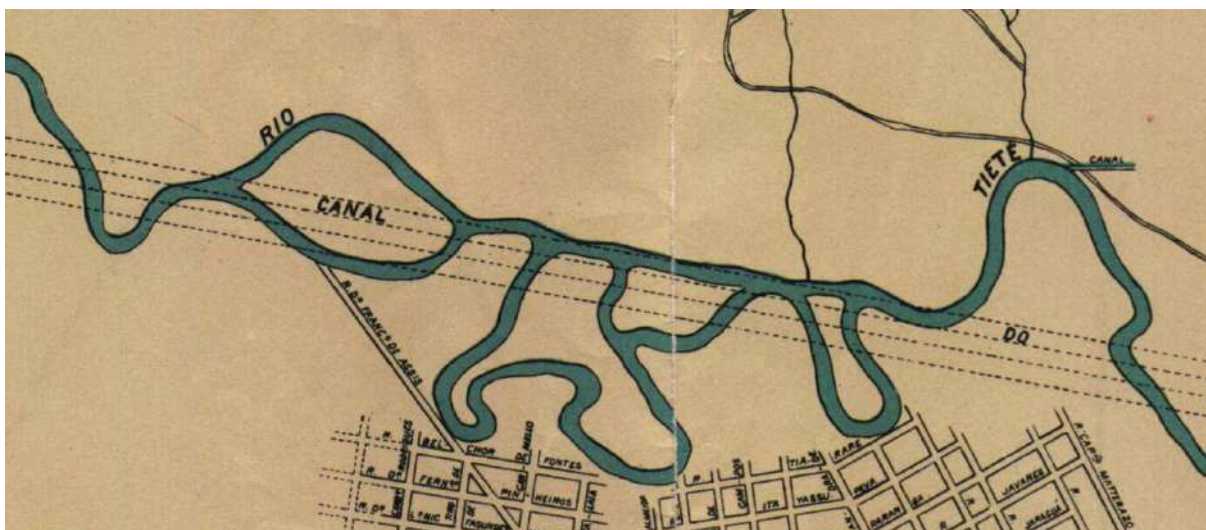
Três anos depois, com a criação da Comissão de Saneamento das Várzeas da Capital, subordinada à Superintendência de Obras Públicas, inicia-se uma sequência de comissões municipais e estaduais encarregadas de estudar os rios paulistanos e suas várzeas. Chefiada pelo engenheiro Antônio Francisco de Paula Souza, a comissão apresentou, em 1891, um relatório elaborado por Teodoro Sampaio. Neste, o também engenheiro urge pela drenagem das várzeas e a canalização do rio, no trecho que vai “da foz do Tamanduateí até a ponte da São Paulo Railway na Água Branca, a construção de dique marginal para contenção das águas nos períodos das cheias (dique que existiria somente do “lado da cidade” – margem direita do Tietê)” (Sampaio, 1891 *apud* Lucchese, 2014).

No ano seguinte, em abril de 1892, foi criada a Comissão de Saneamento do Estado de São Paulo (CSE), cuja atuação se deu até o ano de 1894 (Seabra, 1987). Com o engenheiro João Pereira Ferraz como chefe, concretiza-se os primeiros trabalhos com emprego de engenharia no escoamento deste rio, tendo sido realizadas: a abertura do canal de Osasco, de 1.400 metros de extensão, com encurtamento de meandro de aproximadamente 6 km; a supressão do canal de Inhaúma, de 1.200 metros; e a abertura do canal do Anastácio, de 600 metros (Carvalho, 2006; Monteiro Filho, 2010). Foi proposto, também, retificação e alargamento do curso desde a Ponte Grande (atual Ponte das Bandeiras) até Osasco. Porém, em 1897 as obras foram interrompidas devido a questões financeiras (Pereira, 1950), e um ano depois deu-se fim à Comissão — com tentativa não sucedida de revivê-la em 1911 (Santos, 2011)

Na Figura 5.1, referente à Planta Geral da Capital de São Paulo de 1897, é possível observar parte do canal do Tietê a norte. A ocupação além-Tietê se limitava à S. Anna (atual Santana), um tanto quanto distante do canal – reforçando o impacto que, até então, as características geomorfológicas tinham na escolha das áreas a ocupar. A Planta, organizada sob a direção de Gomes Cardim, mostra bem a sinuosidade do Tietê na época, havendo longas linhas tracejadas que indicam o canal projetado para o rio. Na Figura 5.2, destaca-se o trecho em que houve a abertura do canal do Anastácio.

Figura 5.1 e 5.2 - “Planta Geral da Capital de São Paulo. Organizada sob a direção do Dr. Gomes Cardim Intendente de Obras. 1897. Escala 1:20.000.”

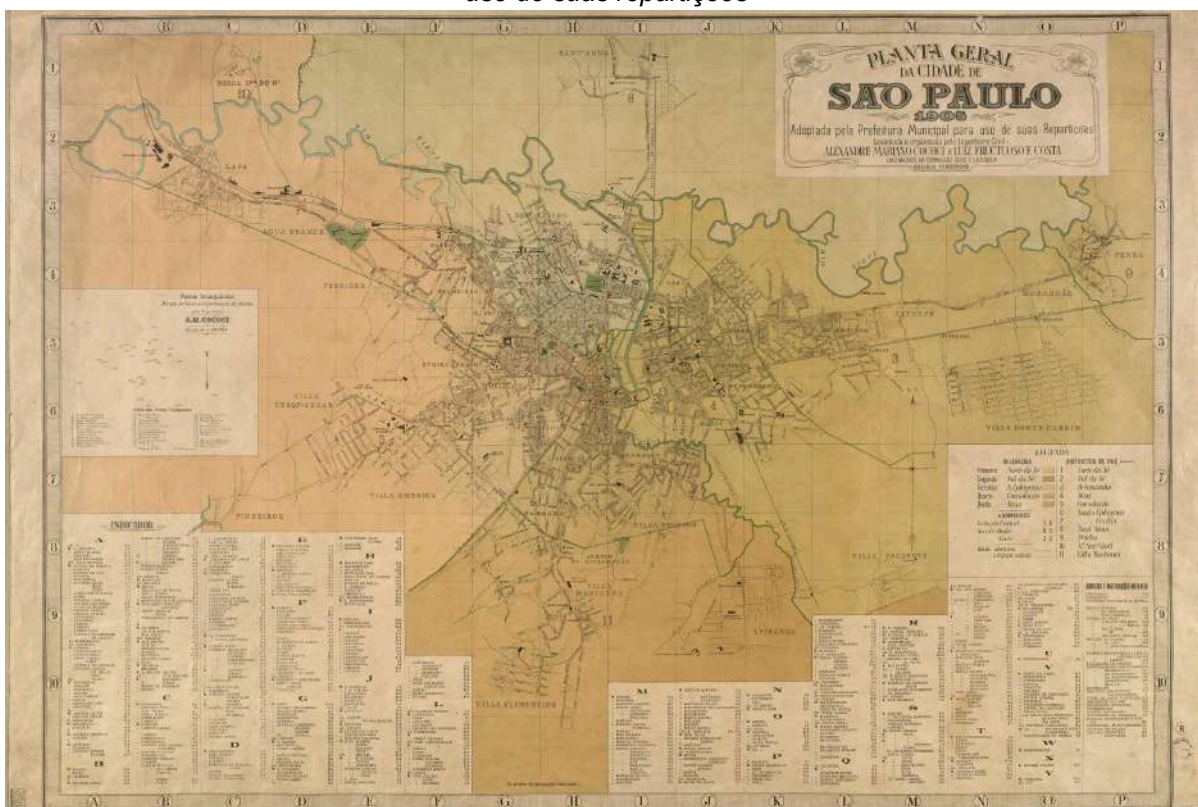




Fonte: Arquivo Histórico Municipal. Disponível em: arquiamicos.org.br/info/info20/i-1897.htm.

Levantada e organizada pelos engenheiros da Comissão Geográfica e Geológica, Alexandre Mariano Cococi e Luiz Fructoso F. Costa, a Planta Geral de 1905 (Figura 5.3) exibe um trecho do Tietê dado como canalizado (Figura 5.4).

Figura 5.3 e 5.4 - *Planta geral da cidade de São Paulo. 1905. Adoptada pela Prefeitura Municipal para uso de suas repartições*



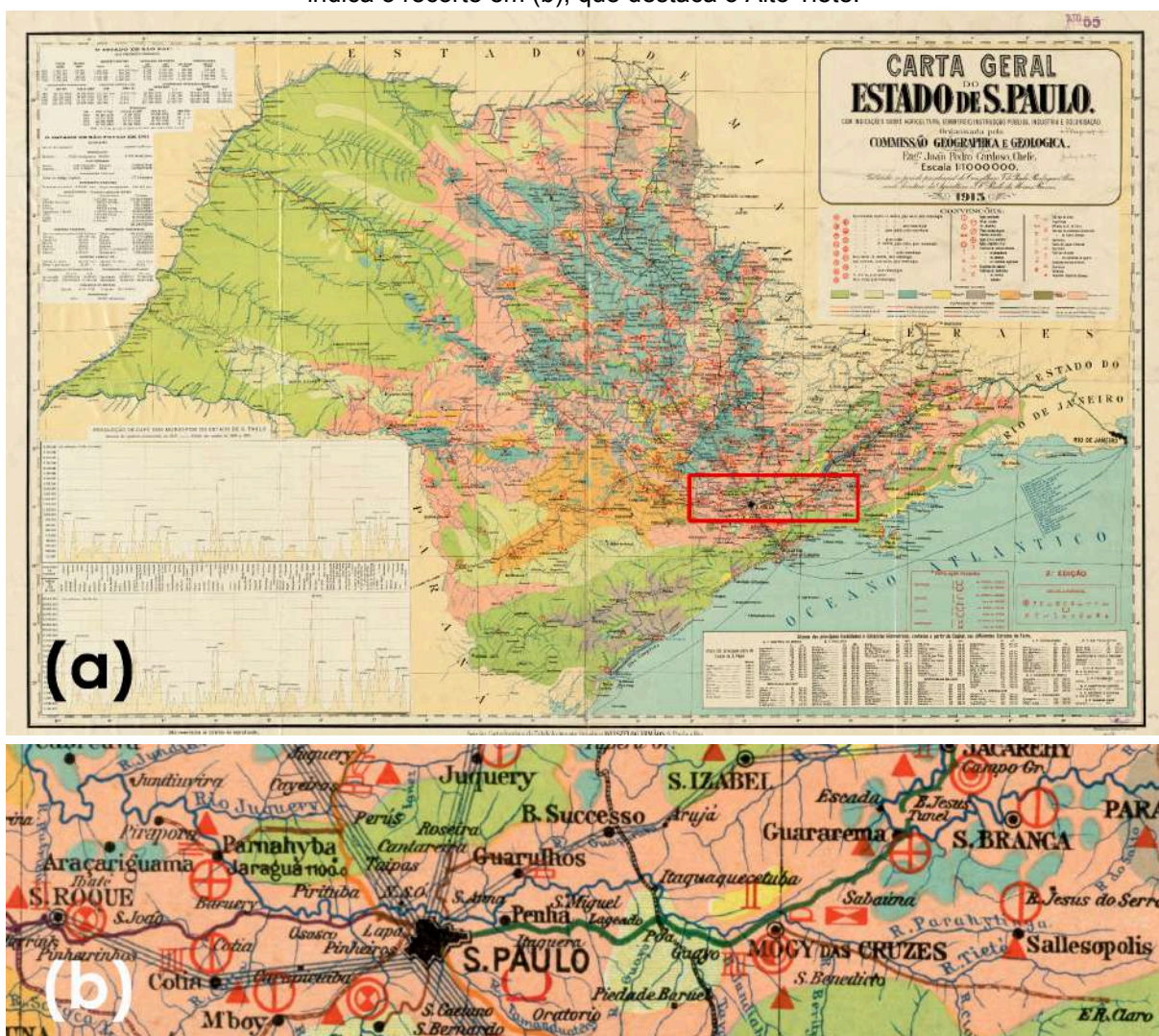


Fonte: Biblioteca Digital Luso-Brasileira. Disponível em:
bdlb.bn.gov.br/acervo/handle/20.500.12156.3/20001

Nesse início do século XX, Osvaldo Pacheco e Silva elabora em 1913 um projeto de retificação no contexto do Plano Geral de Melhoramentos para o Tietê, onde propunha, dentre outras obras: desobstrução do leito, retificação de meandros, balizamento do canal e a construção de uma eclusa entre a Ponte Grande e a foz do Tamanduateí (Monteiro, 2010).

Como estes e muitos dos trabalhos voltados à modificação do leito do Tietê se concentram no trecho que se estende de Guarulhos à Osasco, pouco do que foi debatido nas primeiras décadas do século XX comenta sobre os trechos Salesópolis-Guarulhos e Osasco-Barueri. Quanto aos mapas históricos, recorre-se àqueles produzidos em escalas menores, abarcando todo o estado de São Paulo. A carta em escala 1:1.000.000 da Figura 5.5 serve de exemplo.

Figura 5.5 e 5.6 - (a) “Carta Geral do Estado de S. Paulo. Com indicações sobre agricultura, commercio, instrucção publica, industria e colonisação. Organizada pela Comissão Geographica e Geologica. Engº João Pedro Cardoso, Chefe. Escala 1:1000000. (...) 1915”. Retângulo vermelho indica o recorte em (b), que destaca o Alto Tietê.



Fonte: Norman B. Leventhal Map Center Collection. Disponível em: collections.leventhalmap.org.

Seguindo a legenda, o Alto Tietê era uma área de diversas culturas, com somente o trecho na região de Poá sendo classificado como campo, conforme a Figura 5.6. Próximo às nascentes em Salesópolis haviam pequenas indústrias diversas, e fábricas de cerâmicas em Guarulhos. Até então, não haviam planos de intervenções de engenharia nesses trechos menos imediatos à capital.

A canalização do Tietê de Guarulhos à Lapa foi solicitada pela Prefeitura ao governo estadual em 1921, juntamente da construção de avenidas marginais neste trecho. Em 1922, a pedido da Diretoria de Obras Municipais, o engenheiro José Antônio da Fonseca Rodrigues apresentou um anteprojeto alternativo, com base nos estudos realizados pela Comissão dissolvida e pela Light (Monteiro Junior, 2012).

Conforme a Figura 5.7, nota-se que a zona atingida pelas enchentes do Tietê incluía pequenas áreas já ocupadas. A ideia era de retificar o canal e construir diques laterais de 4,5 metros de altura, assim como dois lagos artificiais, com a figura explicitando como o esboço de Fonseca Rodrigues transformava a sinuosidade do canal. Porém, a ideia acabou rejeitada pelo então diretor do setor, Victor da Silva Freire. Como o projeto se baseia em muitos dados da década de 1890, a planta está apontada como de 1893.

Figura 5.7 - “Secção Central. Projeto de regularização do Rio Tietê e dique marginal”. Esboço elaborado por José Antônio da Fonseca Rodrigues, da Comissão de Saneamento do Estado de São Paulo



Fonte: Pereira (1950)

O engenheiro João Florence Ulhôa Cintra propôs em 1923 um novo projeto em substituição ao de Fonseca Rodrigues, com diques menores, um curso de maior sinuosidade e o alargamento do canal (Monteiro Junior, 2012). A Figura 5.10 retrata a proposta.

Figura 5.8 - Planta da cidade de São Paulo de 1918, escala 1:20.000, com indicação da proposta de canalização do rio Tietê



Fonte: (Silva, 1950)

No mesmo ano, a Comissão de Melhoramentos do Rio Tietê, de gestão municipal, é instituída, com trabalhos orientados pelo engenheiro sanitário Francisco Rodrigues Saturnino de Brito. Os estudos e projetos desta Comissão foram apresentados em 1925, e representam um dos mais compreensivos e ilustres relatórios elaborados acerca do rio em questão, contando com uma representação focada da bacia do Alto Tietê – a mais antiga encontrada na pesquisa cartográfica (Figura 5.9).

Figura 5.9 - Bacia do rio Tietê, das nascentes em Salesópolis até Santana de Parnaíba.



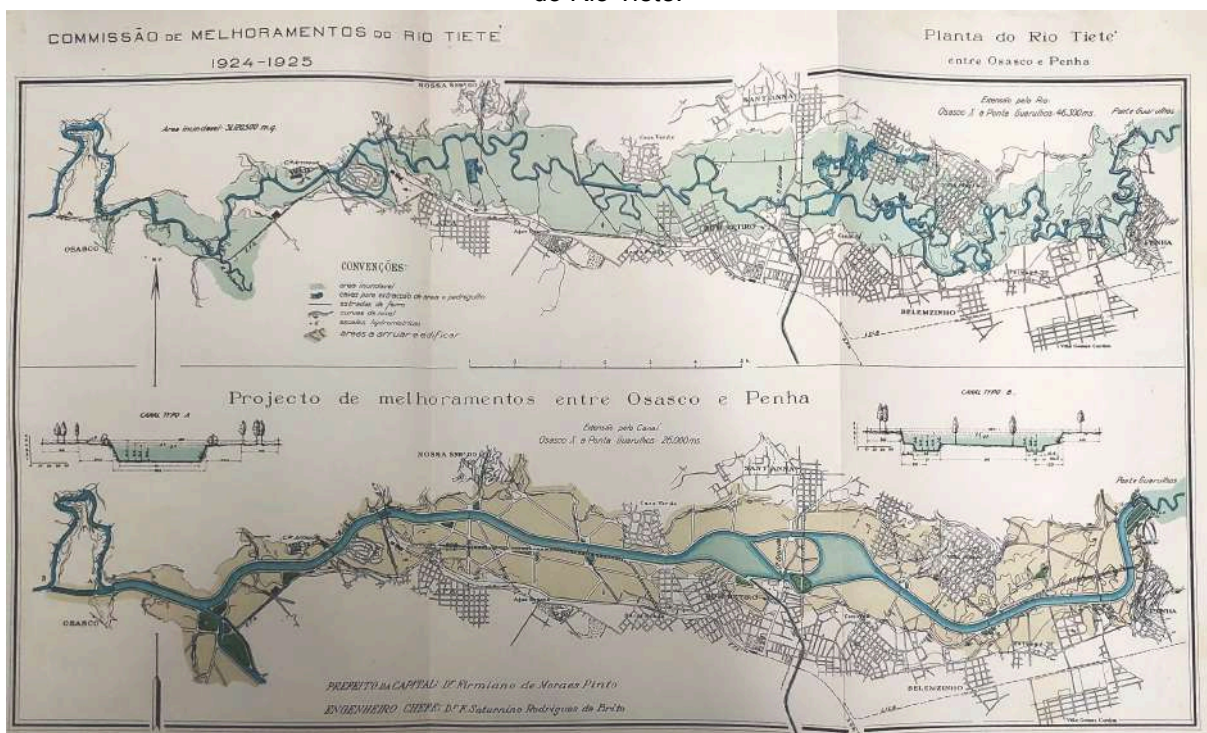
Fonte: Brito (1926)

Inúmeros estudos abordaram de forma minuciosa o relatório elaborado por Saturnino de Brito sobre o Tietê. No escopo do relatório apresentado pelo engenheiro, constam críticas à falta de estudos e observações mais metódicas dos rios brasileiros e reitera a importância de se realizar medições continuadas. Tratando-se das propostas, destaca-se, dentre outras obras:

- i. Canalização do leito entre Penha e Osasco, encurtando o trecho de 46,3 km para 26 km;
- ii. Construção de eclusas em Osasco e Guarulhos, e barragens móveis formando quatro represas; e
- iii. Escavação de duas lagoas, a jusante e a montante da Ponte Grande.

Além de figuras demonstrando as seções e perfil do Tietê de acordo com o que se propunha a fazer, assim como dados hidrológicos e pluviométricos, o relatório é rico em representações em planta do canal, com destaque para as da Figura 5.10. As modificações propostas por Saturnino de Brito valorizavam mais o percurso original do rio, e expressavam uma busca pela solução efetiva dos problemas sanitários associados às cheias do rio Tietê (Brito, 1926).

Figura 5.10 - Planta do Rio Tietê entre Osasco e Penha. Planta superior representa o traçado contemporâneo à época, e a inferior sendo a proposta pelo projeto da Comissão de Melhoramentos do Rio Tietê.



Fonte: Brito (1926)

Contudo, em 1927, Ulhôa Cintra assume a chefia da Comissão e a proposta de Saturnino de Brito é bastante alterada para atender a demandas urbanísticas. Em parceria com o engenheiro Francisco Prestes Maia, na época chefe da Secretaria de Viação e Obras Públicas, apresentaram em 1930 um projeto para a cidade de São Paulo: o Plano de Avenidas.

(...) Neste sistema radioperimetral às marginais ao rio Tietê e ao rio Pinheiros fechariam o círculo de avenidas perimetrais em torno à área urbanizada. Denominado de circuito de parkways incorpora e amplia os estudos realizados pela Comissão de Melhoramentos do Rio Tietê. Era composto pelas marginais dos rios Tietê e Pinheiros, seguia até a cabeceira do Ipiranga e descia o vale do Tamanduateí. À margem direita do canal do Tietê era reservada para a relocação das ferrovias e a localização de uma nova estação central. Na margem esquerda eram localizadas as vias marginais ligando os parques propostos para a cidade. (Leme, 1999, p. 269)

O contexto histórico, marcado pela crise econômica de 1929, a Revolução de 1930 e a Revolução Constitucionalista de 1932, interferiu nos investimentos para obras de retificação e regularização do rio Tietê. Em 1929 também foi registrada uma grande enchente, que Pereira (1950, p. 67) relata ter sido “uma oportunidade excepcional para o estudo do [regime], oportunidade que foi aliás, bem aproveitada pela Comissão”. Nessa época, a *Società Anonima Rillevamenti Aerofotogrammetrii* (SARA) de Roma foi contratada pela Prefeitura de São Paulo para desempenhar um levantamento topográfico do município e foi instituída a SARA Brasil, responsável pela produção de um mapa topográfico de escala 1:1.000 na área central e de 1:5.000 e 1:20.000 nas áreas pouco urbanizadas. Como provável teste de equipamentos, foi realizado um levantamento do Rio Tietê na época em que ocorreu a enchente anteriormente citada. Contudo, o mosaico de aerofotografias, retratado na Figura 5.11, pertence ao acervo pessoal da família dos aviadores João e Henrique Robba (Mendes, 2014), sem versões digitalizadas disponíveis.

Figura 5.11 - “Mosaico fotográfico do Rio Tietê, realizado em 1929, provavelmente pelos irmãos Robba. Registro raro da extensão das enchentes de verão (...)”



Fonte: Mendes (2014)

No ano seguinte, apresentaram relatório sobre o estudo do Tietê a Ulhôa Cintra. A retomada de obras no canal se deu em 1937, com a Comissão de Melhoramentos sendo restabelecida e dando-se início aos trabalhos de campo para a retificação, sob a chefia de Lysandro da Silva (Pereira, 1950; Seabra, 1987). O projeto aprovado adotava o de Ulhôa Cintra com algumas alterações, dentre elas a instalação de uma barragem retentora (Santos, 1958).

No levantamento histórico-arquivístico realizado por Carvalho (2006), a autora compila, conforme Tabela 5.1, as propostas aqui discutidas e outras três que estavam mais associadas aos afluentes do Tietê (as do Barão de Guajará, de Jules J. Révy e Asa White Billings).

Tabela 5.1 - Principais projetos de retificação do rio Tietê na RMSP até 1950, anteriores ao DAEE

| Ano | Responsável | Proposta |
|------|--|---|
| 1883 | Barão de Guajará | Retificação dos rios Tietê e Tamanduateí; |
| 1886 | Jules J. Révy | Aproveitamento das planícies fluviais e retificação do Tamanduateí; |
| 1894 | João Pereira Ferraz | Diques marginais, retificação, alargamentos, rebaixamento do canal e criação de áreas de represamento (Primeiras obras em Osasco (Canal do Anastácio e Inhaúma); |
| 1913 | Pacheco e Silva | Retificação, parques marginais, linha de bonde, eclusas e canais de navegação; |
| 1922 | José Antonio Rodrigues da Fonseca | Diques marginais de 4,5 x 20 m, por onde passariam as vias marginais, lagos para represamento; |
| 1923 | João Florence de Ulhôa Cintra | Alargamento e rebaixamento do canal, avenida-parque marginal; |
| 1926 | Saturnino de Brito | Preservação de trechos de várzea para períodos de cheias, retificação e redução das extensões do rio, aumento da seção transversal, aterro de 25 km ² de planícies de inundação; |
| 1930 | João Florence de Ulhôa Cintra | Retificação até Osasco, estreitamento e rebaixamento do canal, declividade uniforme, reconstrução de pontes e construção das vias marginais |
| 1936 | Asa White Kenney Billings | Retificação dos rios Tietê e Pinheiros e aproveitamento da declividade dos rios Tietê e Pinheiros para desviá-los em direção ao litoral, aumentando o volume de água para geração de energia; |
| 1950 | Lysandro Pereira da Silva (Projeto PMSP) | Reitera a retificação e redução das extensões do rio, alargamento do canal, aumento da seção transversal, construção de pontes. |

Fonte: DAEE, organizado por Carvalho (2006) - adaptado

Assim, toda essa sucessão de projetos foi extensamente levantada e discutida ao longo das décadas, em especial ressaltando como algumas alternativas, principalmente a proposta inicial de Saturnino de Brito, poderiam ter sido mais benéficas à cidade de São Paulo.

5.1.2 Implementação das canalizações e barragens

5.1.2.1 Retificação e aprofundamento da calha

A década de 1940 inicia com as tão desejadas obras de retificação, com esta etapa compreendendo o trecho que vai da Ponte Velha de Osasco até a Ponte Grande/da Vila Maria. Em doze anos, mais de 15 km do percurso já haviam sido retificados (vide Tabela 5.2), com as obras introduzindo “modificações nos perfis longitudinal e transversal do Tietê, quer através do aprofundamento do leito, quer pelo alargamento” (Santos, 1958, p. 59).

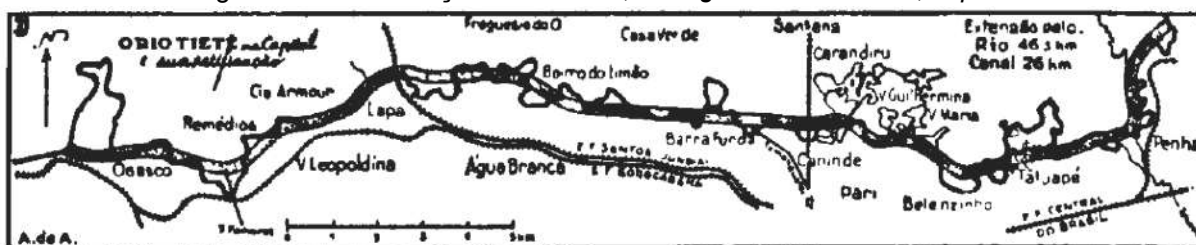
Tabela 5.2 - Trechos da retificação construídos até 1952

| Trechos | Anos | Extensões |
|--------------------------|---------|-----------|
| Canal de Osasco | 1940-41 | 1.267 m |
| Ponte Grande-Casa Verde | 1940-42 | 1.880 m |
| Casa Verde-Limão | 1942-43 | 1.830 m |
| Limão-Freguesia do Ó | 1943-44 | 2.300 m |
| Freguesia do Ó-Piqueri | 1944-46 | 1.540 m |
| Canal dos Remédios | 1946-48 | 1.140 m |
| Canal de Jaguará | 1948-49 | 1.000 m |
| Osasco-Presidente Altino | 1947-49 | 1.140 m |
| Vila Maria-Ponte Grande | 1948-52 | 3.720 m |

Fonte: adaptado de Santos (1958)

Santos apresenta uma planta do canal sobrepondo os meandros do Tietê ao canal em processo de retificação, conforme Figura 5.12.

Figura 5.12 - Retificação do rio Tietê, na região de São Paulo, capital



Fonte: Santos (1958, p. 58)

Depois de 27 anos, as obras de retificação e aprofundamento no trecho a jusante do município de São Paulo até a Barragem Edgard de Souza foram concluídas. O ano seguinte marcando o reinício das obras, desta vez no trecho a jusante da ponte velha de Osasco, indo até Barueri – estas foram finalizadas em

1977, em um processo que se alongou por uma década. Na Figura 5.13, evidencia-se o leito no trecho inferior do Alto Tietê, sendo ainda possível observar algumas de suas características originais no ano de 1972, com o rio já retificado.

Figura 5.13 - Canal em processo de retificação entre Carapicuíba e Barueri, em 1972.



Fonte: Acervo APESP.

Em 1986, o governo estadual elaborou projeto para realizar o aprofundamento e alargamento do rio Tietê entre a Barragem Edgard de Souza e a Barragem Móvel, iniciando sua execução com orçamento público ainda no final da década de 1980. Em 1992, deu-se início ao processo de licenciamento ambiental junto a Cetesb, com o ano de 1998 inaugurando a primeira etapa do Projeto de Aprofundamento da Calha do rio Tietê, parcialmente financiado pelo Japan Bank International Cooperation - Jbic (Garrido, 2005). Os estudos preliminares e projeto executivo de ambas fases ficaram a cargo da Maubertec Engenharia e Projetos Ltda, que incluem levantamentos geológico-geotécnicos e cálculos hidráulicos.

O foco da primeira fase foi o trecho citado anteriormente (Barragem Edgard de Souza à Barragem Móvel), contando com declividade constante de 10 cm/km e

um aprofundamento médio de 2,5 metros ao longo de 16,5 km de canal. Dentre as várias obras colaterais, foram realizadas a drenagem de antigos meandros cortados (Garrido, 2005). A segunda etapa foi de 2002 a 2006, com o mesmo aprofundamento médio do outro trecho, mas em 24,5 km, indo leste-oeste da Barragem Móvel até a Barragem da Penha (FUSP, 2009). (Cesar Neto, 2005) descreve:

(...) essa obra consiste na escavação (inclusive com o uso de explosivos), transbordo para a margem, retirada, transporte e destino de mais de 6 milhões de metros cúbicos de solo ao longo de duas marginais do Rio Tietê, num total de quase 50 quilômetros de obra exposta, totalmente inserida em área urbanizada, confinada por um trânsito pesado gigantesco e ininterrupto além da construção de taludes, muros de arrimo e adaptação da recepção dos afluentes.

A presença das vias marginais e suas pontes, aliás, impuseram limites e desafios às obras de aprofundamento, como é comentado brevemente na Subseção 5.1.3.

Devido ao acúmulo de sedimentos na calha, os trabalhos de desassoreamento são uma medida fundamental para a manutenção do canal. Ao longo dos anos tais esforços foram sendo realizados pontualmente, contudo destaca-se as empreendidas desde 2019 pelo DAEE, que compreendem cerca de 62 km do rio ao longo da RMSP. O contrato inclui também a limpeza, desobstrução e remoção de vegetação macrófita aquática, além da manutenção dos taludes, pôlderes e algumas das pontes localizadas no Tietê (DAEE, 2021a). Aqui, o DAEE (2021b) descreve o trabalho:

O desassoreamento no leito Rio Tietê é feito por meio de escavadeiras embarcadas apoiadas em plataformas flutuantes, que têm capacidade de suporte para 215 toneladas aproximadamente. Os resíduos retirados pela escavadeira são colocados em barcas que, com ajuda de barcos rebocadores navegam até o porto de secagem ou “bota-espera” devidamente licenciado. O tempo de secagem varia de 3 a 5 dias, sendo condicionado pelas condições climáticas.

Os materiais são, predominantemente, sedimentos finos, destinados ao aterro da Cava de Carapicuíba, uma antiga cava de mineração na margem esquerda do Tietê. De 2019 até os primeiros meses de 2021, haviam sido removidos do fundo do canal mais de 950 mil metros cúbicos (m³) de sedimentos ao longo de 41 km de

extensão do rio. Em 2022, foram 624 mil m³ (DAEE, 2022), com a manutenção tendo continuidade até o presente momento, em 2024.

5.1.2.2 Barragens: Ponte Nova, Penha e Móvel

Tendo como Alto Tietê o trecho Salesópolis-Barueri, temos três barragens a considerar, de montante a jusante: Ponte Nova, na região das cabeceiras; Penha, na zona leste da capital; e a Móvel – ou Cebolão –, a frente da confluência com o rio Pinheiros. Cabe como adendo que, principalmente no âmbito da gestão hídrica, o ponto final do Alto Tietê é dado em outra barragem, a Edgard de Souza, localizada no município de Santana de Parnaíba.

Com o objetivo inicial de controle de enchentes a jusante, em 1972 foram concluídas as obras da barragem do reservatório de Ponte Nova, em Salesópolis (Figura 5.14). É caracterizada como uma barragem de terra com descarregador de fundo e duas válvulas dispersoras, possuindo 934 m de comprimento, 41 m de altura máxima e 776 m de elevação máxima, com capacidade máxima de 30 m³/s (FABHAT, 2018a). Operada pelo DAEE e a Sabesp, hoje compõe o conjunto de cinco reservatórios do Sistema Produtor Alto Tietê, integrando a rede de abastecimento da RMSP (DAEE, 2012).

Figura 5.14 - Barragem e Represa de Ponte Nova, em Salesópolis



Fonte: Prefeitura Municipal de Salesópolis (2021)

Onze anos depois, foi a vez das obras da barragem da Penha serem concluídas, em 1983 (Figura 5.15). É, assim como a barragem de Ponte Nova, de administração do DAEE, sendo uma estrutura de concreto que visa escoar as vazões mínimas de estiagem do Tietê ao adentrar a área mais densamente urbanizada da RMSP, além de viabilizar a navegação. Esta “soleira vertedoura de concreto dotada de comportas basculantes” (DAEE, 2012, p. 125) possui 82 m de comprimento, 12,5 m de altura máxima e 725,5 m de elevação máxima (FABHAT, 2018b).

Figura 5.15 - Barragem da Penha, localizada entre os municípios de Guarulhos (margem direita) e São Paulo (margem esquerda).



Fonte: Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura - SEMIL (2023)

A barragem mais a jusante do trecho em questão é a Barragem Móvel, que visa permitir a navegação entre as barragens Edgard de Souza e da Penha – um percurso de 40 km. De terra e concreto, a estrutura possui descarregador de fundo e tem 207 m de comprimento total da crista (FABHAT, 2018). A localização nas proximidades da confluência com o rio Pinheiros (Figura 5.16) a coloca associada a outras importantes estruturas instaladas no curso inferior deste afluente. Dentre elas, estão a Usina Elevatória de Traição (renomeada para Usina Elevatória São Paulo), de 1940, para a reversão das águas do Tietê para o Pinheiros, visando direcioná-las ao Reservatório Billings (EMAEE, [s. d.]). Em 1942, é entregue a Estrutura de Retiro,

uma barragem de concreto cuja remodelação para a instalação de comportas motorizadas ocorreu em 1998 (DAEE, 2012).

Figura 5.16 - Confluência do rio Pinheiros (canto inferior esquerdo) com o rio Tietê, com a Barragem Móvel aparente no canto superior esquerdo.



Fonte: Ayrton Vignola/Estadão Conteúdo

Na pesquisa bibliográfica e documental, não ficou claro quando a barragem em si foi construída e inaugurada, porém em 2004 foi entregue a eclusa da Barragem Móvel. Intervenções nessa estrutura estavam atreladas ao projeto de aprofundamento da calha, cuja inclusão da implementação de uma eclusa era importante devido ao desnível e facilitaria futuras manutenções (Garrido, 2005; Cardia, 2021). Assim, essa construção permite a navegação entre as barragens Edgard de Souza e a da Penha — um percurso de 40 km.

5.1.3 Planos de Macrodrenagem e a Gestão Integrada do Tietê

Com as grandes obras citadas anteriormente, a partir da década de 1990 passa a ser dado um maior enfoque na gestão integrada dos rios na metrópole. Em 1998, no mesmo ano em que o aprofundamento do canal teve início, foi elaborado o

primeiro Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê (PDMAT) pelo DAEE. O Plano reconhece a bacia hidrográfica como a unidade fundamental para centrar os esforços para o controle de enchentes, em substituição de adotar-se somente soluções pontuais baseadas em grandes obras de engenharia em canais (Canholi, 2003). Esse passo reflete uma abordagem mais apropriada à dinâmica de um sistema aberto, pois o Tietê, apesar de parecer isolado na paisagem urbana, não deixa de ser o rio principal da bacia que compreende praticamente toda a RMSP, recebendo constantes entradas de matérias líquidas e sólidas – sejam de origem antrópica ou natural.

Se distinguindo de muito do que se viu nas primeiras décadas de propostas de modificações no leito do Tietê, uma das intenções do PDMAT segundo Canholi (*ibidem*, p. 3) era de:

(...) uniformizar os procedimentos de análise hidráulica e hidrológica e possibilitar uma harmonização entre as ações dos vários órgãos das administrações estaduais e municipais e das concessionárias responsáveis pelo gerenciamento da drenagem urbana nos vários municípios, visando maior economicidade e eficácia das intervenções, que, afinal de contas, visam a melhoria da qualidade de vida da população da RMSP.

Dessa forma, ressaltam-se medidas extensivas, com obras implementadas pelo governo estadual cuja gestão e manutenção ficam a cargo das prefeituras – mas podendo também se manter sob responsabilidade do DAEE ou ter uma gestão conjunta. Na primeira edição do Plano, foram propostas medidas de acordo com os diagnósticos e identificações de sub-bacias prioritárias dos principais afluentes do Tietê, sendo neste cenário em que são introduzidos os reservatórios de retenção, popularmente conhecidos como piscinões – uma medida corretiva que veio a ser muito implementada na região metropolitana.

O PDMAT foi revisado e atualizado em 2008, contando com mais medidas não-estruturais e soluções integradas, como a construção de *polders*. Na sua terceira edição, de 2012/2013, passou-se a ter uma visão mais completa da bacia do Alto Tietê, compreendendo as nascentes, em Salesópolis, até a Usina de Rasgão, em Pirapora do Bom Jesus. Dentre os vários importantes pontos levantados pelo Plano, temos a introdução de vazões de restrição para trechos do Tietê e os seus afluentes, caracterizada pela vazão máxima suportada pela calha. Com esse limite físico imposto pelo Plano, intervenções são demandadas para que não se exceda o

valor estabelecido, visando assegurar a eficácia do aprofundamento realizado na década anterior. Tal medida decorre da incapacidade de se atingir o tempo de retorno de 100 anos, devido às limitações impostas às obras pelas vias marginais (DAEE, 2012; Garrido, 2005).

Assim, na década de 2010, as principais obras relacionadas ao Alto Tietê são mais voltadas a medidas não estruturais, e não grandes obras de modificação no canal – que já encontra-se profundamente alterado. Para além de a gestão pública seguir construindo piscinões pela RMSP, um sistema de *polders* é adotado na capital como uma forma de controle de enchentes (Canholi, 2005).

Em 2023, as obras de manutenção do canal foram incorporadas ao programa IntegraTietê, que passa a abarcar também o Projeto Tietê e o Renasce Tietê. Prevendo de 2023 a 2026 mais de R\$ 5 bilhões em investimentos, iniciativa é composta por órgãos estaduais, como Semil (Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística), Cetesb, DAEE e SABESP, com Parcerias-Público-Privadas para adoção de medidas para a gestão integrada (SEMIL, 2023).

5.2 PERDAS E GANHOS DE CONECTIVIDADE LONGITUDINAL

A partir do histórico delineado na seção anterior, tendo as canalizações e barragens como as principais intervenções de engenharia de grande porte, a Tabela 5.3 reúne as principais obras empreendidas no Alto Tietê, desde o século XIX.

Tabela 5.3 - Síntese de intervenções de engenharia no canal do alto curso do rio Tietê, da década de 1890 até 2024

| Tipo | Obra ou intervenção | Ano de conclusão ou período das obras | Localização |
|-------------|---|--|--|
| Canalização | Abertura de canais e encurtamento de meandros | década de 1890 | São Paulo/Osasco |
| | Retificação | 1940-1977 | Guarulhos a Barueri |
| | Aprofundamento e alargamento | 1998-2006 | São Paulo a Santana de Parnaíba (Barragem da Penha-Barragem Edgard de Souza) |
| | Desassoreamento | 2019-presente | Biritiba Mirim a Santana de Parnaíba |
| Barragem | Barragem e Reservatório de Ponte Nova | 1972 | Salesópolis/Biritiba Mirim |
| | Barragem da Penha | 1983 | São Paulo (Zona Leste) |
| | Barragem Móvel | Não identificado; Eclusa concluída em 2004 | São Paulo (Confluência rio Pinheiros-Tietê, Zona Oeste) |

Fonte: elaboração própria (2024)

No mapa da Figura 5.17, destaca-se a localização das barragens e o trecho do Alto Tietê que passou por canalização. O trecho entre as barragens Ponte Nova e da Penha não possui intervenções diretas tão expressivas quanto o trecho que adentra o município de São Paulo, sendo aliás uma das grandes justificativas para a implementação de ações de conservação ambiental, como foi o caso da instituição da APA Várzea do Rio Tietê.

Figura 5.17 - Mapa da localização das barragens e canalizações no Alto Tietê



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Com a ciência dessas interferências antropogênicas como as principais e mais impactantes à dinâmica hidrogeomorfológica, o conceito de conectividade longitudinal pode ser empregado na interpretação das condições atuais da transmissão de materiais pelo canal, junto ao conhecimento acumulado pela Geomorfologia Fluvial e outras áreas. Pela cartografia geomorfológica indicar tendências espaciais de formas e processos (Rodrigues, 2004), é importante reconhecer o papel da tipologia do leito no controle da morfologia do canal. No caso do Alto Tietê, ocorrem trechos de embasamento cristalino, planície aluvionar e planície fluvial meândrica, sendo aspectos a serem considerados para se pensar em padrões de conectividade ao longo do rio. Ademais, considerou-se para tratar desse trecho do canal as consequências à conectividade a partir da canalização e a implantação de barragens.

5.2.1 Aspectos geomorfológicos

Conforme apresentado na Seção 4, o Tietê nasce no contexto geográfico da Serra do Mar, em embasamento cristalino, a 1.027 m de altitude. Aqui, o leito mais estreito de substrato rochoso atua como um gargalo (*bottleneck*) na transferência de

sedimentos ao longo do canal, do qual estima-se que a escala de tempo da desconectividade é permanente ao longo de milhares de anos (Fryirs *et al.*, 2007). A área, que antes pertencia a uma propriedade particular de atividade carvoeira e pastoril, possui hoje uma vegetação de Mata Atlântica protegida pelo parque ali instituído, com águas que diferem completamente do rio que a população paulistana convive (Figura 5.18).

Figura 5.18 - Trecho da nascente do rio Tietê, no interior do Parque Nascentes do Tietê, em Salesópolis.



Fonte: Autoria própria (2023)

A cobertura vegetal é um fator bastante abordado na conectividade de sistemas fluviais, a partir da influência que podem exercer na conectividade lateral em processos como avulsões, movimentos de massa e erosão de margens (Cienciala, 2021). No caso da longitudinal, essa participação costuma se dar principalmente pela presença de detritos lenhosos no canal. Em áreas bem vegetadas, assim, pode-se haver a possibilidade de queda de grandes galhos e troncos ou espécies arbóreas inteiras que venham a dificultar o transporte de sedimentos pelo canal e mudar o padrão do fluxo da água. Nos trechos visitados, não foram encontradas tais condições, mas entende-se que há tal possibilidade para essas áreas em que o rio flui nas suas condições naturais e com matas ciliares.

Um dos impactos da construção das vias marginais e a retificação do canal à geomorfologia local é a falta de planícies aluvionares no trecho Penha-Osasco (FF, 2013). No processo de ocupação dessas unidades geomorfológicas, a dinâmica hidrológica e erosiva é afetada e, consequentemente, a transferência de sedimentos entre esses componentes da paisagem. Aspectos da dinâmica natural ficaram impossibilitados, como a deposição fluvial a partir das cheias que vêm a formar os diques marginais, e a atuação dessas feições geomorfológicas na retenção de águas pluviais e fluviais (Muraro; Pereira; Pereira, 2019). Com as alterações de origem antrópica, houve portanto uma perda de áreas de planície de inundação e a acumulação de sedimentos nas marginais, com essa deposição agora estando concentrada ao fundo do leito, que resulta no cenário comentado anteriormente de trabalhos de desassoreamento tornarem-se necessários e constantes. Nesse sentido, enquanto que do ponto de vista hidrológico há uma maior conectividade longitudinal, já que não há aquela mesma retenção da água pelos diques marginais e pela planície de inundação de forma geral, temos uma desconectividade sedimentológica, onde os materiais sólidos ficam predominantemente mantidos na calha.

Na planície fluvial meândrica, temos uma importante dinâmica descrita por Christofolletti (1981, p. 211):

Os depósitos originados pela justaposição lateral surgem pela migração do canal fluvial, sendo formados pelos materiais da carga do leito. Esse processo é muito ativo, por exemplo, nas margens convexas das curvas meândricas. Essa categoria de depósitos sedimentares não registra o levantamento altitudinal da planície de inundação, mas simplesmente assinala o remanejamento e a redistribuição dos sedimentos disponíveis.

Nas condições sem intervenção antrópica direta, o comportamento hidrossedimentológico de rios meândricos resulta em planícies de inundação com diferentes subambientes deposicionais (Leopold; Wolman; Miller, 1995). Pelas curvas do canal reduzem a velocidade do escoamento, os “movimentos lentos, preguiçosos por um longo e sinuoso leito” (Seabra, 1987, p. 12) do Tietê ao atravessar a capital eram associados à ocorrência de enchentes e inundações, além da permanência de mau cheiro. Apesar dessa característica, os sistemas fluviais meândricos são altamente ativos, cujo dinamismo é ressaltado por essas e outras referências sobre tais ambientes, como Hooke (1984, 2003).

As intervenções de engenharia desconectam o canal de sua planície fluvial, afetando o equilíbrio dinâmico do sistema e a capacidade do rio em conseguir se ajustar às novas condições. Margens concretadas ou com uso e ocupação do solo inadequadas aos aspectos pedogeomorfológicos do local interferem ou impedem completamente a deposição de sedimentos em cordões marginais convexos e diques naturais. Em áreas nas quais a morfologia não foi totalmente descaracterizada, a proximidade com áreas urbanas e diversas atividades econômicas acaba demandando intervenções para que os efeitos das cheias não sejam tão intensos a jusante. Assim, apesar de não tão intensas como a retificação e canalização no município de São Paulo, alguns remanescentes de planície fluvial meândrica do Tietê também passam por trabalhos de desassoreamento.

5.2.2 Efeitos da canalização

A maior velocidade do escoamento devido à canalização, que representa um aumento de conectividade hidrológica, propicia um maior transporte de sedimentos pelo curso fluvial, a depender das características do material. Contudo, é necessário ter parâmetros representativos da morfometria do canal para chegar-se a conclusões mais próximas da realidade observada. Tratando-se da conectividade longitudinal, enfatiza-se aqui quatro indicadores, conforme apresentado na Seção 4: comprimento, declividade, padrão e forma em planta.

- *Comprimento*

Canais mais sinuosos, como era o caso do Alto Tietê pré-retificações e outras intervenções no leito – e ainda o é em alguns trechos –, são, de forma geral, mais extensos do que os retilíneos. Segundo Rodrigues *et al.* (2019), o rio Tietê tinha 100,68 km de extensão da barragem de Ponte Nova a Barueri em sua morfologia original, enquanto sua forma atual possui 53,88 km – uma redução de 46,48%. Isso é reflexo dos vários cortes de meandros, como a abertura de canal de 1.400 m na década de 1890 que encurtou um trecho em que o meandro possuía cerca de 6 km de extensão, como comentado na Subseção 5.1. Para a conectividade, isso significa um menor percurso a ser percorrido pelos materiais de jusante a montante, havendo menos barreiras naturais que interfiram na transmissão de água e sedimentos pelo canal.

- *Declividade*

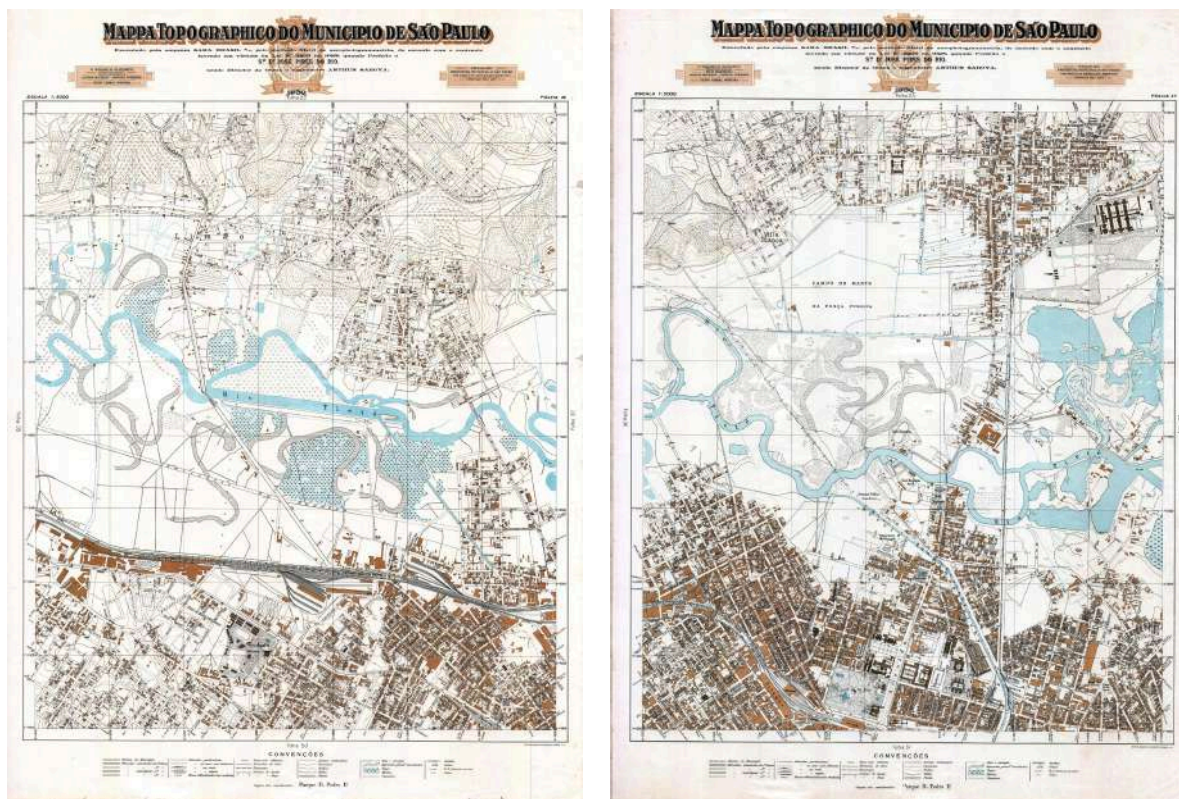
Apesar de cursos curtos e retificados serem mais conectados de um determinado ponto ao outro, deve-se também considerar a declividade do leito. Brito (1926) apontou que, ao longo de 90 km de extensão do Alto Tietê, as declividades diminuíam cerca de 0,12 m/km, e que a retificação poderia aumentar para 0,20-0,25 m/km. No projeto de 1894, consideraram uma declividade de 0,15 m/km da atual Ponte das Bandeiras até a Ponte da SP Railway, e 0,20 cm/km deste ponto até Osasco (Pereira, 1950). O Tietê sendo na maior parte do seu alto curso um rio de planície, com baixas declividades, possui então um comportamento que propicia a acumulação de sedimentos e desenvolvimento de subambientes deposicionais, como exposto na Subseção 5.2.1, com atuação pouco representativa da gravidade na transferência dos materiais para jusante. Isso é característico do rio tanto nas condições da morfologia original quanto da antropogênica, em que há, portanto, uma descontinuidade na transmissão de sedimentos – mas que nas condições naturais resultariam, principalmente, na formação de feições deposicionais típicas de planícies aluviais e fluviais meândricas nas margens, e que com as interferências antrópicas predomina a deposição no fundo do leito.

- *Padrão e forma em planta*

O produto final do trabalho da SARA Brasil segue sendo uma importante referência para estudos que se debruçam sobre a São Paulo da primeira metade do século XX. O grau de detalhe do mapeamento aerofotogramétrico nos dá uma visão mais fidedigna da morfologia do Tietê na época, com o mapa topográfico e as fotografias aéreas estando amplamente. Aqui, foram selecionadas algumas das folhas/setores que apresentam o curso do Tietê desde a Vila Itaim/Guarulhos a leste até Osasco, antes de chegar no município de Cotia, na escala 1:5.000.

Nas figuras 5.19 e 5.20, destaca-se antigos trechos de meandros classificados como “depressões periodicamente inundadas”, com partes do canal ativo estando muito próximos de bairros, especialmente a norte da região de Água Branca e Barra Funda, e a sul do Aeroporto de Campo de Marte. Meandros suprimidos ficam evidentes e mostram como o percurso do rio e sua interação com a planície em muito diferem do estado atual, em que não há a mesma possibilidade de extravasamento – que são, aliás, evitadas a todo custo.

Figuras 5.19 e 5.20 - Mapa Topográfico do Município de São Paulo de 1930, da SARA Brasil. Folhas 50 e 51, respectivamente.



Fonte: Arquivo Histórico de São Paulo (2014)

Um dos trabalhos que integram o Plano de Manejo da APA Várzeas do rio Tietê é a reconstituição da morfologia original do canal e sua planície fluvial, assim como a representação da morfologia antropogênica, conceitos trabalhados por Rodrigues (2005). Para exemplificar o que foi aqui comentado, a Figura 4.3, apresentada na caracterização deste sistema fluvial, apresenta um fragmento da carta de morfologia original, mostrando um trecho do rio entre Suzano e Mogi das Cruzes. No mapeamento realizado, as características clássicas de um rio meândrico ficam explícitas: a forma em planta bastante sinuosa, com um número expressivo de meandros abandonados e áreas de *backswamps* (FF, 2013). Os trechos mais retilíneos não estão associados à interferência humana, mas sim o atalho que o rio encontra ao erodir a margem e extravasar, abandonando o canal por onde passava – tornando-se mais conectado.

Conforme exposto na seção anterior, as modificações feitas no canal demandam dragagens regulares para a remoção de sedimentos e outras obstruções da calha. Nas figuras apresentadas, fica evidenciado como o sistema fluvial acabou sendo profundamente impactado pelo avanço da mancha urbana paulistana,

especialmente com as intervenções na dinâmica meandrante do rio. Assim, o rio hoje está, de forma geral, mais hidrologicamente conectado, em especial entre Guarulhos e Osasco, mas com condições que favorecem o acúmulo de materiais sólidos no fundo do canal.

5.2.3 Efeitos das barragens

As barragens construídas no Alto Tietê possuem menores dimensões que muitas daquelas cujos impactos são bastante discutidos, além de estarem em uma região tão densamente ocupada e urbanizada. No caso da barragem mais a montante, Ponte Nova, os materiais sólidos e líquidos são retidos já na região das cabeceiras, e pelas características da barragem e seu reservatório, percebe-se uma mudança na forma do canal no trecho a jusante mais imediato. Entre esta e a barragem seguinte, a da Penha, o canal possui um padrão meandrante que reflete sua morfologia original, como mostrado nas figuras apresentadas anteriormente. A Barragem da Penha se encontra já no centro da RMSP, com o objetivo de controle da vazão do rio e evitar enchentes. Um efeito comentado sobre a implantação de barragens são mudanças na morfologia fluvial a jusante, mas aqui, o rio encontra-se tão antropizado que os diques de concreto impedem as tentativas de ajuste do sistema.

Pela retenção de sedimentos ser um dos efeitos mais relevantes da implantação dessas estruturas, a tendência é a construção de descarregadores de fundo para remover os sedimentos depositados. Relatando sobre a retirada de materiais sólidos no fundo do leito, é dito: “O Tietê foi mapeado em termos de contaminação dos sedimentos contidos ali dentro. Houve locais em que foi preciso limpar tudo e destinar o material para um aterro sanitário, não podia ir para bota-fora” (Garrido, 2005, p. 60). Essa questão, aliás, retrata a relevância de considerar os sedimentos na avaliação da qualidade da água, pela remobilização de sedimentos contaminados durante cheias ou realização de dragagens (CETESB, 2017) e, pensando na conectividade, esses materiais poderiam ainda ser transferidos para trechos a jusante.

Para além da retenção dos sedimentos e a influência na sua transmissão pelo canal, as barragens alteram também o balanço hídrico da bacia hidrográfica e a vazão do rio, por também manter a água represada por um tempo determinado

pelos responsáveis pela gestão da estrutura. Essa característica, que é desejável justamente por reter águas que poderiam causar enchentes nos trechos a jusante, indica uma conectividade hidrológica que é determinada pela ação humana: é reduzida pela sua essência como uma barreira ao fluxo livre da água, ou pode ser aumentada com a abertura de comportas quando o volume represado se aproxima ou atinge seu limite.

5.2.4 Considerações finais

Com as informações reunidas e discutidas aqui, a Tabela 5.4 sintetiza os efeitos à dinâmica do sistema hidrogeomorfológico e como se refletem na conectividade.

Tabela 5.4 - Intervenções de engenharia empreendidas na área de estudo e seus impactos geomorfológicos e à conectividade longitudinal.

| Objetivo | Tipo de obra ou intervenção | Efeito hidrogeomorfológico | Efeito na conectividade |
|---|---|---|--|
| Controle do extravasamento da água do leito | Canalização (alargamento, aprofundamento e retificação) | Concentração e aceleração do escoamento superficial; Aumento do gradiente; Encurtamento do canal; Supressão de meandros; Mudança no nível de base; Aumento da capacidade do canal; | Aumento na ligação entre jusante-montante; Descontinuidade na transmissão de sedimentos (maior deposição no fundo do leito) |
| | Barragem | Retenção de sedimentos; Interferência no balanço hídrico da bacia; Mudança na morfologia do canal a jusante. | Descontinuidade na transmissão de sedimentos. |

Elaborado pela autora, inspirado em Marchi *et al.* (2019)

Para Hooke (2003), a conectividade de sedimentos ou sedimentológica em específico aborda a transferência deste material de um local da paisagem para outro e o potencial de movimento de uma partícula pelo sistema, o que pode ser de difícil avaliação quantitativa. Considerando uma análise dedutiva a partir do que já foi comentado, com auxílio da literatura científica sobre o tema, as interferências antrópicas abordadas desfavorecem a transmissão de sedimentos de montante a jusante ao mesmo tempo que há um grande aporte desses materiais na escala lateral, em especial devido ao uso e ocupação da antiga planície fluvial. Como

aponta Carvalho (2006, p. 380), “seria mais conveniente que todas as bacias hidrográficas, especialmente aquelas em regiões mais habitadas, tivessem um plano de controle de sedimento por medidas preventivas” – o que pouco ocorre de forma generalizada.

Com a adoção dessas medidas, a gestão pública encontra-se em uma posição em que, “[c]om essa dinâmica de transformação, aumenta-se drasticamente a dependência de sistemas de engenharia, progressivamente redimensionados e com seus elevados custos de manutenção” (Rodrigues *et al.*, 2019, p. 118). Isso fica evidenciado com os planos de macrodrenagem e iniciativas de gestão integrada desenvolvidas a partir da década de 1990, com a intensificação dos impactos que esse aumento na conectividade hidrológica e desconexão com a planície fluvial causam à região metropolitana.

CONCLUSÃO

Ao reunir as diversas propostas e obras efetivamente realizadas no canal do Alto Tietê ao longo dos últimos dois séculos, é possível observar períodos em que uma narrativa predominava frente às outras. Diferentes profissionais pensaram o papel dos rios no espaço urbano e como conviver com eles e, apesar dos vários motivos para modificar características do rio, inicialmente houve uma maior atenção aos aspectos sanitários. Com o avanço das ocupações na planície de inundação, o controle de enchentes tomou um espaço central nos planos de intervenções baseadas em engenharia.

Nos históricos apresentados sobre o tema, fica evidente como a retificação do rio Tietê teve uma trajetória pouco linear e devidamente planejada de acordo com as necessidades de uma metrópole em construção. Com mudanças de gestão municipal, problemas financeiros, eventos históricos e outros aspectos políticos, comissões eram estabelecidas e findadas, engenheiros-chefe trocados e obras interrompidas ou prolongadas. Os diversos planos realizados ao longo das décadas explicita o desalinhamento entre as gestões na esfera municipal e estadual, com falta de uma real integração do rio com o planejamento urbano. A partir da década de 1990 o cenário começa a mudar, com a disseminação de medidas não-estruturais extensivas e gestão compartilhada.

As intervenções nesse período tão representativo do Antropoceno, dos anos 1950 até os dias atuais, tornaram ainda mais complexa a dinâmica geomorfológica e hidrossedimentológica deste sistema fluvial. Como de maior impacto direto à conectividade longitudinal do canal estudado, ressaltam-se as obras de canalização que incluem retificação, aprofundamento e alargamento, e a construção de três barragens. Nesse caso, o encurtamento artificial de meandros e o confinamento do rio entre paredes de concreto tornou o rio mais conectado e acelerou sua vazão. As barragens, por sua vez, visam o controle da vazão acelerada e, como uma barreira física na seção transversal do canal, reduzem a conectividade ao reter água e sedimentos e afetam a transmissão desses materiais a jusante. Com tal cenário, a RMSP precisa constantemente alocar recursos para as custosas obras de melhoria da capacidade de escoamento do Alto Tietê, na tentativa de evitar maiores impactos econômicos e sociais associados ao comportamento hidrológico de um rio meândrico canalizado.

Por meio do estudo dessa interação entre a ação antrópica e os sistemas fluviais através de levantamentos do tipo, pode-se contribuir a estudos de vulnerabilidade, exposição e resiliência frente a mudanças ambientais. Para pesquisas futuras relacionadas à conectividade no contexto da bacia do Alto Tietê, destaca-se a relevância de avaliações mais quantitativas do que foi discutido aqui, com medições dos parâmetros comentados e outros pertinentes. Como o recorte espacial deu destaque à macrodrenagem, e mais especificamente ao rio principal, este estudo teve um caráter mais generalista. Considerações acerca do papel da microdrenagem podem indicar outros indicadores de conectividade hidrossedimentológica e geomorfológica, assim como abordar as intervenções nos afluentes do Tietê e as consequentes mudanças nos padrões de conectividade (não apenas longitudinal, mas também lateral e/ou vertical) por toda a bacia hidrográfica.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, Aziz. A Planície do Tietê no Planalto Paulistano. **Geomorfologia**, v. 57, p. 1–24, 1978.
- AB'SABER, Aziz Nacib. **Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo**. 1956. Doutorado - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1956.
- AB'SABER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil - potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- AB'SABER, Aziz Nacib. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, v. 18, p. 1–23, 1969.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de segurança de barragens 2018**. Brasília: [s. n.], 2019.
- BERGER, Antony R.; IAMS, William J. (org.). **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: Balkema, 1996.
- BEST, Jim. Anthropogenic stresses on the world's big rivers. **Nature Geoscience**, v. 12, n. 1, p. 7–21, 2019.
- BIERMAN, Paul R.; MONTGOMERY, David R. **Key concepts in geomorphology**. New York, NY: W.H. Freeman and Company Publishers: A Macmillan Higher Education Company, 2014.
- BIERMANN, F. *et al.* Navigating the Anthropocene: Improving Earth System Governance. **Science**, v. 335, n. 6074, p. 1306–1307, 2012.
- BORSELLI, Lorenzo; CASSI, Paola; TORRI, Dino. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. **CATENA**, v. 75, n. 3, p. 268–277, 2008.
- BRIERLEY, Gary; FRYIRS, Kirstie; JAIN, Vikrant. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. **Area**, v. 38, n. 2, p. 165–174, 2006.
- BRITO, Francisco Rodrigues Saturnino de. **Melhoramentos do Rio Tietê em São Paulo**. São Paulo: Seção de Obras d'O Estado de São Paulo, 1926.
- BROOKES, Andrew. River channel adjustments downstream from channelization works in England and Wales. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 12, n. 4, p. 337–351, 1987.
- BROOKES, Andrew. River channelization: traditional engineering methods, physical consequences and alternative practices. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 9, n. 1, p. 44–73, 1985.
- BROWN, Eric H. Man Shapes the Earth. **The Geographical Journal**, v. 136, n. 1, p. 74, 1970.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CANHOLI, Aluísio Pardo. O PLANO DIRETOR DE MACRODRENAGEM DA BACIA DO ALTO TIETÊ – ARQUITETURA GERAL E PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES. *In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 2003, Curitiba. **Desafios à gestão da água no limiar do século XXI**. Curitiba, 2003. p. 21.

CARDIA, Ruben José Ramos. UMA CONVERSA SOBRE CANAIS E HIDROVIAS. *In: 17º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL*, 2021, Belo Horizonte - MG. **Anais [...]**. Belo Horizonte - MG: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2021.

CARVALHO, D. L. R. DE. **Indicadores geomorfológicos de mudanças ambientais no sistema fluvial do Alto Tietê (município de São Paulo): pesquisa documental**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 2006.

CARVALHO, Juliana Wilse Landolfi Texeira De; MARANGON, Fernando Helmuth Syring; SANTOS, Irani Dos. Recuperação de rios urbanos: da interdependência e sincronicidade dos processos de desnaturalização em rios e bacias hidrográficas urbanas. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 40, p. 163–174, 2020.

CESAR NETO, Júlio Cerqueira. Macrodrenagem na RMSP. **Revista Engenharia**, v. 569, n. 62, 2005.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Toxicidade e genotoxicidade de água intersticial proveniente de sedimento na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê (UGRHI 6)**. São Paulo: CETESB, 2017. .

CHIN, Anne. Urban transformation of river landscapes in a global context. **Geomorphology**, v. 79, n. 3–4, p. 460–487, 2006.

CHORLEY, Richard J. The Drainage Basin as the Fundamental Geomorphic Unit. *In: CHORLEY, Richard J.; BARRY, Roger G. **Water, earth and man: a synthesis of hydrology, geomorphology and socio-economic geography***. London: Methuen, 1969.

CHORLEY, Richard J.; SCHUMM, Stanley Alfred; SUGDEN, David E. **Geomorphology**. London; New York: Methuen, 1985.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia fluvial**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CIENCIALA, Piotr. Vegetation and Geomorphic Connectivity in Mountain Fluvial Systems. **Water**, v. 13, n. 5, p. 593, 2021.

COLTRINARI, Lylia. Mudanças ambientais globais e geoindicadores. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 307–314, 2001.

CRUTZEN, Paul J.; STOERMER, Eugene F. The Anthropocene. **IGBP Global Change Newsletter**, v. 41, n. 17, p. 17–18, 2000.

DA LUZ, Rodolfo Alves; RODRIGUES, Cleide. Anthropogenic changes in urbanised hydromorphological systems in a humid tropical environment: River Pinheiros, Sao Paulo, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues**, v. 59, n. 2, p. 109–135, 2015.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. DAEE renova contrato para desassorear 41 km do rio Tietê. *In*: DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 27 jan. 2021a. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/site/daee-renova-contrato-para-desassorear-41-km-do-rio-tiete/>. Acesso em: 17 jan. 2024.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Desassoreamento no rio Tietê já removeu mais de 2 mil pneus entre 2019 e 2021. *In*: DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 2 jun. 2021b. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/site/desassoreamento-no-rio-tiete-ja-removeu-mais-de-2-mil-pneus-entre-2019-e-2021/>. Acesso em: 17 jan. 2024.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Governo anuncia medidas para mitigar impacto de cheias no Estado. *In*: DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 2 mar. 2022. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/site/governo-anuncia-medidas-para-mitigar-impacto-de-cheias-no-estado/>. Acesso em: 17 jan. 2024.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Terceiro Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê - PDMAT 3. Relatório nº 7: DSA - Diagnóstico da Situação Atual - TOMO I**. São Paulo: DAEE, 2012. Disponível em: [daee.sp.gov.br/site/macrodrenagem/](http://www.daee.sp.gov.br/site/macrodrenagem/). .

DAMASCO, Fernando S; CUNHA, Sandra Baptista da. RECONSTITUIÇÃO DAS ALTERAÇÕES EM CANAIS FLUVIAIS URBANIZADOS COM BASE NA CARTOGRAFIA HISTÓRICA: BACIA DOS RIOS GUAXINDIBA/ALCÂNTARA (RJ). **REVISTA GEONORTE**, v. 10, n. 1, Edição Especial 4, p. 446–452, 2014.

DEAN, Warren. **A ferro e fogo: a história e a devastação da mata atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

DOUGLAS, Ian. **The urban environment**. London ; Baltimore, Md: E. Arnold, 1983.

EMAE - EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA S/A. Usina Elevatória de Traição. *In*: EMAE. [s. d.]. Disponível em: <http://www.emae.sp.gov.br/elevatorias2.htm>.

FABHAT - FUNDAÇÃO AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. **Caderno de Estruturas Existentes – Vol. 1 e 2: Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê**. São Paulo: FABHAT-Consórcio COBRAPE/JNS, 2018.

FAGUNDES, Alessandra; LUPINACCI, Cenira Maria. Urbanização e Alterações geomorfológicas: O Caso da Bacia Hidrográfica do Córrego Lavapés – Rio Claro (SP). **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 33, p. 47, 2017.

FF - FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Várzea do Rio Tietê**. São Paulo: Fundação Florestal e Universidade de São Paulo, 2013.

FORNASARI FILHO, Nilton; BRAGA, Tâina de Oliveira (org.). **Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992. (Boletim, v. 61).

FRYIRS, Kirstie A. *et al.* Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. **CATENA**, v. 70, n. 1, p. 49–67, 2007.

FUSP - FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Relatório Final**. São Paulo: Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, 2009.

GARRIDO, Juan. Calha do Tietê: Ampliação chega na reta final. **Revista Engenharia**, v. 569, n. 62, 2005.

GOUDIE, Andrew. Human influence in geomorphology. **Geomorphology**, v. 7, n. 1–3, p. 37–59, 1993.

GOUDIE, Andrew Shaw; VILES, Heather A. **Geomorphology in the Anthropocene**. Cambridge: Cambridge university press, 2016.

GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz Caccia. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da geomorfologia antropogênica na bacia hidrográfica do Rio Tamanduateí, na região metropolitana de São Paulo**. 2010. Doutorado - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

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.

GUPTA, Avijit. Geoinicators for tropical urbanization. **Environmental Geology**, v. 42, n. 7, p. 736–742, 2002.

HAFF, P. K. Neogeomorphology, Prediction, and the Anthropic Landscape. *In*: WILCOCK, Peter R.; IVERSON, Richard M. (org.). **Geophysical Monograph Series**. Washington, D. C: American Geophysical Union, 2013. p. 15–26.

HAMMER, Thomas R. Stream channel enlargement due to urbanization. **Water Resources Research**, v. 8, n. 6, p. 1530–1540, 1972.

HOCKIN, D. L. Channelization: Some Engineering Aspects. **The Geographical Journal**, v. 151, n. 1, p. 54, 1985.

HOOKE, J.M. Changes in river meanders: a review of techniques and results of analyses. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 8, n. 4, p. 473–508, 1984.

HOOKE, Janet. Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. **Geomorphology**, v. 56, n. 1–2, p. 79–94, 2003a.

HOOKE, Janet. River meander behaviour and instability: a framework for analysis. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 28, n. 2, p. 238–253,

2003b.

HOOKE, Janet; SOUZA, Jonas. Challenges of mapping, modelling and quantifying sediment connectivity. **Earth-Science Reviews**, v. 223, p. 103847, 2021.

ISLAM, Aznarul *et al.* (org.). **Fluvial Systems in the Anthropocene**. Cham: Springer International Publishing, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-11181-5>.

KONDOLF, G. Mathias; PIÉGAY, Hervé (org.). **Tools in fluvial geomorphology**. Second editioned. Oxford Chichester, West Sussex Hoboken, NJ: Wiley Blackwell, 2016. (Advancing river restoration and management).

LEOPOLD, Luna B.; WOLMAN, M. Gordon; MILLER, John P. **Fluvial processes in geomorphology**. New editioned. New York: Dover Publications, 1995.

LUCCHESI, Maria Cecilia. A retificação e regularização do Rio Tietê no século XIX e os interesses a elas vinculados. *In*: XIII SEMINÁRIO DE HISTÓRIA DA CIDADE E DO URBANISMO, 2014, Brasília. **Tempos e Escalas da Cidade e do Urbanismo**. Brasília: Editora FAU–UnB, 2014.

LUZ, Rodolfo Alves da. **Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo (SP), ao longo do processo de urbanização**. 2015. 246 f. Doutorado - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MARCHI, Lorenzo *et al.* Channel control works and sediment connectivity in the European Alps. **Science of The Total Environment**, v. 668, p. 389–399, 2019.

MARSH, George P. **Man and Nature; or, Physical Geography as Modified by Human Action**. London: Sampson Low, Son and Marston, 1864.

MENDES, Ricardo. S.A.R.A. Brasil: restituindo o Mapa Topográfico do Município de São Paulo. **Informativo Arquivo Histórico de São Paulo**, v. 10, n. 37, 2014.

MICHALEK, Alexander; ZARNAGHSH, Amirreza; HUSIC, Admin. Modeling linkages between erosion and connectivity in an urbanizing landscape. **Science of The Total Environment**, v. 764, p. 144255, 2021.

MONTEIRO, Peter Ribon. **São Paulo no centro das marginais: a imagem paulistana refletida nos Rios Pinheiros e Tietê**. 2010. Doutorado em Design e Arquitetura - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MONTEIRO JUNIOR, Laércio. **Infraestruturas urbanas: uma contribuição ao estudo da drenagem em São Paulo**. 2012. Mestrado em Planejamento Urbano e Regional - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, Isabel Cristina; RODRIGUES, Cleide. Mudanças morfológicas e efeitos hidrodinâmicos do processo de urbanização na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí – RMSP. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 257, 2017.

MURARO, Luis Eduardo De Oliveira; PEREIRA, Sueli Yoshinaga; PEREIRA, Paulo

Ricardo Brum. Características morfológicas da planície de inundação do Rio Atibaia, entre Campinas e Jaguariúna, SP, Brasil. **Terrae Didactica**, v. 15, p. e019029, 2019.

NAJAFI, Saeed *et al.* Sediment connectivity concepts and approaches. **CATENA**, v. 196, p. 104880, 2021.

NIR, Dov. **Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology**. Jerusalem: Keter Publishing, 1983.

OLIVEIRA, A. M. S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios: exemplo do reservatório de Capivara, Rio Paranapanema, SP/PR**. 1994. Doutorado - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

OVEREEM, I.; KETTNER, A.J.; SYVITSKI, J.P.M. 9.40 Impacts of Humans on River Fluxes and Morphology. *In*: TREATISE ON GEOMORPHOLOGY. [S. l.]: Elsevier, 2013. p. 828–842.

OWENS, Philip N. Soil erosion and sediment dynamics in the Anthropocene: a review of human impacts during a period of rapid global environmental change. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 12, p. 4115–4143, 2020.

PALSSON, Gisli *et al.* Reconceptualizing the ‘Anthropos’ in the Anthropocene: Integrating the social sciences and humanities in global environmental change research. **Environmental Science & Policy**, v. 28, p. 3–13, 2013.

PASCHOAL, Letícia Giuliana; SIMON, Adriano Luís Heck; DA CUNHA, Cenira Maria Lupinacci. GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA E SUA INSERÇÃO EM PESQUISAS BRASILEIRAS. **Geographia Meridionalis**, v. 1, n. 1, p. 95, 2015.

PEREZ FILHO, Archimedes; QUARESMA, Cristiano Capellani. AÇÃO ANTRÓPICA SOBRE AS ESCALAS TEMPORAIS DOS FENÔMENOS GEOMORFOLÓGICOS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2012.

PMSP/IPT. **RELATÓRIO DA CARTA GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, 1992.

POEPPL, Ronald E. *et al.* Managing sediment (dis)connectivity in fluvial systems. **Science of The Total Environment**, v. 736, p. 139627, 2020.

POEPPL, Ronald E.; KEESSTRA, Saskia D.; MAROULIS, Jerry. A conceptual connectivity framework for understanding geomorphic change in human-impacted fluvial systems. **Geomorphology**, v. 277, p. 237–250, 2017.

RIBEIRO, Milton Cezar *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009.

RICCOMINI, Claudio. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. 1990. Doutorado em Geologia Sedimentar - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

RODRIGUES, Cleide. **Geomorfologia aplicada: avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros**. Doutorado—São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas,

Universidade de São Paulo, 1997.

RODRIGUES, Cleide. A urbanização da metrópole sob a perspectiva da geomorfologia: tributo a leituras geográficas. *In*: CARLOS, Ana Fani A.; OLIVEIRA, Ariovaldo Umbelino de (org.). **Geografias de São Paulo**. São Paulo: Contexto, 2004.

RODRIGUES, Cleide *et al.* Antropoceno e mudanças geomorfológicas: sistemas fluviais no processo centenário de urbanização de São Paulo. **Instituto Geológico**, v. 40, n. 1, p. 105–123, 2019.

RODRIGUES, Cleide. Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano. O exemplo das planícies fluviais na Metrópole de São Paulo. **GEOUSP Espaço e Tempo**, v. 19, n. 2, p. 324–347, 2015.

RODRIGUES, Cleide. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidro-geomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 111–125, 2010.

RODRIGUES, Cleide. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 101–111, 2005.

RODRIGUES, Cleide; ADAMI, Samuel Fernando. Técnicas de Hidrografia. *In*: VENTURI, Luis Antonio Bittar (org.). **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Ed. Sarandi, 2011. (Coleção Praticando).

RODRIGUES, C.; GOUVEIA, I. C. M. C. A importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido. Exemplos na Grande São Paulo. *Em*: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. DO C. O. (Eds.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 192.

RODRIGUEZ, Sergio Kleinfelder. **Geologia urbana da região metropolitana de São Paulo**. 1998. Doutorado em Geologia Sedimentar - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; MOROZ, Isabel Cristina. MAPA GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Geography Department, University of Sao Paulo**, p. 41–58, 1996.

SANTOS, Fábio Alexandre dos. **Domando águas: salubridade e ocupação do espaço na cidade de São Paulo, 1875-1930**. São Paulo, SP: Alameda, 2011.

SANTOS, Elina O. Tietê, o rio de São Paulo. *In*: AZEVEDO, Aroldo de. **A cidade de São Paulo: estudos de geografia urbana**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1958. v. Volume 1-A região de São Paulo, p. 45–67.

SÃO PAULO (ESTADO). **Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH e dá providências correlatas**. 14 dez. 2016.

SÃO PAULO (ESTADO). **Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 30 dez. 1991.

SEABRA, Odette Carvalho De Lima. **Os meandros dos rios nos meandros do poder: Tietê e Pinheiros - valorização dos rios e das várzeas na cidade de São Paulo**. 1987. Doutorado em Geografia Humana - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

SEMIL - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA. Sobre o programa. *In*: INTEGRATIETÊ. 2023. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/integratiete/programa/>. Acesso em: 17 jan. 2024.

SHERLOCK, Robert Lionel. **Man as a Geological Agent: An Account of His Action on Inanimate Nature**. 1. ed. London: H. F. and G. Witherby, 1922.

SILVA, L. P. DA. **Relatorio apresentado pelo engenheiro chefe da Comissão de Melhoramentos dos Rios Tietê e Tamandateí, ao Secretário de Obras da Prefeitura Municipal de São Paulo, compreendendo os estudos e os trabalhos realizados até 1 de janeiro de 1950**. São Paulo: Comissão de Melhoramentos do Rio Tietê, 1950.

STEFFEN, Will *et al.* The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. **The Anthropocene Review**, v. 2, n. 1, p. 81–98, 2015.

SYVITSKI, Jaia *et al.* Earth's sediment cycle during the Anthropocene. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 3, n. 3, p. 179–196, 2022.

SZABÓ, József; DÁVID, Lóránt; LÓCZY, Dénes (org.). **Anthropogenic geomorphology: a guide to man-made landforms**. Dordrecht: Springer, 2010.

THOMAS, Michael Frederic. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. Chichester [England]; New York: Wiley, 1994.

THOMAS JR, William L (org.). **Man's Role in Changing the Face of the Earth**. Chicago: The University of Chicago Press, 1956. Disponível em: <https://archive.org/details/in.gov.ignca.5089>.

TISCHENDORF, Lutz; FAHRIG, Lenore. On the usage and measurement of landscape connectivity. **Oikos**, v. 90, n. 1, p. 7–19, 2000.

TUCCI, Carlos E. M. Controle de enchentes. *In*: TUCCI, Carlos E M (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS; ABRH, 2001.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Inundações urbanas. *In*: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; BARROS, Mario Thadeu Leme De; PORTO, Rubem La Laina (org.). **Drenagem Urbana**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 2015.

WALLING, D.E. Human impact on land–ocean sediment transfer by the world's rivers. **Geomorphology**, v. 79, n. 3–4, p. 192–216, 2006.

WALLING, D. E. Linking land use, erosion and sediment yields in river basins. **Hydrobiologia**, v. 410, p. 223–240, 1999.

WALLING, D. E. The sediment delivery problem. **Journal of Hydrology**, v. 65, n. 1, Scale Problems in Hydrology, p. 209–237, 1983.

WARD, J. V. The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 8, n. 1, p. 2–8, 1989.

WARNER, Robin F. Natural and artificial linkages and discontinuities in a Mediterranean landscape: Some case studies from the Durance Valley, France. **CATENA**, v. 66, n. 3, p. 236–250, 2006.

WOHL, Ellen *et al.* Connectivity as an emergent property of geomorphic systems. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 44, n. 1, p. 4–26, 2018.

WOHL, Ellen. Connectivity in rivers. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 41, n. 3, p. 345–362, 2017.

ZANANDREA, Franciele *et al.* CONECTIVIDADE DOS SEDIMENTOS: CONCEITOS, PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1754>. Acesso em: 1 mar. 2023.

ZĂVOIANU, Ion. **Morphometry of drainage basins**. 2nd rev. eded. Amsterdam ; New York : Bucharest, Romania: Elsevier ; Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1985. (Developments in water science, v. 20).