

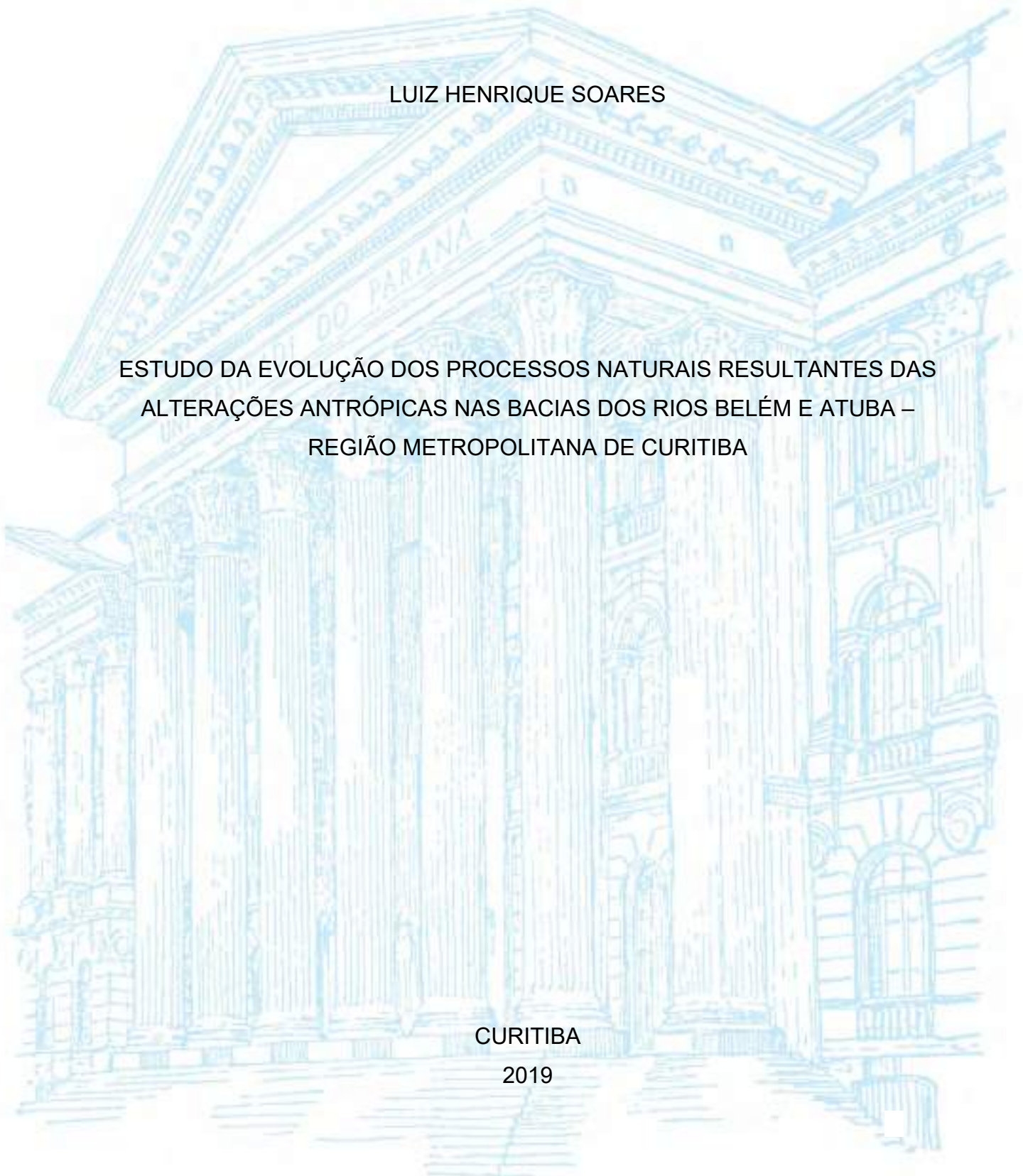
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA

LUIZ HENRIQUE SOARES

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS NATURAIS RESULTANTES DAS
ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NAS BACIAS DOS RIOS BELÉM E ATUBA –
REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

CURITIBA

2019



LUIZ HENRIQUE SOARES

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS NATURAIS RESULTANTES DAS
ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NAS BACIAS DOS RIOS BELÉM E ATUBA – REGIÃO
METROPOLITANA DE CURITIBA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Paraná como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. M.Sc Renato Eugenio de Lima

CURITIBA

2019

À Albertina Bertan Soares, mulher mais guerreira que eu conheço, obrigado por tudo
mãe.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo suporte emocional e financeiro durante todo o período de graduação, no qual estive ausente da minha cidade natal, e, conseqüentemente, do convívio familiar.

À todos os amigos que passaram pela República Véio de Guerra, pelo apoio emocional e crescimento pessoal que proporcionaram.

À UFPR, pelo ensino superior GRATUITO de qualidade.

À toda a equipe do CENACID, pelo apoio no projeto de pesquisa e suporte técnico para a realização do projeto de estudo — especialmente ao professor M.Sc. Renato Eugenio de Lima pela orientação.

Ao químico Dr. Rodolfo Debone Piazza, pelo auxílio acadêmico na produção do projeto de pesquisa.

À todos os professores de diferentes departamento que contribuíram de alguma forma para minha formação, e, em especial, aos professores do Departamento de Geologia pelo conhecimento transmitido.

Aos amigos proto-geólogos, pela convivência e apoio durante todo o período de graduação, especialmente ao meu amigo Andreas Pauli de Castro pelo apoio na reta final de graduação.

RESUMO

O avanço da urbanização acarreta inúmeras mudanças na dinâmica natural das bacias hidrográficas. No presente trabalho, realizou-se a confecção de cartas temáticas da evolução temporal e espacial de cursos fluviais, e de uso e ocupação do solo, com o intuito de verificar as mudanças dos processos naturais resultantes das modificações antrópicas ao longo do tempo, assim como de propor recomendações para atenuar e mitigar os efeitos ambientais adversos gerados. Para tanto, foram escolhidas quatro áreas-tipo — duas pertencentes a bacia do rio Belém, e duas a bacia do rio Atuba. As cartas temáticas foram elaboradas a partir de fotos aéreas de 1957 e 1980, imagens de satélite de 2019, e mediante a utilização de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), evidenciando a mudança dos cursos fluviais e as proporções de classes de uso e ocupação do solo nos três anos escolhidos para cada área-tipo. A análise dos resultados obtidos, em conjunto com a bibliografia referente aos estudos dos processos naturais em bacias hidrográficas urbanas ao redor do mundo, permitiram estabelecer que: o desmatamento e a fragmentação do solo para o estabelecimento de construções geram um pico de erosão, e, conseqüentemente, de aporte sedimentar em bacias urbanas em início de urbanização; a retificação dos canais fluviais gera aumento da energia de transporte e da capacidade dos rios, resultando no entalhamento do leito e na erosão de suas margens; os avanços da impermeabilização dos interflúvios e do próprio canal fluvial em bacias densamente urbanizadas aumentam o escoamento superficial e a vazão dos rios, aumentando, concomitantemente, a suscetibilidade de inundações. Ademais, apontamos que as alterações antrópicas podem ser atenuadas, prevenidas e/ou mitigadas por meio do estabelecimento de políticas públicas que propiciem uma visão multidisciplinar de todos os processos inerentes às formas de uso e ocupação do solo. Ao final do trabalho, propomos algumas recomendações que visam a otimização da gestão dos recursos hídricos e do planejamento urbano nas áreas de estudo.

Palavras chave: Alterações antrópicas, processos naturais, uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

The advance of urbanization entails several changes in the natural dynamics of hydrographic basins. In the present work, thematic charts of the temporal and spatial evolution of river courses, and of land use and occupation, were made, in order to verify the changes of natural processes due to anthropogenic alterations over time, as well as to propose recommendations to attenuate and mitigate eventual adverse environmental effects. To this end, four type-areas were chosen — two belonging to Belém's river basin, and two to Atuba's river basin. The thematic charts were elaborated from aerial photos from 1957 and 1980, satellite images from 2019, and using Geographic Information System (GIS) tools, and they evidence the river course alterations and the proportions of classes of land use and occupation in the three chosen years for each type-area. The analysis of the results, along with the literature on natural process studies in urban hydrographic basins around the world, allowed us to define that: deforestation and soil fragmentation for the establishment of constructions generate an erosion peak, and, consequently, a peak of sedimentary input in urban basins in the beginning of urbanization; river channel rectification generates increased transport energy and river capacity, resulting in downcutting in the riverbed and erosion of its banks; the advances in the waterproofing of interfluvium and of the river channel itself in densely urbanized basins increase surface runoff and river flow rates, increasing, concomitantly, the susceptibility to flooding. Furthermore, we point out that anthropogenic changes can be attenuated, prevented and/or mitigated through the establishment of public policies which provide a multidisciplinary view of all processes inherent to land use and occupation. At the end of our work, we propose some recommendations that aim to optimize water resources management and urban planning in the areas of study.

Keywords: Anthropic changes, land use and occupation, natural processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das áreas de estudo. Fonte: O Autor, 2019; modificado de Águas Paraná, 2004.	16
Figura 2: Mapa Geológico das Bacias dos rios Belém e Atuba. Fonte: O Autor, 2019; modificado de Águas Paraná, 2004.....	19
Figura 3: Quatro tipos fundamentais de canais fluviais. Fonte: Teixeira et al., 2009, adaptado de Miall, 1977.	23
Figura 4: Diagrama esquemático mostrando a influência da ocupação do solo no ciclo hidrológico. Fonte: União Européia, 2012.	29
Figura 5: Esquema evidenciando a retificação do curso fluvial e sua consequente aumento de vazão e energia do fluxo. Fonte: Oliveira, 1998; modificado de Murck, Skinner e Porter, 1996.....	30
Figura 6: Sobreposição dos traçados fluviais dos anos de 1957, 1980 e 2019 na área-tipo Curso do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço. Fonte: O Autor, 2019.	36
Figura 7: Sobreposição dos traçados fluviais dos anos de 1957, 1980 e 2019 na área-tipo Curso do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo. Fonte: O Autor, 2019.	37
Figura 8: Sobreposição dos traçados fluviais dos anos de 1957, 1980 e 2019 na área-tipo Curso do rio Atuba – Confluência com o rio Bacacheri. Fonte: O Autor, 2019.	38
Figura 9: Sobreposição dos traçados fluviais dos anos de 1957, 1980 e 2019 na área-tipo Curso do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguaçu. Fonte: O Autor, 2019.	39
Figura 10: Cartas de Uso e ocupação do solo da área-tipo bacia do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço, mostrando da esquerda para direita os anos de 1957, 1980 e 2019 em escala de 1:40.000. Fonte: O Autor, 2019.	42
Figura 11: Cartas de Uso e ocupação do solo da área-tipo bacia do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo, mostrando da esquerda para direita os anos de 1957, 1980 e 2019 em escala de 1:40.000. Fonte: O Autor, 2019.	44
Figura 12: Cartas de Uso e ocupação do solo da área-tipo bacia do rio Atuba – Confluência com o rio Bacacheri, mostrando da esquerda para direita os anos de 1957, 1980 e 2019 em escala de 1:40.000. Fonte: O Autor, 2019.	46

Figura 13: Cartas de Uso e ocupação do solo da área-tipo bacia do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguaçu, mostrando da esquerda para direita os anos de 1957, 1980 e 2019 em escala de 1:40.000. Fonte: O Autor, 2019.	48
Figura 14: Ciclo da evolução temporal da produção de sedimentos, relacionadas com uso do solo e condições do canal. Fonte: Girão e Corrêia, 2015; adaptado de Wolman, 1967.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de sinuosidade de rios	24
Tabela 2: Síntese dos processos erosivos causados pela ação antrópica.....	26
Tabela 3: Quantificação das classes de uso e ocupação do solo na área-tipo bacia do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço. Em verde está destacado o somatório da proporção de área que manteve sua permeabilidade original, e em vermelho as áreas que possuem sua permeabilidade reduzida ou anulada.....	42
Tabela 4: Quantificação das classes de uso e ocupação do solo na área-tipo bacia do rio Belém – Confluência com os rios Água verde e Ivo. Em verde está destacado o somatório da proporção de área que manteve sua permeabilidade original, e em vermelho as áreas que possuem sua permeabilidade reduzida ou anulada.	44
Tabela 5: Quantificação das classes de uso e ocupação do solo na área-tipo bacia do rio Atuba – Confluência com o rio Bacacheri. Em verde está destacado o somatório da proporção de área que manteve sua permeabilidade original, e em vermelho as áreasd que possuem sua permeabilidade reduzida ou anulada.	46
Tabela 6: Quantificação das classes de uso e ocupação do solo na área-tipo bacia do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguaçu. Em verde está destacado o somatório da proporção de área que manteve sua permeabilidade original, e em vermelho as áreas que possuem sua permeabilidade reduzida ou anulada.	48

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ÁGUAS PARANÁ – Instituto das Águas do Paraná

APP – Área de Preservação Permanente

CENACID – Centro de Apoio Científico em Desastres

GIS – Geographic Information System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPPUC – Instituto Público de Planejamento Urbano de Curitiba

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná

LIG – Laboratório de Informática da Geologia

RMC – Região Metropolitana de Curitiba

SIG – Sistema de Informações Geográfica

UFPR – Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
2 GEOLOGIA REGIONAL	16
2.1 SEQUÊNCIAS PRÉ-CAMBRIANAS	17
2.2 PROVÍNCIA ÍGNEA DO PARANÁ	17
2.3 FORMAÇÕES CENOZÓICAS	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 USO E ZONEAMENTO DO SOLO	19
3.2 MORFOLOGIA FLUVIAL	22
3.3 PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 PESQUISA E LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	31
4.2 OBTENÇÃO DE DADOS	31
4.3 TRATAMENTO DE DADOS.....	32
4.4 FOTO ANÁLISE E FOTOINTERPRETAÇÃO	32
4.5 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM.....	32
4.6 GERAÇÃO DE CARTAS TEMÁTICAS	33
4.7 ANÁLISE DE DADOS	34
5 RESULTADOS	34
5.1 EVOLUÇÃO DOS CURSOS FLUVIAIS	34
5.1.1 Curso do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço.....	35
5.1.2 Curso do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo	36
5.1.3 Curso do rio Atuba – Confluência com o rio Bacacheri.....	37
5.1.4 Curso do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguaçu	38

5.2 EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	39
5.2.1 Uso e ocupação do solo na bacia do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço	40
5.2.2 Uso e ocupação do solo na bacia do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo	43
5.2.3 Uso e ocupação do solo na bacia rio Atuba – Confluência com o rio Bacacheri.....	45
5.2.4 Uso e ocupação do solo na bacia do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguaçu.....	47
6 DISCUSSÕES E ANÁLISES	49
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	56
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE I: CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL – CURSO DO RIO BELÉM – ARREDORES DO PARQUE SÃO LOURENÇO	65
APÊNDICE II: CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL – CURSO DO RIO BELÉM – CONFLUÊNCIA COM OS RIOS ÁGUA VERDE E IVO	67
APÊNDICE III: CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL – CURSO DO RIO ATUBA – CONFLUÊNCIA COM O RIO BACACHERI.....	69
APÊNDICE IV: CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL – CURSO DO RIO ATUBA – CONFLUÊNCIA COM OS RIOS IRAÍ E IGUAÇU	71
APÊNDICE V: CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO – BACIA DO RIO BELÉM – ARREDORES DO PARQUE SÃO LOURENÇO	73
APÊNDICE VI: CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO – BACIA DO RIO BELÉM – CONFLUÊNCIA COM OS RIOS ÁGUA VERDE E IVO .	75
APÊNDICE VII: CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO – BACIA DO RIO ATUBA – CONFLUÊNCIA COM O RIO BACACHERI.....	77
APÊNDICE VIII: CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO – BACIA DO RIO ATUBA – CONFLUÊNCIA COM OS RIOS IRAÍ E IGUAÇU	79

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Curitiba é reconhecida internacionalmente como detentora de um dos melhores índices de qualidade de vida entre as capitais dos estados brasileiros (IBGE, 2010). No entanto, o seu crescimento acelerado — principalmente a partir da década de 1970, com uma abordagem predatória da retirada de recursos naturais da região, aliada com a política altamente industrializante dos governos do início do milênio (BRASILIO, 2005) — colaborou com a degradação de tal qualidade, e gerou uma demanda de esforços para a melhor preservação dos recursos hídricos nesta região.

Antes do foco na industrialização da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), a economia era baseada, resumidamente, em três gêneros — 1) minerais não-metálicos, 2) madeira, e 3) produtos alimentares (BRASILIO, 2005) —, com ênfase na disponibilidade e intensivo uso e predação dos recursos naturais da região sem a utilização de capacidade tecnológica, e, principalmente, na mão de obra de região rurais. Parte dessa política de uso inadequado de recursos se deveu majoritariamente a falta de legislações que determinassem o uso adequado dos mesmos e ao próprio desconhecimento das consequências de tais métodos predatórios na dinâmica natural.

Com o advento da industrialização na década de 1970, os problemas provenientes desse uso irracional dos recursos naturais, tais como a poluição de rios, as enchentes, a contaminação de mananciais, dentre outros, apareceram contemporaneamente à intensiva vinda de mão de obra para trabalhar nos centros industriais urbanos da RMC.

Entretanto, algumas alternativas para amenizar esses impactos negativos foram encontradas; exemplo disso é a construção de parques ao longo de canais fluviais, com lagos artificiais, que retêm a água por mais tempo, diminuindo a descarga do rio a jusante do parque, e reduzindo a capacidade destrutiva (e, conseqüentemente, a causa de enchentes), além de servirem como espaço de lazer para a população, e impedirem a ocupação irregular nas margens dos rios (CURITIBA, 2010).

Considerando esses fatores, torna-se ainda mais compreensível como o conhecimento dos processos hidrossedimentológicos (erosão, transporte e deposição de sedimentos) é de vital importância para o entendimento de como a dinâmica fluvial tem repercussão sobre as variáveis socioeconômicas de uma dada região (SARI *et al.*, 2013): a erosão, por exemplo, pode causar assoreamento de represas, acarretando a diminuição da capacidade de armazenamento e impactando na finalidade para o qual o reservatório foi construído. Além disso, os sedimentos depositados nas calhas dos rios elevam o nível de água, podendo causar inundações que agravam os problemas socioambientais das regiões onde estão localizados.

A presente monografia busca, por meio 1) do emprego de ferramentas de sensoriamento remoto e 2) da confecção de cartas temáticas de mudança do curso fluvial e de uso e ocupação do solo em trechos específicos das bacias dos rios Belém e Atuba, a compreensão da evolução temporal e espacial dos processos naturais, focando principalmente nos fatores hidrossedimentológicos resultantes das modificações antrópicas na região — mais afetada por se encontrar na localidade de maior densidade urbana da RMC.

Os estudos da evolução dos processos naturais são relevantes não apenas para uma definição das políticas de uso e ocupação do solo na bacia, mas também para o enfrentamento da problemática da ocupação indevida das margens dos rios, com processos industriais e urbanos que afetam diretamente a configuração fluvial e a poluição desses cursos d'água.

1.1 JUSTIFICATIVA

Estudos como este se tornam necessários por diversas razões, como, por exemplo, as recorrentes inundações e alagamentos registrados na Região Metropolitana de Curitiba, os episódios relacionados à saúde das comunidades associadas ao “*sistema natural rio*”, e as questões referentes ao saneamento básico; a atuação humana interfere nos processos hidrossedimentológicos que atuam diretamente na situação do canal de drenagem, e controlam os processos de retenção e escoamento das vazões na enchente (facilitando ou dificultando

inundações e a eventual contaminação na planície de inundação, e, inclusive, interferindo na maior ou menor estabilidade da calha fluvial).

Desta forma, em um processo contínuo de causa-efeito, a influência antrópica atua no desencadeamento, redução ou ampliação destes processos físicos naturais, incluindo modificações na permeabilidade do solo, nas taxas de erosão, no transporte e deposição dos sedimentos nos rios, e afeta diretamente as formas e os processos físicos relacionados à dinâmica fluvial e suas consequências secundárias. Nesse sentido, e conseqüentemente, podemos apontar efeitos no aumento ou na redução de desastres naturais, problemas de saúde ambiental, impactos na paisagem, entre outros.

Ademais, a aplicação dos resultados em recomendações de políticas públicas e legislações apropriadas pode contribuir para um melhor aproveitamento dos recursos ambientais, a fim de proporcionar uma maior qualidade de vida para a população.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho foi efetuar a análise de fotos aéreas e imagens de satélite dos anos de 1957, 1980 e 2019, com a finalidade de fazer estudos sobre a evolução dos processos naturais resultantes das alterações antrópicas, e de suas inter-relações na dinâmica e nas condições gerais de trechos específicos das bacias dos rios Belém e Atuba, na RMC.

Os objetivos específicos incluem:

- a) Caracterizar a evolução do curso dos rios e canais fluviais;
- b) Evidenciar a evolução do uso e da ocupação do solo, a partir de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto;
- c) Apresentar recomendações de modificações de políticas públicas e de leis, para a melhoria da qualidade dos recursos ambientais associados aos locais estudados.

1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O rio Belém se estende por 17,13 km, e está localizado no município de Curitiba, no Primeiro Planalto Paranaense. Ele possui sua nascente localizada no bairro Cachoeira, na porção norte do município, em uma altitude de 1004 metros, e percorre vários bairros densamente urbanizados até desaguar no rio Iguaçu no bairro Boqueirão, porção sul do município, com foz na altitude de 877 metros. Sua bacia ocupa uma área de drenagem de 87,80 km² (CURITIBA, 2010), a qual é quase toda urbanizada, e abrange, além do centro da cidade, mais 35 bairros, com uso residencial, industrial, e algumas ocupações irregulares.

O rio Atuba está localizado na RMC, e determina, em parte, a divisa entre os municípios de Almirante Tamandaré, Colombo, Curitiba e Pinhais. Sua nascente está localizada no Distrito de Boichininga, no município de Colombo, a uma altitude de 1129 metros, próximo à divisa com Almirante Tamandaré; sua foz está localizada na divisa tríplice entre os municípios de Curitiba, Pinhais e São José dos Pinhais, a uma altitude de 876 metros, onde se encontra com o rio Iraí, formando o rio Iguaçu, nas proximidades da Rodovia BR-277. O rio Atuba está localizado em área de intensa ocupação urbana (porém em menor grau, quando comparada com a ocupação na bacia do rio Belém), possui uma área de drenagem de 128,6 km², e extensão total de 29,5 km (CURITIBA, 2010). Os rios Atuba e Bacacheri são considerados pontos de referência históricos, pois foi em suas margens que começou a ocupação do município de Curitiba.

Nas áreas das bacias em análise escolheu-se quatro área-tipos, nas quais efetuaram-se estudos mais detalhados (escala 1:10.000), referentes a evolução da paisagem, do curso fluvial e do uso e ocupação do solo. Dentre esses quatro locais, dois fazem parte da bacia do rio Belém, sendo o primeiro localizado mais a montante do rio nos arredores do Parque São Lourenço, e o segundo na porção central da bacia, nos arredores da Rodoferroviária, onde há a confluência com os rios Água Verde e Ivo. Os outros dois locais fazem parte da bacia do rio Atuba, sendo o primeiro localizado na confluência com o rio Bacacheri, e o segundo na confluência com o rio Iraí (formando o rio Iguaçu) — abrangendo ainda parte da bacia do rio Iguaçu; as localizações exatas das áreas-tipos estão dispostas a seguir, na figura 1.

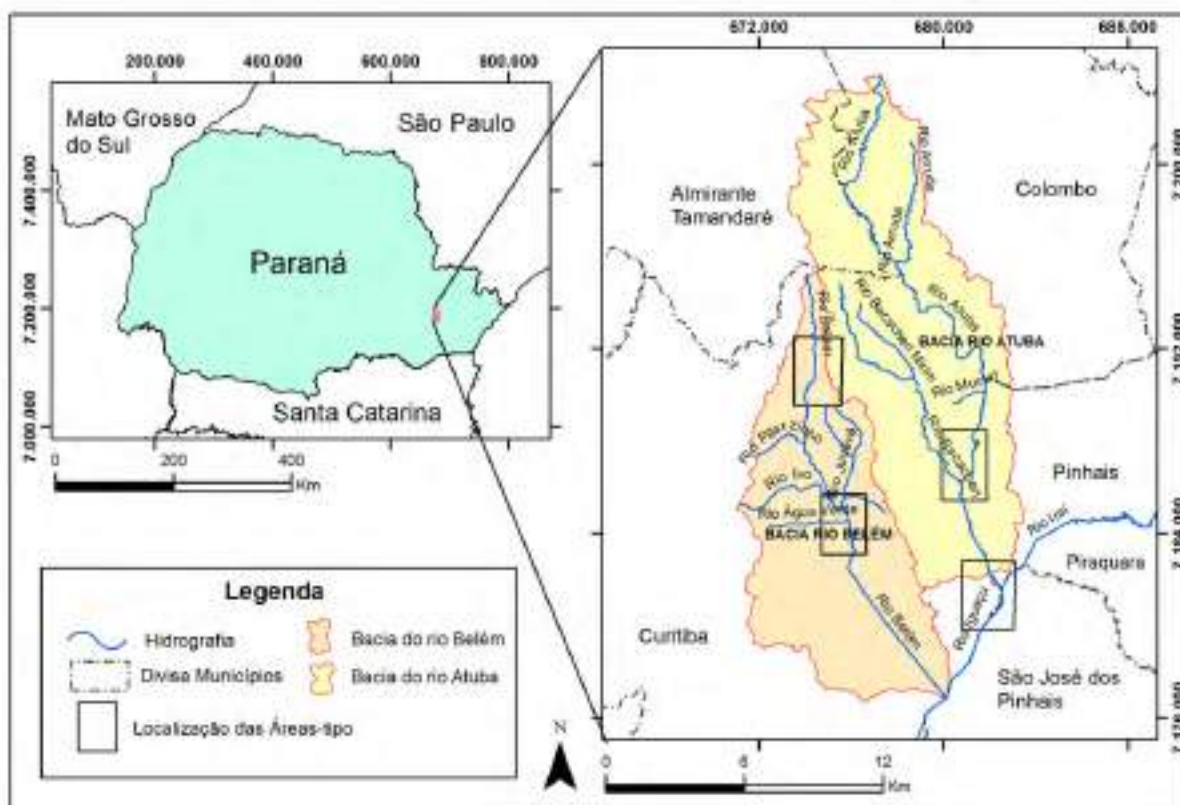


Figura 1: Localização das áreas de estudo. Fonte: O Autor, 2019; modificado de Águas Paraná, 2004.

2 GEOLOGIA REGIONAL

A geologia de Curitiba e arredores compreende duas partes fundamentais: a primeira é representada pelos terrenos pré-cambrianos formados respectivamente pelas rochas do Complexo Cristalino e do Grupo Açungui; a segunda é constituída pelas formações cenozoicas compostas pela Formação Guabirotuba e formações sedimentares recentes (GIUSTI, 1989). Há ainda uma terceira parte subordinada, formada temporalmente entre os terrenos pré-cambrianos e as formações cenozoicas, e denominada de Província Ígnea do Paraná (LICHT, 2014).

A geologia da RMC que abrange as bacias dos rios Belém e Atuba se encontra disposta na figura 2.

2.1 SEQUÊNCIAS PRÉ-CAMBRIANAS

Ocupando as regiões oeste e sudoeste de Curitiba, as rochas do Complexo Gnáissico-migmatítico são compostas, além de sua denominação básica, por rochas magmáticas, xistos magnesianos, anfibolitos, quartzitos, embrechitos e epibolitos (FUCK, 1971¹ *apud* GIUSTI, 1989). Tal complexo é caracterizado por aquíferos do tipo fissurado que englobam rochas cristalinas compostas por migmatitos, gnaisses e granitoides, recortados por sistemas de fraturamento superpostos ao longo de tempo geológico (FENDRICH, 2002).

As rochas do Grupo Açungui, mais especificamente da Formação Capiru, ocupam a parte norte e nordeste de Curitiba, e englobam parte dos municípios de Almirante Tamandaré, Colombo, Rio Branco do Sul, Campo Largo e Bocaiúva do Sul (ÁGUAS PARANÁ, 2004; GIUSTI, 1989). São constituídas principalmente por metacalcários e filitos, e, subordinadamente, por quartzitos, metarritmitos, sericitaxistos e metassiltitos (BIGARELLA; SALAMUNI, 1956; GIUSTI, 1989).

Nessa formação é comum a presença de feições cársticas com formações de grutas e dolinas originadas pela ação dissolvente das águas percolantes e circulantes através das rochas calcárias; tais processos resultam na formação de aquíferos cársticos, com águas de alta porcentagem de cálcio e magnésio dissolvidos (GIUSTI, 1989).

2.2 PROVÍNCIA ÍGNEA DO PARANÁ

A Província Ígnea do Paraná na RMC está disposta preferencialmente nas porções norte e nordeste, e arranjada por enxames intrusivos de diques com orientação preferencial NW (MILANI *et al.*, 2007). Possui composição basáltica toleítica (dioritos e diabásios), disposta principalmente em planos de fraqueza em rochas pré-cambrianas da Região Metropolitana de Curitiba.

¹ FUCK, R. A. Geologia do leste paranaense. In: *Congresso Brasileiro de Geologia 25*. São Paulo, 1971. Boletim Especial. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 191.

2.3 FORMAÇÕES CENOZÓICAS

A Formação Guabirota é caracterizada por rochas sedimentares de idade cenozoica, depositadas durante o preenchimento da Bacia de Curitiba. Segundo Fendrich (2002), é composta por sequências de argilitos e areias arcossianas, com quantidades reduzidas de sedimentos rudáceos.

O mesmo autor define os aquíferos da Formação Guabirota como restritos e exclusivamente ligados às lentes arcossianas e quartzosas, não possuindo uma boa potencialidade para o armazenamento de água subterrânea.

Os Depósitos Sedimentares Recentes compreendem os depósitos fluviais; de acordo com Giusti (1989), dada a escala dos levantamentos dos mapas geológicos, pode-se diferenciar desses os depósitos coluvionares, como demonstra o mapa geológico da figura 2, elaborado pelo Instituto das Águas do Paraná (2004) em uma escala de 1:10.000.

Tais unidades são bem representadas na zona sul do município de Curitiba, e abrangem ainda porções dos municípios de Pinhais e São José dos Pinhais. Nessa região, os principais afluentes do rio Iguaçu presentes na RMC desaguam no mesmo, resultando em depósitos de vários quilômetros de largura e espessuras de até 20 metros (GIUSTI, 1989). As distribuições de tais depósitos correspondem às mais baixas declividades dos rios da Bacia do Alto Iguaçu — sendo que, localmente, quando associados a algumas estruturas geológicas, originam barragens naturais, permitindo a deposição de parte de sua carga de sedimentos e formando as chamadas planícies de soleiras (FENDRICH, 2002). Fendrich (2002) relaciona também os depósitos aluvionares com a dinâmica fluvial, apontando-os como fatores significativos para a realização de políticas públicas de restrição ao uso e ocupação do solo urbano.

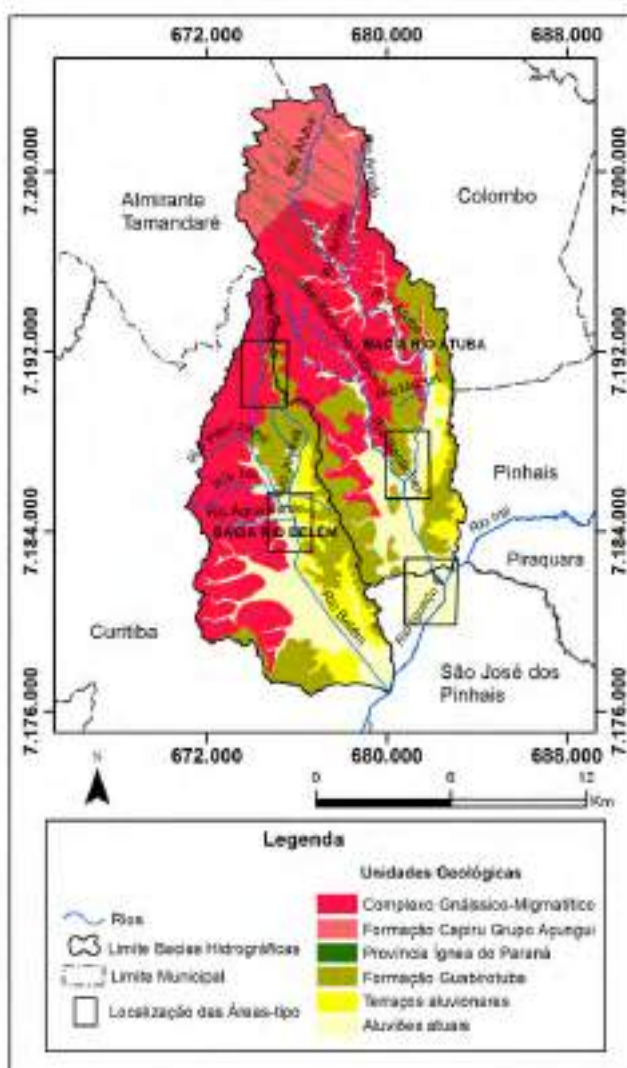


Figura 2: Mapa Geológico das Bacias dos rios Belém e Atuba. Fonte: O Autor, 2019; modificado de Águas Paraná, 2004.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão abordados a evolução das leis de uso e ocupação do solo no município de Curitiba, conceitos teóricos sobre a morfologia fluvial e processos hidrossedimentológicos, e algumas características de mudanças dos processos a partir das alterações antrópicas.

3.1 USO E ZONEAMENTO DO SOLO

A concepção de planejamento urbano e estabelecimento de metas para a industrialização na região de Curitiba teve seu início com o Plano Agache em 1943; em 1939, com a proliferação de indústrias ligadas ao beneficiamento de produtos do

setor primário, a capital representava cerca de 26,4% do número de indústrias do Paraná, empregava 42,4% das pessoas, pagava 46,7% dos salários da indústria no Estado, e gerava quase 50% do valor do beneficiamento industrial paranaense (BRASILIO, 2005).

A partir desse crescimento, o governo municipal tomou a iniciativa de contratar a empresa Coimbra & Cia para a elaboração de um plano urbanístico, o qual foi executado pelo arquiteto francês Alfred Agache (ESPINOLA, 2003). O Plano Agache trouxe uma sistematização e ordenação do crescimento urbano, dividiu a cidade nas zonas comercial, industrial, residencial e agrícola, e propôs, ainda, a criação dos centros funcionais, a fim de descentralizar o polo de urbanização (IPPUC, 2014).

O plano foi formulado, primariamente, em um contexto de crescimento muito menor do que aquele que realmente ocorreu; devido a expansão urbana de Curitiba nos anos 50 (BRASILIO, 2005), foi necessário adaptá-lo ao novo contexto.

Em 1964, por meio de um concurso público ganho pelas empresas paulistas Serete Engenharia S.A. e Jorge Wilhelm Arquitetos Associados, mudanças na estrutura do planejamento foram propostas, com a adoção de um modelo linear de expansão urbana. No ano seguinte, em 1965, em conjunto com a realização de debates públicos, o novo Plano Diretor foi aprovado (IPPUC, 2014). Lima (2000) enfoca as principais diretrizes adotadas para o Plano Diretor:

- Direcionamento do crescimento de forma linear;
- Integração entre o sistema viário, o transporte coletivo e o uso do solo;
- Criação e implantação de uma rede de equipamentos;
- Dotação de suporte econômico;
- Introdução das questões ambientais, com a criação de parques e a proteção dos bosques, fundos de vale e áreas de mananciais.

Lima (2000) destaca também que, com o superadensamento no decorrer da evolução industrial de Curitiba, os municípios da Região Metropolitana de Curitiba se conurbaram, formando um corredor urbano contínuo nos eixos estruturais principais. Na mesma seara, a taxa de urbanização teve o crescimento mais acentuado na

análise histórica durante as décadas de 1960 e 70; no ano de 2000, 91,2% da população residia na área urbana metropolitana (ÁGUAS PARANÁ, 2004).

A partir dessas evidências, buscou-se uma adequação das diretrizes para uma nova realidade urbana; em virtude desta alta demanda demográfica, Lima (2000) propõe algumas sugestões com relação ao zoneamento e uso do solo, tais como a adequação da densidade populacional à infraestrutura já existente, a distribuição equitativa das atividades visando maior geração de emprego e renda, e a conciliação das intervenções do sistema viário e do transporte coletivo.

No ano de 2000, ocorreu a promulgação de uma nova lei municipal (LEI 9800/2000), que dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no município de Curitiba. Essa nova lei seguiu a maioria das posições propostas por Lima (2000), além de adquirir algumas disposições gerais como a hierarquização do sistema viário, o desenvolvimento e a recuperação de áreas periféricas, a continuação da participação da comunidade na gestão pública, entre outras. Posteriormente, em 2004, houve a adequação do Plano Diretor de Curitiba ao Estatuto da Cidade — medida que promoveu novas mudanças no âmbito relacionado ao zoneamento do solo de Curitiba.

Tais mudanças estabeleceram novas diretrizes para as políticas de desenvolvimento urbano do município; destacamos aqui a preservação do espaço natural, como evidenciado pelo parágrafo VI, do artigo 7º da lei municipal 11266/2004, que trata da promoção de “(...) padrões adequados de qualidade do ar, da água, do solo, de uso dos espaços abertos e verdes, de circulação e habitação em áreas livres de resíduos, de poluição visual e sonora”. No restante, a lei continuou com um tripé estabelecido para o suporte urbanístico da cidade com uma íntima ligação entre integração física – zoneamento, transporte coletivo e sistema viário (CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2015).

Em 2015, houve revisão do Plano Diretor de Curitiba para a sua subsequente adequação ao Estatuto da Cidade, com novas modificações quanto a leis de parcelamento, zoneamento e uso e ocupação do solo (LEI 14771/2015).

A partir da integração do debate na Câmara Municipal de Curitiba e do IPPUC e da participação popular, promulgou-se em 2019 uma nova lei de zoneamento do

solo (15511/2019), que atua sobre a legislação anterior de 2000 (LEI 9800/2000). Dentre as suas disposições gerais estão: a promoção da harmonização da política de ordenamento do espaço urbano, do meio ambiente e das atividades socioeconômicas; a preservação do patrimônio cultural, paisagístico e natural; a promoção de qualidade de vida e do meio ambiente, através de espaços urbanos adequados e funcionais (CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2019). De acordo com Curitiba (2019), outros dos pontos propostos são:

- A priorização do uso não habitacional nas pontas dos Eixos Estruturais Norte e Sul, tendo como estímulo a geração de empregos na região, realocando a demanda de transporte público;
- A priorização do uso habitacional na Zona Central, com a finalidade de requalificação e ocupação de prédios antigos dependentes de financiamento próprio;
- A revisão e atualização da malha de vias classificadas como coletoras e setoriais, com finalidade de melhor associar as vias que concentram maior disponibilidade de comércio e serviço com as vias da Rede Integrada de Transporte de Curitiba.

3.2 MORFOLOGIA FLUVIAL

A morfologia dos canais fluviais é controlada por uma série de fatores, os quais Teixeira *et al.* (2009) separa em autocíclicos e alocíclicos. Os primeiros tratam-se de fatores próprios da bacia de drenagem, e incluem o volume e a velocidade de fluxo da água, a carga de sedimentos transportada, a largura, a profundidade e a declividade do canal, a rugosidade do leito e a cobertura vegetal nas margens e nas ilhas. Os segundos afetam toda a região onde está inserida a bacia de drenagem, e correspondem a variáveis climáticas, como a pluviosidade e a temperatura, e a variáveis geológicas, como soerguimentos, rebaixamentos, alteração do nível do mar, entre outros.

Neste trabalho, serão abordados essencialmente os tipos de padrões de canais fluviais. O padrão de um canal é reconhecido principalmente pela visão em planta, ou em mapa, o que auxilia na classificação dos rios em padrões retilíneos,

meandantes, entrelaçados ou anastomosados, conforme disposto na figura 3 (TEIXERA *et al.*, 2009).

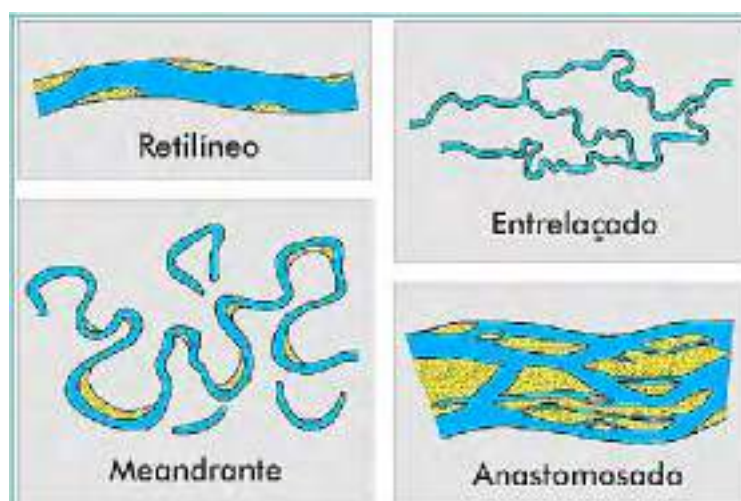


Figura 3: Quatro tipos fundamentais de canais fluviais. Fonte: Teixeira *et al.*, 2009, adaptado de Miall, 1977.

Outro fator a ser considerado nesse tocante é o índice de sinuosidade, que quantifica a curvatura de um rio e é um dos principais fatores responsáveis pela velocidade de escoamento fluvial, segundo Mansikkaniemi (1970). Este autor estabelece o termo de índice de sinuosidade a partir da seguinte equação:

$$I_s = \frac{100(L - L_t)}{L_t}$$

Na qual:

I_s = Índice de sinuosidade (%)

L = Comprimento do curso principal do rio

L_t = Comprimento do talvegue

Mansikkaniemi (1970) determina cinco classes de sinuosidade de acordo com as suas porcentagens, que podem ser visualizadas na tabela 1.

Tabela 1: Classificação de sinuosidade de rios

Classe	Classificação	Porcentagem
I	Muito Reto	< 20%
II	Reto	20 – 29,9 %
III	Divagante	30 – 39,9 %
IV	Sinuoso	40 – 49,9 %
V	Muito Sinuoso	≥50 %

Fonte: O Autor, 2019; adaptado de Mansikkaniemi (1970).

3.3 PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

A ação antrópica sobre o ambiente natural tem provocado uma série de consequências ao meio ambiente — e algumas delas são de caráter irreversível. Uma das implicações mais graves está relacionada aos processos de erosão atrelados a exposição e/ou fragmentação dos solos e subsequente deterioração das águas, em razão do carreamento de sedimentos aos corpos hídricos (SARI *et al.*, 2013; PERRY; TAYLOR, 2007).

A definição de erosão, segundo Almeida Filho (2008² *apud* Sari *et al.*, 2013), é a ruptura do equilíbrio do meio ambiente, em razão da transformação da paisagem por eliminação da cobertura vegetal natural e posterior introdução de novas formas de uso do solo. Nesse sentido, Xiaoqing (2003) fez uma separação dos fatores resultantes de erosão em erosão natural causada pela água, vento, temperatura, organismos vivos e forças gravitacionais, e erosão acelerada, desencadeada por quantidade e distribuição das precipitações, geologia, topografia, cobertura vegetal, características do solo e atividade antrópica.

Em geral, a ação antrópica possui como principais aceleradores de processos erosivos a destruição da cobertura vegetal, cultivo, queimadas para locação de

²ALMEIDA FILHO, G. S. Processos erosivos urbanos. In: *Ambiente e Sedimentos*. POLETO, C. (Org.). Porto Alegre: ABRH, 2008, p.40-63.

pecuária, mineração e uso e preparo do solo para fins agrícolas (XIAOQING, 2003). O mesmo autor destaca ainda a alta taxa de sedimentação em ambientes urbanos quando comparados aos ambientes rurais, ocasionada pela produção de detritos a partir de ação antrópica, e aponta algumas práticas desejáveis para o controle de erosão e consequente entrada de sedimentos em meio urbano; estas são separadas nos dois seguintes tópicos:

- Práticas estruturais temporárias, que podem ser divididas em dois grupos: controle de água e controle de sedimentos. O controle de água inclui a construção de pequenos diques, a preservação de pequenas regiões pantanosas e estruturas estabilizantes de encostas. O controle de sedimentos aborda a construção de armadilhas de sedimentos separadas em regiões pequenas de até dois hectares, e em regiões grandes de 2 a 40 hectares.
- Práticas estruturais permanentes: cobertura das encostas dos rios por vegetação, proteção de saída de drenagem pluvial, classificação do uso do solo e enrocamento.

Complementarmente, na tabela 2, elencam-se os principais aspectos ligados ao uso e ocupação do solo e seus consequentes processos erosivos:

Tabela 2: Síntese dos processos erosivos causados pela ação antrópica.

Uso e Ocupação		Intervenção	Impactos	Consequências
URBANA	Loteamento	Remoção da cobertura vegetal, Terraplanagem, Cortes/Aterros	Erosão	Assoreamento
			Modificação da paisagem	Inundações / Enchentes
	Área Industrial	Remoção da cobertura vegetal, Terraplanagem, Cortes/Aterros	Erosão localizada	Assoreamento
			Polição do ar, solo e água	Contaminação do ar, solo e água
Sistema viário	Desmatamento, Terraplanagem, Cortes/Aterros, Sistemas de Drenagem	Erosão	Assoreamento	
		Escorregamento		
Infraestrutura Urbana	Escavações, Cortes/Aterros, Sistemas de drenagem	Erosão	Assoreamento	
		Escorregamento	Inundações / Enchentes	
RURAL	Atividades Agrícolas	Grandes desmatamentos, Técnicas agrícolas inadequadas	Erosão	Assoreamento
			Perda de camada fértil do solo	Polição de nutrientes Desertificação
Chácaras de Lazer	Desmatamento, Terraplanagem, Cortes/Aterros	Erosão	Assoreamento	
		Escorregamento		
MINERAÇÃO	Mineração	Desmatamento, Escavações instáveis, Desmonte de rochas, Modificação da paisagem	Erosão	Assoreamento
			Escorregamento / Deslocamento	Polição de nutrientes
			Explosões / Ruídos	Contaminação do ar, solo e água
Depósitos de rejeitos				

Fonte: SEMA (2018).

Outras práticas usadas para o planejamento, controle e prevenção de erosão são abordadas por Oliveira (1998). Dentre elas, destacam-se ações como: a cartografia geológica e geotécnica, com a finalidade de subsidiar o uso e a ocupação do solo em áreas urbanas, diminuir a ação erosiva, e prevenir a ocupação de áreas de risco; o disciplinamento das águas superficiais, definindo sua captação e condução, de modo a promover o mínimo impacto ambiental possível; a revegetação, para a proteção do solo e consequente incremento do fator de interceptação, a fim de diminuir o impacto direto das gotas de chuva no solo e o escoamento superficial concentrado; a estabilização de taludes e a implementação de obras, determinadas por parâmetros geotécnicos como muros, barramentos, estruturas em gabião, revestimentos, retaludamentos e dissipadores de energia.

Na dinâmica do processo de erosão em margens de rios, o principal agente de transporte é a água; devido a isso, o conhecimento das características do escoamento (velocidade, viscosidade, volume, entre outras) é essencial para a classificação do tipo de transporte atuante no sistema fluvial. Nesta linha, a mensuração total da carga sedimentar detrítica e de detritos de origem

antropogênica transportada pelos rios fornece uma confiável imagem da intensidade erosiva atuante na bacia hidrográfica, e também das atividades antrópicas envolvidas no sistema (CHRISTOFOLETTI, 1988; SARI *et al.*, 2013; XIAOQING, 2003; MONTGOMERY, 2011).

Em áreas rurais, o principal aporte de sedimentos na erosão hídrica é fornecido pela remoção detrítica das vertentes (CHRISTOFOLETTI, 1988), enquanto que em áreas urbanas tal processo pode ser totalmente modificado pelas ações antrópicas. Perry e Taylor (2007) classificam a dinâmica de produção de sedimentos em bacias hidrográficas em três grandes fatores: 1) a fonte de sedimentos, 2) os processos de transporte e deposição de sedimentos, e 3) os processos químicos que operam no sedimento ou na coluna d'água. Os mesmos autores tratam também da classificação dos tipos de sedimentos em detríticos, biogênicos ou orgânicos e antropogênicos — sendo os últimos de importante destaque em bacias hidrográficas de grandes centros urbanos.

Montgomery (2011), por sua vez, categoriza os sedimentos fluviais de acordo com suas características de transporte; a carga de fundo é composta por sedimentos de tamanhos e densidade maiores, que sofrem os processos de rolamento, arrasto e empurrão chamados de carga de tração. Ainda no tocante da carga de fundo, há os sedimentos de tamanhos e densidades intermediários, que sofrem o processo de saltação, e os sedimentos compostos de material fino carregados em meio ao escoamento, chamados de carga de suspensão. Já as substâncias totalmente dissolvidas em meio ao escoamento são chamadas de carga dissolvida.

Os sedimentos transportados dependem da relação entre a densidade, a viscosidade e a velocidade do fluido, e da vazão do escoamento no curso d'água. Além disso, variáveis como a presença de obstáculos no leito, a declividade e a forma do canal, a temperatura da água, a capacidade e a competência do curso d'água também influenciam no processo (CHRISTOFOLETTI, 1988; PERRY; TAYLOR, 2007). Os movimentos dos sedimentos da carga de fundo, por sua vez, dependem do comportamento do fluxo, que pode variar entre laminar, transicional e turbulento (PERRY; TAYLOR, 2007); as velocidades de movimentação são maiores para os sedimentos da carga de suspensão, em razão da perda de velocidade

ocorrida pelo atrito dos sedimentos da carga de fundo (CARVALHO *et al.*, 2000³ *apud* SARI *et al.*, 2013).

Em relação a caracterização da distribuição de sedimentos no leito fluvial, os principais processos intervenientes são a velocidade da corrente, a disponibilidade de sedimentos e a granulometria dos sedimentos; a comparação entre a quantidade de sedimentos produzida nas vertentes e a que chega ao exutório da bacia é fundamental para conhecimento e análise dos impactos do uso e zoneamento do solo na dinâmica hidrossedimentológica da bacia (WALLING, 1983⁴ *apud* SARI *et al.*, 2013). Na mesma seara, segundo Christofolletti (1988), o estudo dos processos hidrossedimentológicos (erosão, transporte e deposição de sedimentos) é essencial para qualquer programa de planejamento regional, urbano ou agrícola.

O mesmo autor discute também a influência química das águas fluviais no contexto da bacia hidrográfica, de acordo com fatores como a litologia, a vegetação e a ação antrópica nas margens: a composição litológica influencia o controle dos materiais químicos originados através da meteorização, os quais afetam a qualidade da água nos cursos fluviais; a vegetação intervém no fornecimento de ácidos orgânicos nos rios; por fim, a ação antrópica, com o lançamento de dejetos, detritos e poluentes nas áreas urbanas e industriais, repercute no balanço biológicos das águas, nos processos de corrosão e sedimentação, e na contribuição atmosférica na distribuição dos elementos químicos nas águas fluviais.

Além destes, a impermeabilização do solo é um dos principais fatores que exercem grandes mudanças na dinâmica dos recursos hídricos, conduzindo a alteração do ecossistema e serviços relacionados com a utilidade da água (LIMA, 2000). De acordo com dados da União Europeia (2012), um solo plenamente funcional, sem nenhum fator impermeabilizante, pode armazenar cerca de 3750 toneladas de água por hectare, ou quase 400mm de precipitação, dependendo de suas características físicas químicas.

Em solos totalmente impermeáveis, como no caso de grandes centros urbanos, todo esse potencial de infiltração (em casos extremos) é reduzido a zero,

³ CARVALHO, N. de O. *et al.* *Guia de Práticas Sedimentométricas*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. 154 p.

⁴ WALLING, D.E. The sediment delivery problem. In: Scale Problems in Hydrology RODRIGUEZ-ITURBE, I.; GUPTA, V.K. (Guest-Editors). *Journal of Hydrology*, 1983, v. 65, p. 209-37.

fazendo com que toda a chuva sofra o processo de escoamento superficial — acarretando o rápido aumento do pico de cheia dos rios urbanos e do risco de inundações (UNIÃO EUROPEIA, 2012; LIMA, 2000). A figura 4 traz um esquema hipotético que representa a diminuição da infiltração de água da chuva conforme o avanço da urbanização:

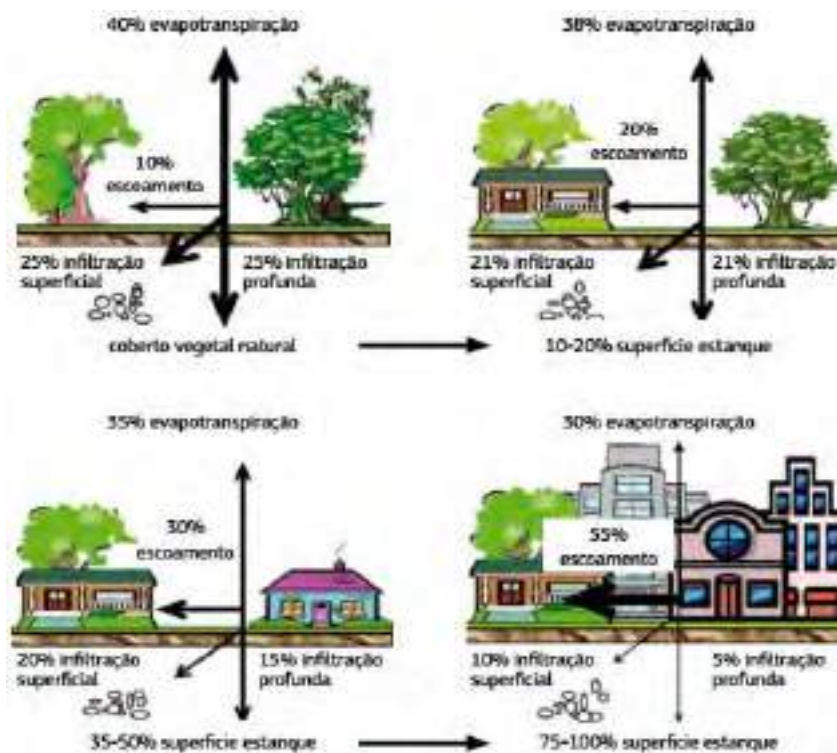


Figura 4: Diagrama esquemático que mostra a influência da ocupação do solo no ciclo hidrológico. Fonte: União Européia, 2012.

Segundo Knighton (1984⁵, *apud* DIAS; CUNHA, 2017), há dois tipos de mudanças antrópicas que afetam cursos fluviais: as mudanças diretas, ocasionadas por meio de obras de engenharia, como a retificação e a canalização de rios, e a construção de barragens e desvios; e as mudanças indiretas, ligadas a atividades humanas como a urbanização, o desmatamento, a agricultura e o uso e ocupação do solo. Tais fatores antrópicos, correlacionados a dinâmica natural, têm interferência direta na amplitude e na intensidade nos regimes de precipitação e temperatura, e levam a mudanças no ciclo hidrológico (GIRÃO; CORRÊA, 2015).

⁵KNIGHTON, D. Channel Changes Through. In: *Fluvial Forms and Processes*. Londres: Edward Arnold, 1984. 228 p.

O crescimento urbanístico do final do século XX e do início do século XXI acarretou mudanças drásticas no uso e na ocupação do solo em bacias hidrográficas urbanas, levando a modificações no escoamento superficial e em seus posteriores impactos sobre o sistema fluvial (GIRÃO; CORRÊA, 2015); a figura 5 evidencia as principais mudanças proporcionadas pela retificação do canal fluvial:

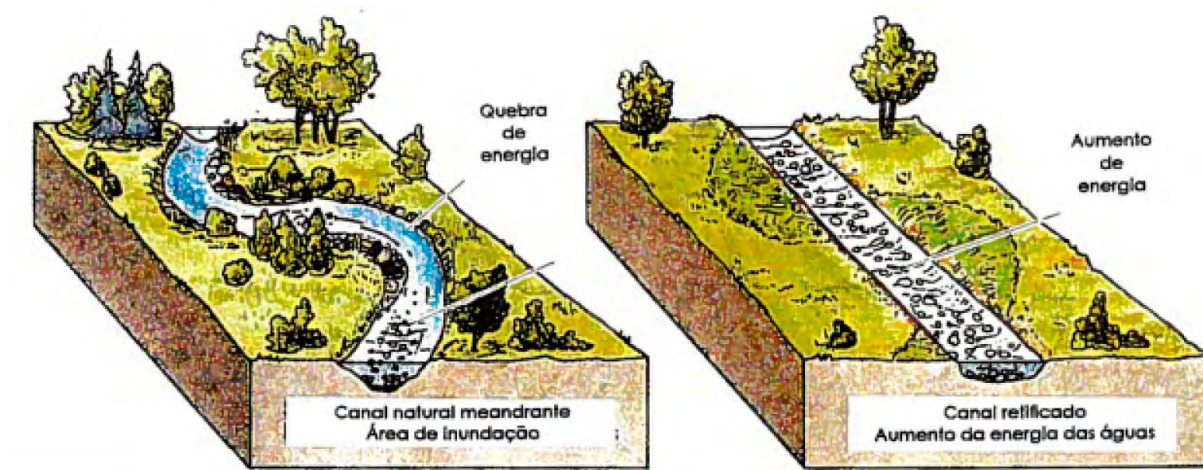


Figura 5: Esquema que evidencia a retificação do curso fluvial e o conseqüente aumento de vazão e energia do fluxo. Fonte: Oliveira, 1998; modificado de Murck, Skinner e Porter, 1996.

De acordo com Wolman (1967⁶; *apud* GIRÃO; CORRÊA, 2015), o processo de urbanização é o maior causador de distúrbios na dinâmica fluvial em bacias urbanas, e, portanto, precisa ser considerado na atuação de uma nova condição de equilíbrio do meio. Nessa linha, Wolman (1967) estabeleceu três estágios na evolução do ciclo urbanístico em bacias urbanas:

- a) Estabilidade inicial ou condição de equilíbrio: a paisagem pode ser primeiramente agrícola ou predominantemente florestal;
- b) Período de construção da urbanização: o solo é exposto, facilitando a atuação dos processos erosivos;
- c) Estágio final: consiste de uma nova paisagem, com estabelecimento concreto da urbanização, aumento das porções de zonas impermeáveis, e estabelecimento de redes de esgoto.

⁶WOLMAN, M. G. A Cycle of Sedimentation and Erosion in Urban River Channels. *Geografiska Annaler*, Baltimore, n. 49, p.385-395, 1967.

Girão e Corrêa (2015) dão destaque para a produção de sedimentos de origem antrópica em bacias urbanas — principalmente aqueles derivados de lixos domésticos, como papéis, plásticos e garrafas, os quais ocasionam uma rápida diminuição da capacidade do canal. No decorrer do processo de acúmulo do descarte, o rio tem diminuída a sua capacidade de transporte rápido de água e sedimentos, propiciando uma predisposição do encurtamento das planícies de inundação dos canais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PESQUISA E LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O trabalho de revisão teórico-bibliográfico foi elaborado com a finalidade de subsidiar conceitos relacionados a geologia local, a evolução das leis de uso e ocupação de solo em Curitiba, a morfologia fluvial e a conceitos relacionados a dinâmica hidrossedimentológica, sempre com o intuito de realizar uma abordagem sistêmica, integrada e preditiva na gestão dos recursos hídricos, e suas respectivas inter-relações com a dinâmica natural.

Esta base teve como fontes artigos científicos, livros, teses, leis municipais, páginas eletrônicas de institutos governamentais de âmbito municipal e estadual, relatórios de institutos governamentais, e deu enfoque a autores que tiveram como finalidade de seus projetos uma análise ambiental e sustentável do meio.

4.2 OBTENÇÃO DE DADOS

Para a realização dos objetivos propostos, utilizamos fotos aéreas de 1957 e 1980, e imagens de satélite de 2019. As fotos áreas de 1957 foram cedidas gratuitamente pelo IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba), em uma escala real de 1:5.000; as de 1980 foram obtidas através do site do ITCG (Institutos de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná), disponibilizadas na escala real de 1:25.000; as imagens de satélite do ano de 2019 foram obtidas através do software Google Earth Pro® (também disponibilizadas gratuitamente).

4.3 TRATAMENTO DE DADOS

As fotos aéreas e as imagens de satélite foram recortadas de modo a propiciar uma visualização uniforme em uma escala de 1:10.000. Para o desenvolvimento dessa etapa, todas as imagens foram processadas no ambiente computacional de SIG (Sistema de Informação Geográfica), e georreferenciadas a partir de pontos de controle retirados do mapa, criado por meio da ferramenta *Add Basemap – Imagery* do software ArcGis® 10.6, com licença disponível pelo LIG (Laboratório de Informática de Geologia – UFPR).

4.4 FOTO ANÁLISE E FOTOINTERPRETAÇÃO

Com as imagens recortadas na escala de 1:10.000 nas respectivas áreas-tipo, e com a distribuição temporal estipulada, realizou-se uma análise de fotointerpretação para o estabelecimento do traçado fluvial principal do rio. Essa interpretação foi realizada a partir dos conhecimentos adquiridos sobre a dinâmica fluvial e da própria análise de fotos aéreas, a qual possui como base a diferenciação de texturas, estruturas, tonalidade, quebras e assimetria de relevo, entre outros fatores (NADALIN *et al.*, 2014).

4.5 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM

Na etapa de classificação de imagem confeccionou-se as cartas de uso e ocupação do solo das 4 áreas-tipo, de acordo com a distribuição temporal determinada (1957-1980-2019). Para a realização deste produto, utilizou-se como metodologia a técnica de classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança (ou *Maximum Likelihood Classification*), disponível no software ArcGis®, na ferramenta de *Image Classification*.

Esta classificação consiste em determinar algumas amostras de diferentes classes, analisadas mediante a consideração da ponderação das distâncias médias, e utilizando parâmetros estatísticos de distribuição dos pixels dentro de cada classe determinada (CRÓSTA, 1992).

A classificação do uso e ocupação do solo pela metodologia descrita é, na maioria das vezes, usada com base em imagens de satélites *Landsat* multiespectrais, com decomposição de bandas em falsa cor. Portanto, é pertinente destacar que a técnica usada na presente monografia — que consistiu no uso de fotos aéreas em escala de cinza e imagens de satélite com cores reais — pode induzir a alguns erros de classificação. Isso se deve a baixa informação presente em cada pixel — principalmente no que se refere às fotos em escala de cinza dos anos de 1957 e 1980. Todavia, ressaltamos que a técnica foi utilizada com o intuito de verificar a sua eficácia na abordagem proposta.

Para melhor utilização da técnica, separou-se o uso e a ocupação de solo em quatro classes, detalhadas a seguir:

- Área em Urbanização: definida somente para as fotos aéreas de 1957; é determinada com a finalidade de separar as áreas com solo exposto ou cobertura vegetal rasteira (campo) das áreas que sofreram processo de terraplanagem com intuito de loteamento e/ou urbanização;
- Campo: abrange áreas com exposição direta do solo, aterros, áreas agrícolas, chácaras, pastagem, vegetação rasteira e gramínea;
- Área Urbana: compreende todas as áreas urbanas consolidadas e estradas secundárias;
- Fragmento Florestal: engloba todas as formas florestais, como matas ciliares, capoeiras, áreas de reflorestamento, parques, jardins, vegetação de porte intermediário e canteiros arbóreos.

Para mitigar eventuais erros de classificação, as porções com área alagada, lago, fundo e curso fluvial foram analisadas, interpretadas e traçadas através de arquivos *shapefiles*, sobrepondo tais áreas à classificação gerada.

4.6 GERAÇÃO DE CARTAS TEMÁTICAS

A partir da classificação de imagens e traçados dos cursos fluviais das quatro áreas-tipo, e levando em consideração a distribuição temporal de 1957, 1980 e

2019, foram elaboradas cartas temáticas, geradas em escala de 1:10.000, que representam a evolução do curso fluvial e a evolução do uso e da ocupação do solo.

Para a realização desta etapa, utilizamos o software ArcGis® 10.6 em sua função de *Layout View*. No total, foram confeccionadas oito cartas temáticas, exportadas em formato PDF — e que, devido às suas proporções espaciais, estão dispostas na seção de apêndices do presente trabalho.

4.7 ANÁLISE DE DADOS

Com a geração das cartas temáticas, efetuamos análises qualitativas e quantitativas dos resultados gerados. Esse procedimento resultou na elaboração de dados de sinuosidade e extensão dos cursos fluviais, e na confecção de tabelas comparando a mudança temporal-espacial e as mudanças proporcionais referentes as áreas das classes de uso e ocupação do solo, de modo a determinar as principais mudanças observadas no meio.

5 RESULTADOS

Nesta seção serão abordados os resultados obtidos a partir da análise qualitativa e quantitativa das cartas temáticas confeccionadas. Separamos os dados em duas partes, nas quais mostramos, primeiramente, os resultados das cartas relacionados a evolução dos cursos fluviais, e, em seguida, os resultados das cartas da evolução do uso e ocupação do solo.

5.1 EVOLUÇÃO DOS CURSOS FLUVIAIS

Para apresentar este aspecto, foram analisados os traçados obtidos dos rios urbanos Belém e Atuba nos anos de 1957, 1980 e 2019, em quatro áreas-tipo. Estas áreas foram selecionadas por apresentarem feições características de maior dinâmica fluvial, como confluências e regiões de significativas alterações, tal qual no

reservatório do Parque São Lourenço. Os resultados demonstrados a seguir são subdivididos em quatro subitens, de acordo com a sua localidade.

5.1.1 Curso do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço

A análise da evolução do curso do rio Belém na região do Parque São Lourenço apresentou significativa alteração: o curso fluvial mudou de meandrante em 1957 para retilíneo em 1980, em período de pouco mais de duas décadas. Portanto, e de acordo com a classificação de Mansikkaniemi (1970), a região de estudo possuía o curso fluvial “muito sinuoso” em 1957, e passou para “muito reto” em 1980 (TABELA 1).

Sua extensão passou de 6,23 km em 1957 para 3,34 km em 1980, diminuindo quase pela metade. Essa característica é bem evidenciada pela sobreposição do curso do canal fluvial nos três períodos de tempo amostrados, conforme disposto na figura 6 e no apêndice I.

Também é possível observar a mudança da largura do leito fluvial; em 1957 ele apresentava uma grande variação ao longo de seu percurso, típica de rios meandrantess, e em 1980 manteve uma largura mais uniforme. A faixa de inundação frequente em que o rio meandrava, localizada a jusante do lago — o qual estava desocupado e protegia este sistema natural no ano de 1957 —, já aparece ocupada a partir da imagem de 1980, e em 2019 está praticamente toda edificada e impermeabilizada (APÊNDICE I).

Nota-se, além disso, uma significativa mudança no formato do lago no parque São Lourenço no período de 1957-1980, e uma pequena mudança no período de 1980-2019; não se observa mudança significativa no traçado do curso do rio durante o período de 1980-2019. A pequena variação mostrada pela figura 6, se deve a distorções de geoprocessamento ocasionadas pela metodologia abordada.

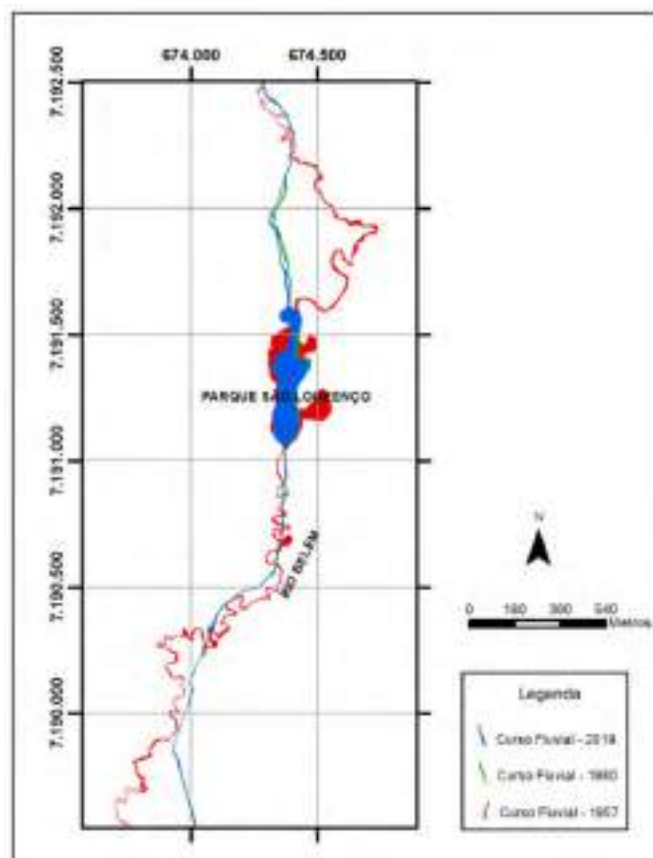


Figura 6: Sobreposição dos traçados fluviais dos anos de 1957, 1980 e 2019 na área-tipo Curso do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço. Fonte: O Autor, 2019.

5.1.2 Curso do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo

O exame da evolução do curso do rio Belém nessa localidade não apresentou expressiva modificação durante os 62 anos amostrados (FIGURA 7). A mudança mais relevante observada está na região de encontro do rio Belém com a Avenida Linha Verde, nas proximidades de onde hoje se encontra o Hotel Lira (APÊNDICE II): em 1957 o rio fazia uma curva, e, posteriormente, em 1980, sofreu um processo de retificação que o levou a passar abaixo da Avenida Linha Verde.

Outra feição de importante destaque nessa região é a canalização e soterramento de parte do rio Água Verde, afluente do rio Belém — fato esse que ocorre de maneira progressiva no período de tempo amostrado. Para além, é importante evidenciar o “encobrimento” da foz do rio Ivo, proporcionado pela construção do Viaduto Capanema.

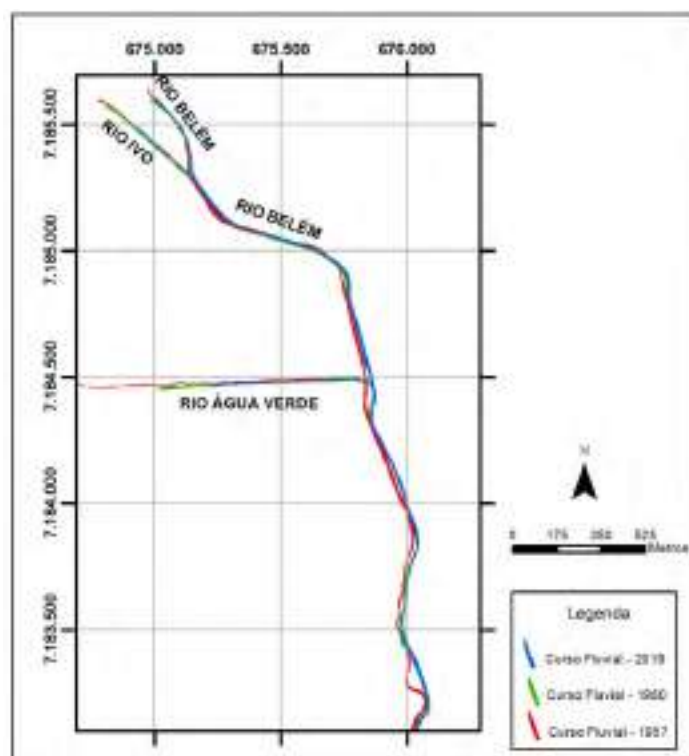


Figura 7: Sobreposição dos traçados fluviais dos anos de 1957, 1980 e 2019 na área-tipo Curso do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo. Fonte: O Autor, 2019.

5.1.3 Curso do rio Atuba – Confluência com o rio Bacacheri

O estudo da evolução do curso fluvial do rio Atuba nessa porção apontou uma grande alteração, com o traçado do rio mudando de meandrante em 1957 (com uma extensão de 8,84 km), para retilíneo em 1980 (apresentando uma extensão de 4,82 km, evidenciando uma diminuição de quase metade do seu percurso) (FIGURA 8).

Segundo Mansikkaniemi (1970), o curso fluvial passou da classificação de “muito sinuoso” em 1957 para “muito reto” em 1980 (TABELA 1), semelhante ao que ocorreu na análise do rio Belém nos arredores do Parque São Lourenço. É possível observar a extensa faixa de meandros localizada nas margens do rio Atuba a jusante da foz do rio Bacacheri no ano de 1957, o qual passa a ser classificado como meandro abandonado em 1980, com o resultado da retificação do rio e consequente desligamento da passagem direta do curso d’água; depósitos de barras de pontais também desaparecem neste processo. (APÊNDICE III). Tal processo modificou a área de inundação devido ao aprofundamento do canal fluvial no decorrer do procedimento.

Na observação da foto de 2019, a mesma porção que fazia parte da área de inundação em 1957, e constava com meandros abandonados em 1980, passa a ter maior parte ocupada por áreas residenciais (APÊNDICE III).

Nessa região também é importante observar o aumento da largura do canal fluvial a partir do processo de retificação observado nas fotos de 1980 e 2019.

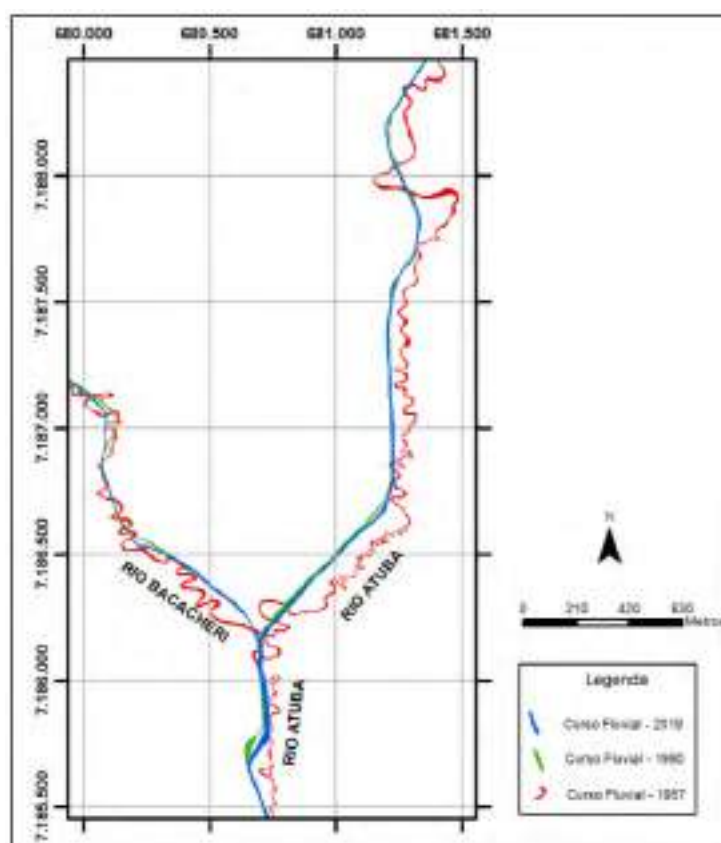


Figura 8: Sobreposição dos traçados fluviais dos anos de 1957, 1980 e 2019 na área-tipo Curso do rio Atuba – Confluência com o rio Bacacheri. Fonte: O Autor, 2019.

5.1.4 Curso do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguçu

A observação da evolução do curso fluvial nessa porção do rio Atuba, evidenciou uma notável modificação. A extensão do curso fluvial principal passou de 11,17 km em 1957, para 7,14 km em 2019 — feição bem destacada pela sobreposição dos traçados dos canais fluvial e disposta na figura 9.

Em 1957, a região possuía cursos fluviais meandrantos e índice de sinuosidade de 79,5 %, classificado como “muito sinuoso” segundo Mansikkaniemi (1970) (TABELA 1). Já em 1980, os rios foram totalmente retificados, passando de meandrantos para retilíneos; a partir dessa mudança, observa-se também o aumento da largura do canal fluvial, como evidenciado no apêndice IV.

Durante o período de 1980-2019 é notável a variação das áreas alagadas, e a diminuição dos meandros abandonados — principalmente nas margens do rio Atuba, aonde hoje se encontra o bairro Cajuru, em Curitiba (margem esquerda do rio Atuba), e o bairro Weissópolis em Pinhais (margem direita do rio Atuba). Tais características podem ser observadas em detalhe no Apêndice IV.

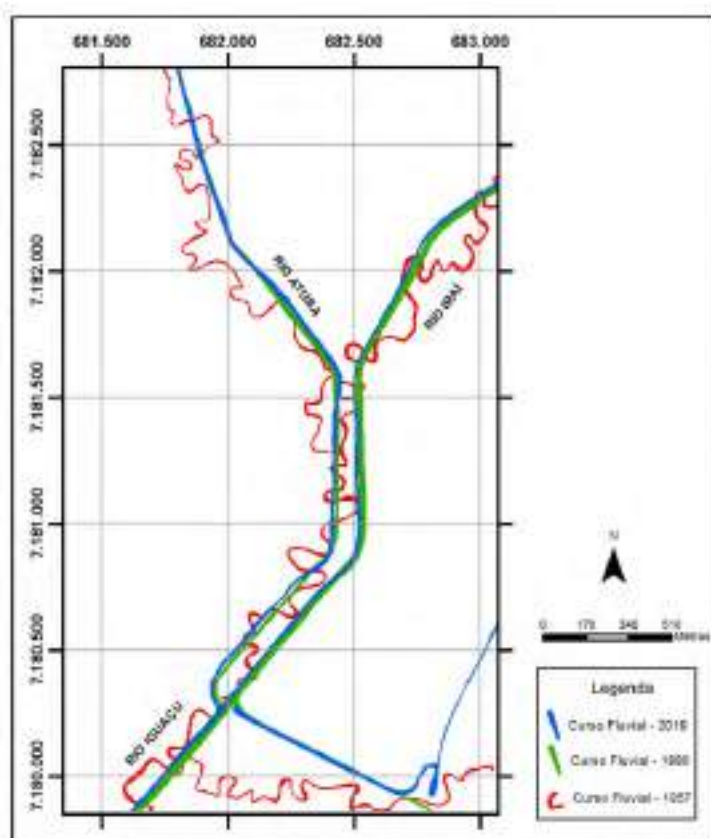


Figura 9: Sobreposição dos traçados fluviais dos anos de 1957, 1980 e 2019 na área-tipo Curso do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguçu. Fonte: O Autor, 2019.

5.2 EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para demonstrar a evolução do uso e da ocupação do solo nas áreas-tipo das bacias dos rios Belém e Atuba, as imagens selecionadas (de 1957, 1980 e 2019)

foram separadas em quatro classes, já elencadas anteriormente. São elas: 1) Área em Urbanização; 2) Campo; 3) Área Urbana; e 4) Fragmento Florestal.

A seguir, apresentamos os resultados deste aspecto divididos em quatro subitens, para as mesmas áreas-tipo nas quais foram realizados os estudos da evolução do curso dos rios Belém e Atuba; os mesmos foram individualizados e denominados de acordo com a localidade de geração das cartas.

5.2.1 Uso e ocupação do solo na bacia do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço

A evolução do uso e da ocupação do solo nessa localidade, durante o período amostrado, indicou um avanço da urbanização na maior parte disponível do terreno, conforme evidencia a figura 10.

Em 1957, a região era tomada por campos e fragmentos florestais, e era destinada primordialmente às atividades agrícolas; já em 1980, grande parte da área passou a ser destinada à ocupação urbana, com o estabelecimento principalmente de zonas residenciais e comerciais. Durante a passagem temporal de 1957-1980 é importante salientar o avanço da ocupação urbana, principalmente nas regiões onde se encontram as ruas Mateus Leme e Nilo Peçanha (no bairro São Lourenço), a jusante do reservatório do parque, as quais anteriormente faziam parte da área de inundação do rio Belém. Outra região de grande densidade de crescimento urbanístico observada é a avenida Anita Garibaldi, localizada na margem direita do rio Belém.

Durante o período de 1980-2019, o processo de urbanização se tornou mais denso, o que fez com que mais de 50% da região em estudo (TABELA 3) fosse tomado por residências e comércio. Nesse mesmo período também ocorreu uma certa revitalização da área de fragmento florestal, principalmente ao redor do rio Belém, que cresceu 3,7%.

Nesta região, a metodologia de Máxima Verossimilhança via ArcGis® não apresentou boa resposta, especialmente na interpretação da foto de 1980, na qual

as áreas urbanizadas foram interpretadas como campo na porção mais a sul da área de estudo — fato esse que pode ser observado nos apêndices I e V.

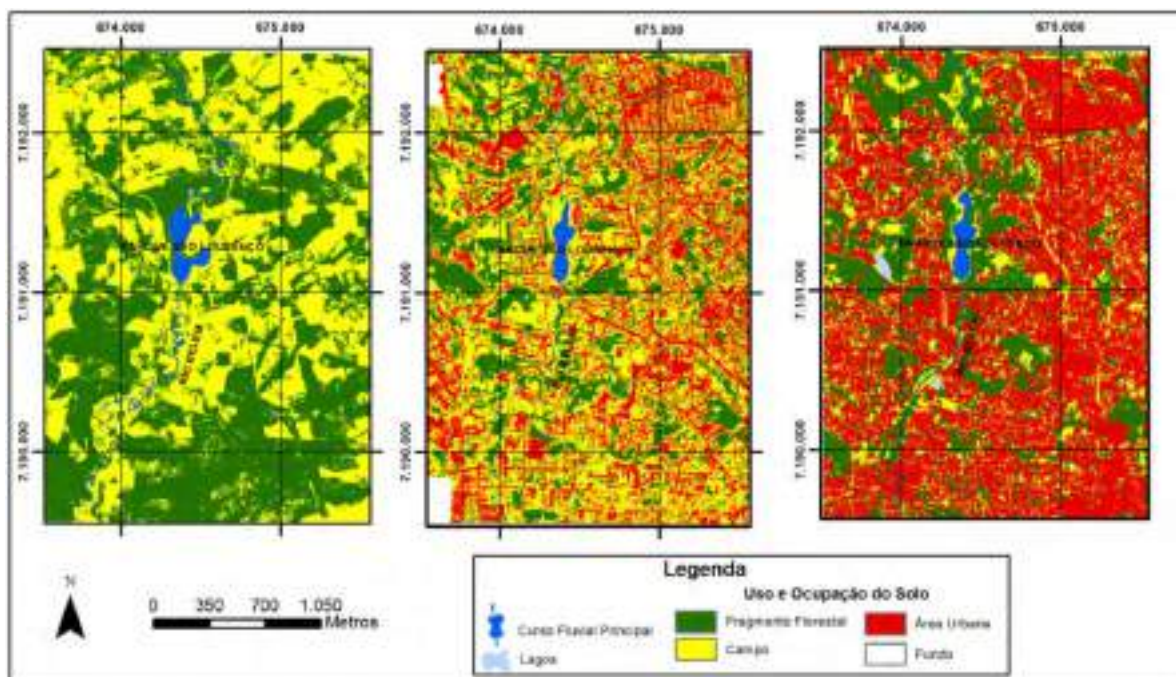


Figura 10: Cartas de uso e ocupação do solo da área-tipo bacia do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço; da esquerda para a direita: 1957, 1980 e 2019, em escala de 1:40.000. Fonte: O Autor, 2019.

Tabela 3: Quantificação das classes de uso e ocupação do solo na área-tipo bacia do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço. Em verde está destacado o somatório da proporção de área que manteve sua permeabilidade original, e em vermelho as áreas que possuem sua permeabilidade reduzida ou anulada.

Ano	Classes	Área (km ²)	Porcentagem Total (%)	Áreas Permeáveis/Impermeáveis (%)
1957	Fragmento Florestal	3,22	52,7	98,4
	Campo	2,80	45,7	
	Curso Fluvial	0,10	1,6	-
1980	Fragmento Florestal	1,42	23,1	67,8
	Campo	2,73	44,7	
	Área Urbana	1,81	29,5	29,5
	Curso Fluvial	0,05	0,9	-
	Fundo	0,11	1,8	-
2019	Fragmento Florestal	1,64	26,8	44,7
	Campo	1,09	17,9	
	Área Urbana	3,32	54,2	54,2
	Curso Fluvial	0,05	0,9	-
	Lago	0,015	0,2	-
Total		6,12	100	-

Fonte: O Autor, 2019.

5.2.2 Uso e ocupação do solo na bacia do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo

A observação do desenvolvimento temporal e espacial do uso e da ocupação do solo nessa região revelou substancial transformação, que pode ser notada na carta temática em versão de escala reduzida da figura 11.

Em comparação com as demais localidades em estudo, essa região pode ser individualizada por apresentar o mais antigo indício de crescimento urbano: já em 1957 é visível a presença de zonas residenciais e comerciais, as quais, de acordo com a metodologia adotada, apresentam uma área de ocupação de 33,4% (TABELA 4), denominada neste trabalho como área em urbanização.

Em 1980 há uma diminuição notável de vegetação arbustiva (de cerca de 7,4%), e um aumento considerável da área urbana — 8,2% quando comparado com a área em urbanização da amostragem anterior—; a área classificada como campo, teve um pequeno decréscimo de 1%.

Durante o período de 1980-2019, a mudança mais perceptível é a do aumento considerável da área urbana, que em 2019 passou a ocupar 74,31% da localidade; nesse sentido, a região do bairro Jardim Botânico foi pioneira nesse processo de crescimento acelerado.

Outra mudança considerável do mesmo período é a diminuição de 29,9% da área de campo; a área representada por fragmento florestal teve um pequeno decréscimo, conforme apresentamos na tabela 4.

Em relação a metodologia abordada, é importante fazer algumas ressalvas aos erros detectados, como por exemplo a classificação de área em urbanização em regiões de campo, principalmente na margem direita do rio Belém na foto de 1957, e a classificação de áreas urbanas em regiões de campo na mesma margem, na foto de 1980; tais aspectos podem ser melhor observados nos apêndices II e VI.

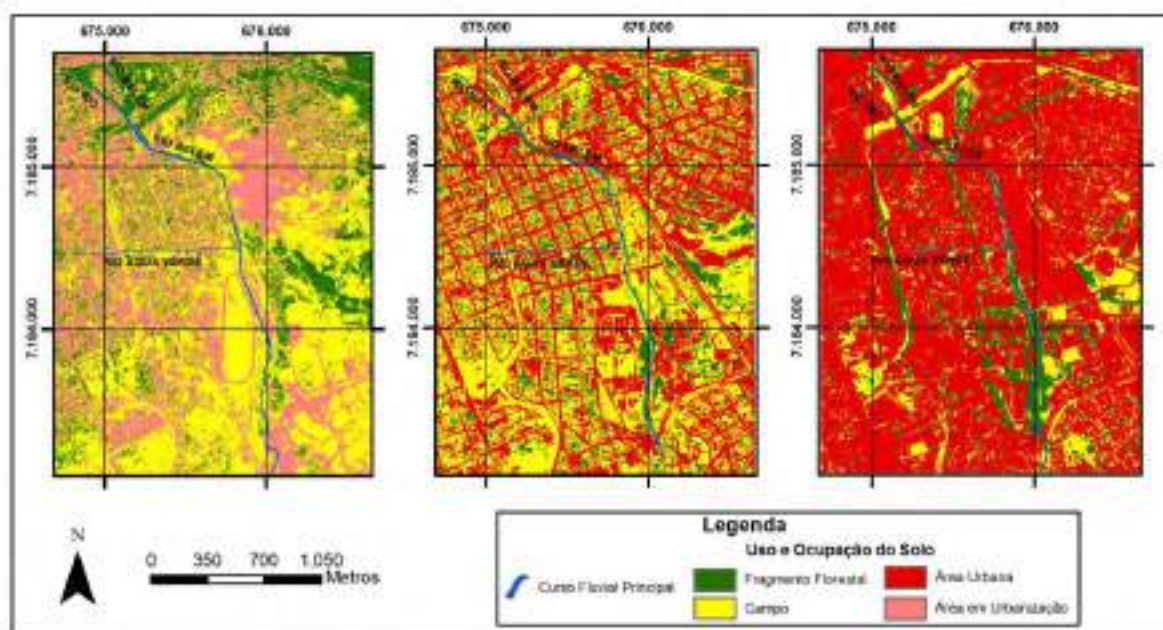


Figura 11: Cartas de uso e ocupação do solo da área-tipo bacia do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo; da da esquerda para a direita: 1957, 1980 e 2019, em escala de 1:40.000. Fonte: O Autor, 2019.

Tabela 4: Quantificação das classes de uso e ocupação do solo na área-tipo bacia do rio Belém – Confluência com os rios Água verde e Ivo. Em verde está destacado o somatório da proporção de área que manteve sua permeabilidade original, e em vermelho as áreas que possuem sua permeabilidade reduzida ou anulada.

Ano	Classes	Área (km ²)	Porcentagem Total (%)	Somas áreas permeáveis/impermeáveis (%)
1957	Fragmento Florestal	1,09	21,2	65,9
	Campo	2,30	44,7	
	Área em Urbanização	1,72	33,4	-
	Curso Fluvial	0,037	0,7	-
1980	Fragmento Florestal	0,71	13,8	57,5
	Campo	2,55	43,7	41,6
	Área Urbana	2,14	41,6	
	Curso Fluvial	0,044	0,8	-
2019	Fragmento Florestal	0,58	11,28	25,09
	Campo	0,71	13,81	74,31
	Área Urbana	3,82	74,31	
	Curso Fluvial	0,036	0,70	-
Total		5,14	100	-

Fonte: O Autor, 2019.

5.2.3 Uso e ocupação do solo na bacia rio Atuba – Confluência com o rio Bacacheri

O desenvolvimento do uso e da ocupação do solo nessa região, durante o período de tempo amostrado, indicou a maior porcentagem de crescimento urbano em comparação com as demais localidades: cerca de 56,18%, conforme evidenciado qualitativamente pela figura 12, e quantitativamente pela tabela 5.

Durante o período de 1957-1980 é notável o crescimento urbano, principalmente na margem esquerda do rio Atuba (região localizada no Bairro Alto em Curitiba), onde o zoneamento residencial e comercial é predominante. O mesmo período amostrado evidencia a queda de 15,9% de área de campo, e um pequeno aumento de fragmento florestal, principalmente na região a sul da foz do rio Bacacheri.

O período de 1980-2019 estabeleceu o grande crescimento urbano da localidade em detrimento da ocupação de área de fragmento florestal e área de campo; neste período, a área urbana cresceu 47,5%, e a área ocupada por campo diminuiu 31,31%. O crescimento urbano neste último intervalo de tempo (1980-2019) se deu principalmente na margem direita do rio Atuba (Jardim Pedro Demeterco, Pinhais), onde zonas de ocupação industrial e residencial prevalecem.

Referente a metodologia empregada, podemos apontar algumas erratas: a classificação de áreas em urbanização em locais de campos próximas às margens do rio Atuba, e a classificação de fragmento florestal em regiões de campo, na foto de 1957. Na foto de 1980 também é observada a classificação de fragmento florestal e área urbana em áreas que supostamente seriam de campo. Tais pontos podem ser analisados nos apêndices III e VII.

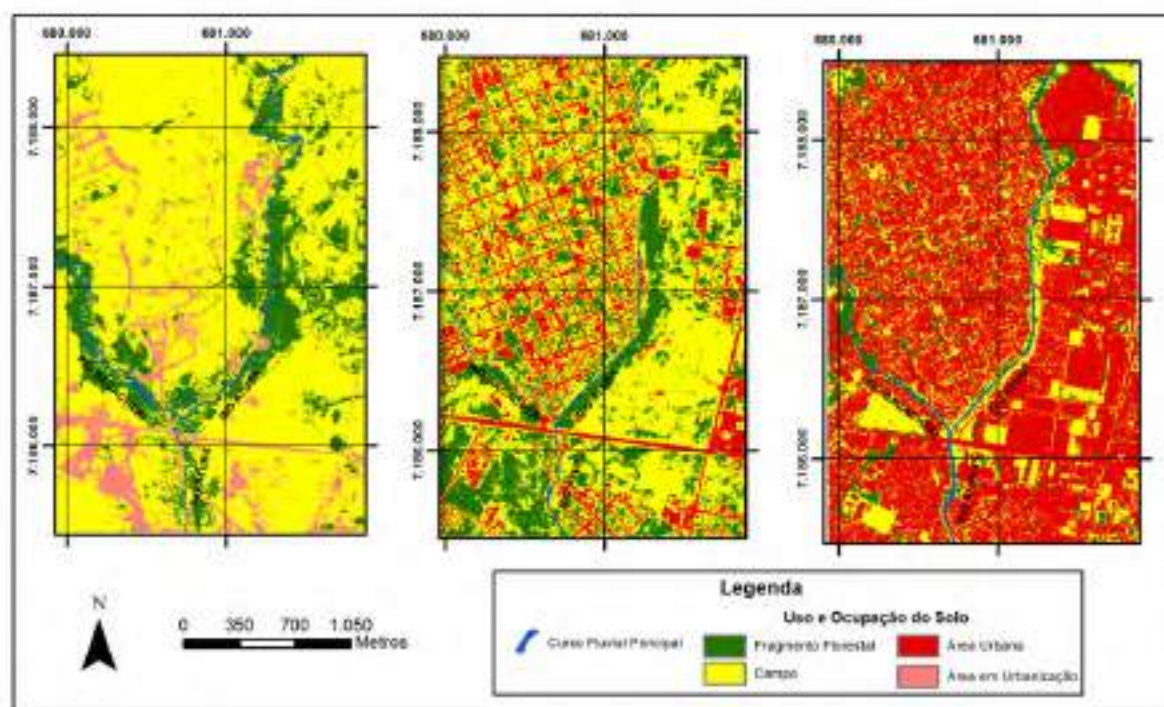


Figura 12: Cartas de uso e ocupação do solo da área-tipo bacia do rio Atuba – Confluência com o rio Bacacheri; da esquerda para direita: 1957, 1980 e 2019, em escala de 1:40.000. Fonte: O Autor, 2019.

Tabela 5: Quantificação das classes de uso e ocupação do solo na área-tipo bacia do rio Atuba – Confluência com o rio Bacacheri. Em verde está destacado o somatório da proporção de área que manteve sua permeabilidade original, e em vermelho as áreas que possuem sua permeabilidade reduzida ou anulada.

Ano	Classes	Área (km ²)	Porcentagem Total (%)	Somas áreas permeáveis/im permeáveis (%)
1957	Fragmento Florestal	1,01	17,12	88,86
	Campo	4,24	71,74	
	Área em Urbanização	0,59	9,98	18,61
	Curso Fluvial	0,068	1,15	
1980	Fragmento Florestal	1,48	25,04	80,88
	Campo	3,30	55,84	66,16
	Área Urbana	1,10	18,61	
	Curso Fluvial	0,035	0,59	-
2019	Fragmento Florestal	0,50	8,46	32,99
	Campo	1,45	24,53	66,16
	Área Urbana	3,91	66,16	
	Curso Fluvial	0,053	0,90	-
Total		5,91	100	-

Fonte: O Autor, 2019.

5.2.4 Uso e ocupação do solo na bacia do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguçu

A observação da evolução temporal e espacial do uso e a ocupação do solo nessa região, durante o período de aproximadamente seis décadas, evidenciou um expressivo crescimento urbanístico, que passou de 7,33% de área em urbanização em 1957 para 50% de área urbana em 2019, conforme evidenciado pela figura 13.

Durante o período de 1957-1980 é evidente a diminuição de fragmento florestal e de área de campo (TABELA 6); a urbanização aconteceu a uma certa distância da confluência dos rios, nos bairros Cajuru (em Curitiba) e Weissópolis (em Pinhais). No mesmo período, a região localizada mais próxima da confluência foi ocupada por campos alagados, abrangendo 5,87% da área total.

O período de 1980-2019 marcou a consolidação da ocupação urbana na localidade, que cresceu 39,7%; até mesmo regiões próximas da confluência dos rios foram ocupadas, principalmente por zoneamento residencial e comercial. É importante também destacar o crescimento espacial do bairro Cajuru em Curitiba, o qual passou a ocupar regiões anteriormente compostas por fragmento florestal e por regiões alagadas nas margens dos rios.

Durante a evolução da urbanização nesta área-tipo, somente parte da margem direita do rio Iraí foi preservada; atualmente, esta é composta principalmente por campo e áreas alagada.

Se tratando da metodologia adotada, é pertinente salientar alguns erros de análise: nas fotos de 1957 e 1980, algumas porções de áreas classificadas como áreas em urbanização, áreas urbanas e fragmentos florestais na verdade pertencem a áreas de campo, principalmente na margem esquerda do rio Atuba. Tais feições podem ser vistas em detalhes nos apêndices IV e VIII.

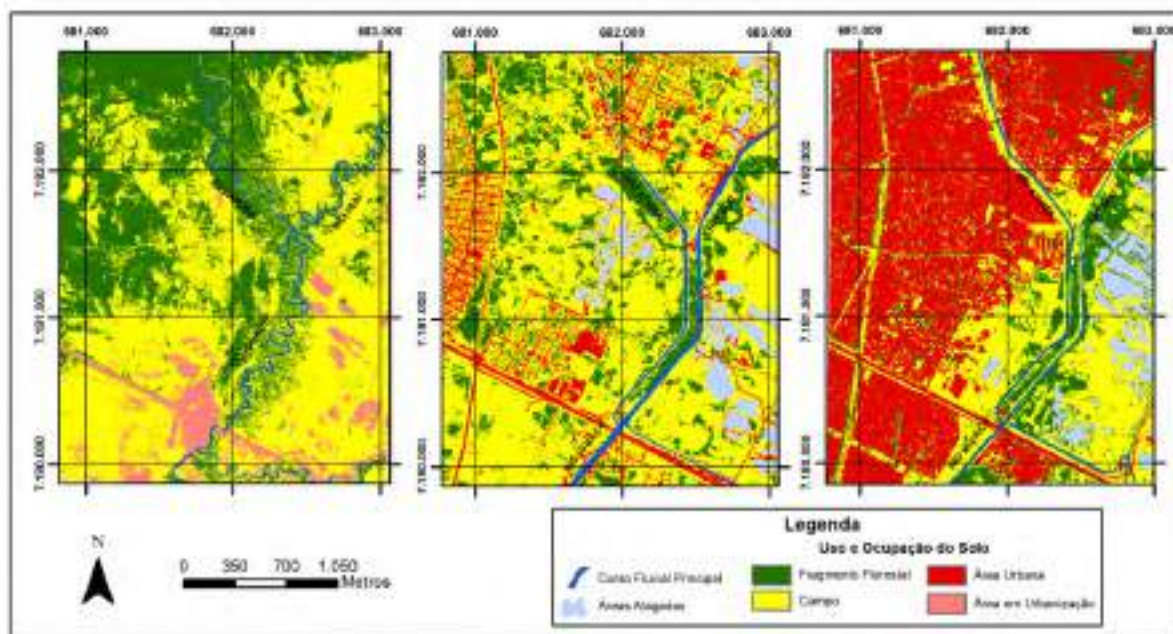


Figura 13: Cartas de uso e ocupação do solo da área-tipo bacia do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguçu: da esquerda para direita: 1957, 1980 e 2019, em escala de 1:40.000. Fonte: O Autor, 2019.

Tabela 6: Quantificação das classes de uso e ocupação do solo na área-tipo bacia do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguçu. Em verde está destacado o somatório da proporção de área que manteve sua permeabilidade original, e em vermelho as áreas que possuem sua permeabilidade reduzida ou anulada.

Ano	Classes	Área (km ²)	Porcentagem m Total (%)	Somas áreas permeáveis/impermeáveis (%)
1957	Fragmento Florestal	2,40	35,19	90,91
	Campo	3,80	55,72	
	Área em Urbanização	0,50	7,33	-
	Curso Fluvial	0,124	1,82	-
1980	Fragmento Florestal	1,37	20,09	81,67
	Campo	4,20	61,58	
	Área Urbana	0,70	10,26	10,26
	Curso Fluvial	0,15	2,20	-
	Área Alagada	0,40	5,87	-
2019	Fragmento Florestal	0,98	14,37	43,26
	Campo	1,97	28,89	
	Área Urbana	3,41	50,00	50,00
	Curso Fluvial	0,11	1,61	-
	Área Alagada	0,35	5,13	-
Total		6,82	100	-

Fonte: O Autor, 2019.

6 DISCUSSÕES E ANÁLISES

As análises tempo-espaciais da evolução dos canais fluviais e das formas de uso e ocupação do solo atuam de forma interdependente para o entendimento da alteração da dinâmica do sistema hídrico causada pela ação humana. As regiões de estudo, pertencentes às bacias hidrográficas dos rios Belém e Atuba, passaram por intenso processo de urbanização, principalmente a partir da década de 1970 (ESPÍNOLA, 2003).

Nesse período, o advento da industrialização na Região Metropolitana de Curitiba trouxe grandes quantidades de trabalhadores para estabelecer residência na região, requerendo uma demanda comercial apropriada para o suprimento das necessidades dessa nova classe trabalhadora (BRASÍLIO, 2005). Essa grande demanda industrial, residencial e comercial, por sua vez, fez crescer a necessidade de estabelecimento de planos, regras e leis para a organização do crescimento urbano da região. Os resultados e dados apresentados na presente monografia, na seção anterior, permitem a análise e a discussão de tais implicações na mudança dos processos naturais ambientais causados pela ação antrópica nas localidades selecionadas.

Tratando da análise tempo-espacial da evolução do curso fluvial nas quatro áreas-tipo, quatro mudanças comuns são perceptíveis na maior parte das áreas: 1) a passagem do canal fluvial de meandrante para retilíneo; 2) a diminuição da planície de inundação; 3) o encurtamento da extensão longitudinal do curso fluvial; e 4) o alargamento em planta do canal fluvial.

Paralelamente, e tendo em vista o uso e a ocupação do solo, apesar de alguns erros analíticos encontrados na metodologia abordada, duas características marcantes são notáveis: 1) o aumento da área urbanizada, e 2) a ocupação residencial e comercial em zonas de várzea.

A relação das mudanças observadas, tanto no curso fluvial quanto no uso e na ocupação do solo, afeta diretamente o equilíbrio natural do meio no qual estão inseridas, e reduzem a qualidade dos recursos hídricos.

A retificação, e conseqüente canalização dos cursos fluviais, fortemente observada nos dados, é um dos principais fatores atuantes no desequilíbrio ambiental (MONTGOMERY, 2011; PERRY; TAYLOR, 2007); a mudança do nível de base de forma abrupta causa o aumento de energia do fluxo, intenso entalhamento do leito fluvial a montante, agradação dos sedimentos a jusante, e erosão das margens. O conjunto destes fatores, associado a remoção de matas ciliares, provoca uma enorme perda de sedimentos na bacia sem a concomitante deposição, culminando em alargamento do canal fluvial (MONTGOMERY, 2011; GIRÃO; CÔRREA, 2015).

Tais observações corroboram Wolman (1967), que, em estudos realizados em rios no nordeste dos Estados Unidos, verificou um acréscimo da largura dos rios de bacias urbanas quando comparados a rios em bacias rurais da mesma localidade. Entretanto, também é possível perceber uma relação inversa: em estudos de bacias rurais e urbanas no sudoeste da Nigéria, Ebisemiju (1989) verificou que os rios urbanos são relativamente menores que seus equivalentes rurais.

Contudo, o “grau de urbanização” não foi muito bem definido pelos autores; comparando as atividades comerciais e econômicas de cada região, as porções urbanas do sudoeste da Nigéria devem apresentar maior área de solo exposto sujeito a erosão em relação a região nordeste dos Estados Unidos, que possui uma das maiores densidades populacionais do país. Portanto, os resultados obtidos por Wolman (1967) são os mais adequados para a região de estudo.

Dessa forma, em geral, os três períodos de tempo amostrados (1957-1980-2019) permitem avaliar um ciclo de evolução dos processos naturais causados pela ação antrópica na região. Em 1957, com exceção da área-tipo “curso do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo”, os demais canais fluviais possuíam morfologia meandrante, tendo certo equilíbrio com o sistema natural, com o estabelecimento de meandros abandonados, barras de pontais, e planícies de inundação bem definidas. Estas feições evidenciam certo estado de senilidade do relevo, com condições de equilíbrio entre erosão a montante e deposição a jusante (DAVIS, 1899).

Em termos de uso e ocupação do solo, as quatro áreas analisadas apresentaram mais de 60% de porções permeáveis nesse período, as quais fazem

parte da categoria campo e fragmento florestal — tendo o último apresentado uma variação de 17,12% a 52,7%; esta observação permite destacar o início das alterações antrópicas nas localidades, manifestadas pelo desmatamento, a atividade agrícola e o incipiente processo de urbanização.

Em 1980, com o estabelecimento da retificação de porções dos rios e o início (de fato) do processo de urbanização, mudanças bruscas no equilíbrio do meio ocorreram. Primeiramente, houve a mudança do nível de base e uso rotineiro de máquinas pesadas usadas nas construções, que aumentou a susceptibilidade à erosão. A retificação e a canalização dos rios também intensificaram a erosão, tanto do leito quanto dos interflúvios, gerando grandes quantidades de sedimentos de carga de fundo e um ciclo cada vez maior de entalhamento do leito.

Em porções onde o rio tem seu leito impermeabilizado por obras de engenharia, a energia de transporte é intensificada, resultando em aumento da sua capacidade — especialmente quando ocorrem chuvas torrenciais. Ratificando os processos citados, Oliveira (1998), em relatório técnico com finalidade de prevenção de acidentes geológicos urbanos, cita a canalização e a retificação de rios e córregos como fator desencadeante de foco de erosão a jusante, assoreamento e possíveis inundações. Na mesma seara, Rosa (2013) exemplifica e quantifica os processos de erosão, e, conseqüentemente, de assoreamento em drenagem urbana na cidade de São Paulo, dando suporte às observações da presente monografia.

Com o estabelecimento efetivo de áreas urbanizadas entre o período de 1980-2019, a dinâmica natural sofreu novos processos de transformação. A grande impermeabilização do solo, proporcionada pelo avanço da urbanização, levou a uma diminuição das ações erosivas na bacia, e conseqüente diminuição do aporte sedimentar (em comparação com o período anterior).

A impermeabilização, especialmente das regiões de várzea de rio, causa enormes riscos de inundação em períodos de chuvas concentradas (LIMA, 2000; LIMA; NEGRELLE, 1998). Em condições naturais, estas regiões funcionam como atenuantes de enchentes e inundações; entretanto, suas modificações aumentam substancialmente a vazão e a capacidade dos rios, resultando no incremento da probabilidade de enchentes e inundações à jusante (MONTGOMERY, 2011).

O progressivo aumento de regiões pantanosas/alagadas na foz do rio Atuba, evidenciado pela área-tipo “curso do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguaçu” no intervalo de pouco mais de seis décadas, é um sinal da mudança na dinâmica ambiental.

Com o incremento de regiões impermeabilizadas, aumenta o escoamento superficial; devido a isso, os eventos de precipitação torrencial — que, anteriormente perdiam grande quantidade por infiltração — aumentam também a vazão dos rios em curto espaço de tempo (FENDRICH, 2002). Concomitantemente, o aumento da energia do fluxo gera a remobilização e consequente transporte dos sedimentos a jusante, os quais são amplamente depositados na desembocadura dos rios.

Essas regiões elencadas comprovam o desequilíbrio dinâmico dos processos naturais ao longo da bacia, e o aumento de eventos de inundações na RMC, especialmente em regiões a jusante dos principais rios urbanos a partir da década de 1980, é reflexo desses processos. Nesse sentido: Zanella (2014) aborda os eventos de inundações dando enfoque ao bairro Cajuru, e seus consequentes riscos e impactos na vulnerabilidade social da região; Lima (2000) cita os principais episódios de inundação no município de Curitiba até então, debate suas problemáticas socioambientais, e propõe algumas medidas de prevenção e mitigação; Giusti (1989) discute o tema do excessivo aporte de sedimentos, que resulta em inundações nas proximidades da área-tipo “curso do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguaçu”.

A origem e a quantificação dos sedimentos gerados em bacias urbanas e rurais são muito discutidas na literatura, e são encontrados diferentes resultados a depender da região analisada. Sari *et al.*, (2013) em seu estudo sobre a fonte de sedimentos em bacias hidrográficas, compila os resultados em nível mundial; em seu trabalho, é possível verificar que grande parte dos sedimentos são oriundos do entalhamento do próprio canal, ou da erosão de áreas agrícolas e campos abertos. Já Xiaoqing (2003), em estudos de quantificação de sedimentos em grandes bacias hidrográficas da China, indica que bacias hidrográficas que possuem alta taxa de urbanização possuem maior aporte sedimentar em comparação com suas equivalentes rurais — dados estes também observados por Wolman (1967) na região nordeste dos EUA. Contudo, tanto Wolman (1967) quanto Xiaoqing (2003)

destacam a importância da evolução temporal da paisagem como fator determinante nesse processo.

O início do processo de urbanização expõe o solo à erosão, causando um pico no aporte sedimentar da bacia; o estabelecimento desse processo — o qual provoca um aumento no tamanho de áreas impermeabilizadas e a busca de equilíbrio do canal — diminui o aporte sedimentar da bacia e de seus interflúvios (WOLMAN, 1967). Entretanto, processos erosivos nas margens e no fundo do canal ainda são perceptíveis, e levam ao incremento da largura e da profundidade do canal. Com a passagem do tempo, há um “amadurecimento” geomorfológico do canal, tendendo a diminuição dos processos erosivos, tanto da margem quanto do leito (Davies, 1899). A figura 14 apresenta as análises de bacias localizadas no nordeste dos Estados Unidos, de modo a estabelecer uma relação quantitativa e qualitativa do aporte sedimentar, do uso do solo e da condição do canal em função do tempo.

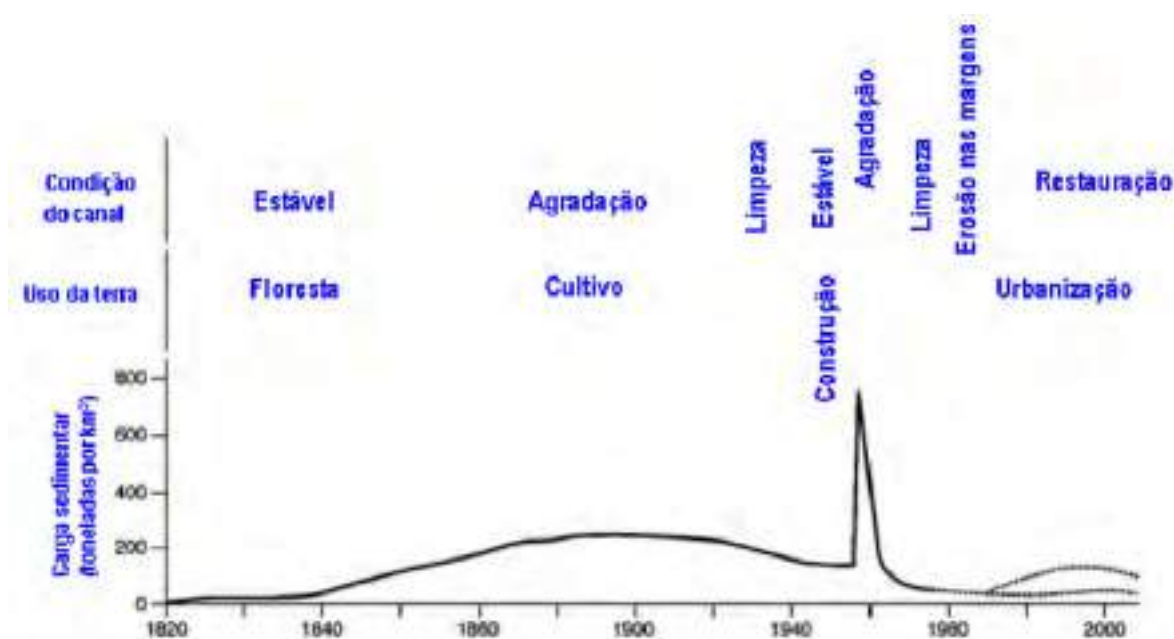


Figura 14: Ciclo da evolução temporal da produção de sedimentos, relacionado ao uso do solo e das condições do canal. Fonte: Girão e Corrêa, 2015, adaptado de Wolman, 1967.

Os estudos de Wolman (1967) e Xiaoqing (2003), corroboram, em grande parte, a evolução dos processos naturais resultantes das modificações antrópicas interpretadas na presente monografia. Todavia, os dados de mudança do canal fluvial e do uso e ocupação do solo apresentados são apenas alguns dos vários critérios utilizados pelos autores supracitados para o estabelecimento de suas teorias.

Os resultados por nós observados permitiram firmar certo padrão do comportamento da evolução dos cursos fluviais e do uso e ocupação do solo, conforme discutimos anteriormente. No entanto, alguns dados apresentam-se discrepantes; o uso e a ocupação do solo na área-tipo “bacia do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço” no período de 1980-2019, por exemplo, revela um pequeno aumento de fragmento florestal (TABELA 3), e este fato pode estar associado a política de preservação ambiental com o estabelecimento de parques ao longo dos rios urbanos de Curitiba. Outro aspecto observado, a retificação do curso fluvial na área-tipo “*curso do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo*”, anterior ao ano de 1957, pode estar vinculado a política de desenvolvimento urbano, haja vista que a região está localizada em um dos principais focos de urbanização do município.

As fontes dos sedimentos encontrados nos rios podem ser classificadas em minerais, orgânicas e antropogênicas (PERRY; TAYLOR, 2007); o avanço da urbanização em regiões próximas aos rios pode apresentar potenciais riscos a poluição dos recursos hídricos, e, conseqüentemente, a saúde humana, justamente de acordo com a composição desses sedimentos.

As regiões de estudo recebem aporte significativo de esgotos domésticos, resíduos industriais e demais fontes antrópicas, como restos da construção civil, entulho, plástico, entre outros. Autores como Dotto (2006), Perry e Taylor (2007) e Poletto e Martinez (2011), destacam a importância dos estudos de caracterização e quantificação desses sedimentos urbanos como ponto de partida para a elaboração de medidas que direcionem a maximização do uso dos recursos hídricos e conseqüente sustentabilidade do meio.

Os resíduos industriais não-tratados e o esgoto doméstico são os principais agentes de risco quando se trata de saúde pública. Os episódios de inundação,

recorrentes nas regiões de estudos, aumentam o risco de contração de doenças infecciosas; o contato direto e/ou a ingestão de água contaminada pela população vítima desses desastres ambientais podem levar a doenças como a leptospirose, a hepatite A, a hepatite E, doenças diarreicas, a febre tifoide e o cólera (MARTINS; CASTIÑERAS, 2008).

Apesar do município de Curitiba apresentar sistema completo de esgoto sanitário, com coleta, afastamento, tratamento e destino final, o mesmo não acontece nos demais municípios da região metropolitana (GIUSTI, 1989); portanto, tais municípios podem sofrer seriamente com as consequências dos riscos sanitários e ambientais ocorridas nos grandes centros urbanos.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O conjunto das técnicas de sensoriamento remoto com utilização de fotos aéreas e imagens de satélite é uma importante ferramenta que permite identificar os agentes modificadores do espaço, e reconhecer e qualificar a extensão das alterações temporais e espaciais provocadas pelo homem. Essas técnicas, juntamente com o conhecimento dos processos geológicos ambientais em meio urbano, possibilitam estabelecer hipóteses da íntima correlação entre as modificações antrópicas e suas respectivas influências nos processos naturais.

Apesar de limitações metodológicas, com base nas confecções de cartas, pudemos verificar e evidenciar mudanças dos cursos fluviais e do uso e ocupação do solo em regiões urbanas das bacias dos rios Belém e Atuba, nos anos de 1957, 1980 e 2019. Percebemos, por exemplo, que os cursos fluviais apresentaram transformações em sua extensão, largura, sinuosidade e planície de inundação, e que, de forma geral, na passagem do tempo, houve uma diminuição da extensão e da sinuosidade e um aumento da largura.

Já os resultados das cartas de uso e ocupação do solo, separadas nas classes de área em urbanização, área urbanizada, campo e fragmento florestal, apontaram, de modo geral, um avanço da área urbanizada em detrimento das classes campo e fragmento florestal.

Os resultados obtidos, em conjunto com a pesquisa bibliográfica, permitiram realizar uma análise da evolução da dinâmica natural, com foco nos processos hidrossedimentológicos resultantes das alterações antrópicas nas localidades — haja vista que o avanço da ocupação humana no meio natural exige certas modificações no mesmo para o suprimento das necessidades da população.

As análises das áreas-tipo permitiram estabelecer um ciclo de ocupação, primeiramente agrícola na área-tipo “bacia do rio Belém – Arredores do Parque São Lourenço”, além de resquícios de urbanização nas áreas-tipo “bacia do rio Belém – Confluência com os rios Água Verde e Ivo”, “bacia do rio Atuba – Confluência com rio Bacacheri” e “bacia do rio Atuba – Confluência com os rios Iraí e Iguaçu”. Esse

início de ocupação resultou em desmatamento e fragmentação do solo, e culminou no significativo aumento de aporte sedimentar e da capacidade dos rios.

Seguindo na evolução, notamos o estabelecimento do início da urbanização em todas as áreas-tipo, registrado no quase completo desmatamento e retificação dos cursos fluviais, exceto na área tipo “curso do rio Belém – Confluência com rios Água Verde e Ivo” que já se apresentava retificação no ciclo anterior. Tais feições resultaram em um pico de aporte sedimentar, e culminaram na intensa denudação, tanto do leito dos rios quanto dos interflúvios das bacias.

No encerramento do ciclo das áreas observadas, verificou-se o estabelecimento concreto da área urbanizada, com grandes porções do solo impermeabilizadas e a canalização dos cursos dos rios. Essas feições permitem inferir uma diminuição do aporte sedimentar dos rios em relação ao pico registrado no ciclo anterior; no entanto, tais processos ficam mais suscetíveis a eventos de chuvas torrenciais, os quais ocasionam abrupto incremento, tanto da energia de transporte, como da capacidade dos rios (podendo resultar em inundações e alagamentos).

As alterações antrópicas que causam os fatores modificadores da dinâmica natural do meio são codependentes das aplicações de políticas públicas de uso e ocupação e gestão dos recursos hídricos, pois modificações nas leis que compõem essas políticas permitem a maximização do desenvolvimento sustentável dos grandes centros urbanos.

Considerando que o avanço da urbanização é um fato irremediável e irrefreável, pode-se apenas apresentar propostas de mitigação com o intuito de anular ou diminuir os impactos sociais e econômicos sofridos pela população em área de riscos. As análises dos processos hidrossedimentológicos, em conjunto com a evolução das políticas acima mencionadas, permitiram estabelecer algumas recomendações, que incluem:

- A implementação da integração da gestão dos recursos hídricos de Curitiba e região metropolitana;
- A realização de estudos para a implementação de saneamento básico em toda a RMC;

- A atualização do mapeamento geotécnico em escala de detalhe, especificando a capacidade de campo do solo em regiões de riscos;
- A instalação de armadilhas de sedimentos urbanos em bueiros, com a finalidade de reter descartes com granulação de seixo a matacão, e, assim, evitar o entupimento na captação de águas pluviais;
- A instalação de armadilhas de sedimentos de granulação fina a grossa em pontos estratégicos, com o intuito de evitar o grande aporte de sedimentos a jusante dos rios;
- A realização da dragagem periódica dos canais impermeáveis nos grandes centros, a fim de impedir o assoreamento dos próprios canais e de possíveis barragens a jusante;
- A obrigatoriedade de construção de *pallets* (casas sobrelevadas em relação ao pavimento térreo) em novas residências situadas em regiões de riscos de inundações;
- A implementação de APPs (Áreas de Preservação Permanente) em regiões de várzea de rios, com reflorestamento de espécies arbóreas nativas da região;
- A implantação de ruas com paralelepípedos ou *pavers* em regiões centrais com pouco trânsito de veículos, de modo a aumentar a capacidade de infiltração do solo;
- A criação de leis que regulamentem a dimensão de área mínima permeável por residência e/ou estabelecimento comercial;
- O incentivo fiscal a edifícios que armazenam água da chuva, de forma a atenuar o pico de escoamento superficial;
- A fiscalização da implementação das leis de uso e zoneamento do solo em vigor, com pena de multa e aumento fiscal;
- A implementação de planejamento estratégico por parte da defesa civil e órgãos competentes em regiões de recorrentes inundações, com a finalidade de prestar o mais rápido auxílio possível às populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica.

Por fim, é importante salientar a necessidade de uma abordagem multidisciplinar, com técnicos das áreas de engenharia, geografia, arquitetura,

geologia, biologia, sanitaristas, dentre outras, para alcançar a melhor compreensão de todas as variáveis intrínsecas das formas de uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

ÁGUAS PARANÁ. **Relatório de Diagnóstico**: Planos da Bacia do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira. 2004. Instituto das Águas do Paraná. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/COALIAR/Publicacoes/plano_de_bacias/cap04_uso_do_solo.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2019.

ÁGUAS PARANÁ. **Mapas e Dados Espaciais**. Curitiba: 2004.

BIGARELLA, J. J; SALAMUNI, R. Estudos preliminares da Série Açungui. V. Estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiru (PR). **Dusenía**, Curitiba, v. 6, n. 7, p.317-323, 1956.

BRASILIO, W. **Industrialização e Degradação Ambiental: O Caso do Rio Belém, em Curitiba, PR**. 2005. 80 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA. **2004: gestão democrática no Plano Diretor de Curitiba - Parte III**. 2019. Disponível em: <https://www.cmc.pr.gov.br/ass_det.php?not=25702#&panel1-7>. Acesso em: 04 jun. 2019.

CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. (Vol.1). Rio Claro: Edgard Blucher Ltda, 1988. 313 p.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Editora Unicamp, 1992. 170 p.

CURITIBA. **Lei Municipal N. 9.800, de 03 de janeiro de 2000**. Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no município de Curitiba e dá outras providências. Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2000.

CURITIBA. **Lei Municipal N. 11.266, de 16 de dezembro de 2004.** Dispõe sobre a adequação do Plano Diretor de Curitiba ao Estatuto da Cidade - Lei Federal nº 10.257/01, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do Município.

Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2004.

CURITIBA. **Lei Municipal N. 14.771, de 17 de dezembro de 2015.** Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor de Curitiba de acordo com o disposto no art. 40, § 3º, do Estatuto da Cidade, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do

Município. Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2015.

CURITIBA. **Lei Municipal N. 15.511, de 10 de outubro de 2019.** Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no município de Curitiba e dá outras providências.

Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2019.

CURITIBA. Prefeitura de Curitiba. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Org.). **Recursos Hídricos.** 2010. Disponível em: <<http://multimedia.curitiba.pr.gov.br/2010/00085317.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2019.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **The Geographical Journal.** Cambridge, p. 481-504. 1899.

DIAS, L. S. M; CUNHA, S. B. Mudanças nos canais fluviais da sub-bacia do canal do Cunha (RJ): Intervenções Antrópicas. **Equador: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí, Teresina, v. 6, n. 1, p.23-43, 2017.**

DOTTO, C. B. **Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria - RS.** 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

EBISEMIJU, F. S. The Response of Headwater stream Channels to Urbanizations in the Humid Tropics. **Hydrological Processes,** Ado-Ekiti, Ondo State, Nigéria v. 3, p.237-253, 1989.

ESPINOLA, C. A. **Uso e Ocupação do Solo das Margens do Rio Belém, Entre a PUCPR e Placas do Paraná - Curitiba - (PR)**. 2003. 45 f. TCC (Graduação em Geografia) - Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Tuiuti Paraná, Curitiba, 2003.

FENDRICH, R. **Coleta, Armazenamento, Utilização e Infiltração das Água Pluviais na Drenagem Urbana**. 2002. 499 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

GIRÃO, O; CORRÊA, A. C. B. Progresso nos Estudos de Geomorfologia Fluvial Urbana ao Final do Século XX. **Revista Geo Uerj**, Rio de Janeiro, n. 26, p.245-269, 2015.

GIUSTI, D. A. **Contribuição a Geologia Ambiental no município de Curitiba - Pr**. 1989. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

IBGE. **Censo Demográfico**. Brasília: 2010.

IPPUC. **Planejamento Urbano**. Curitiba: 2014.

ITCG (Org.). **Clima - Estado do Paraná**. 2008. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Climas_A3.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

LICHT, O. A. B. A evolução do conhecimento sobre a Província Ígnea do Paraná. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 2, n. 35, p.71-106, 2014.

LIMA, R. E. (Org.). **Uso dos solos e dos rios: conceitos básicos e aplicações para a região de Curitiba**. Curitiba: NIMAD, 2000. 194 p.

LIMA, R. E; NEGRELLE, R. R. B. (Org.). **Meio Ambiente e Desenvolvimento no Litoral do Paraná: Diagnóstico**. Curitiba: Editora UFPR, NIMAD, 1998. 258 p.

MANSIKKANIEMI, H. The sinuosity of rivers in northern Finland. **Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis**, Finlândia (Turku), v. 52, n. 1, p.16-32, set. 1970.

MARTINS, F. S. V; CASTIÑEIRAS, T. M. P. P. **Inundações, doenças e vacinas**. 2008. Disponível em: <<http://www.cives.ufrj.br/informacao/inundacoes/inundacoes.html>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

MILANI, E. J; MELO, J. H. G; SOUZA, P. A; FERNANDES, L. A; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.265-287, 2007.

MONTGOMERY, C. W. **Environmental Geology**. 9. ed. New York: Mcgrawhill, 2011. 511 p.

NADALIN, R. J; HINDI, E. C; SALAMUNI, E; NADALIN, L. F; ANGULO, R. J; SOUZA, M. C; FERREIRA, F. J. F; CASTRO, L. G; STEVANATO, R. **Tópicos Especiais em Cartografia Geológica**. 1 ed. Curitiba: Editora UFPR, 2014. 296 p.

OLIVEIRA, L. M. **Guia de Prevenção de Acidentes Geológicos Urbanos**. Curitiba: Biblioteca Mineropar, 1998.

PERRY, C; TAYLOR, K. **Environmental Sedimentology**. Manchester: Blackwell Publishing, 2007. 441 p.

POLETO, C; MARTINEZ, L. L. G. Sedimentos Urbanos: Ambiente e Água. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 11, n. 1, p.1-15, 2011.

ROSA, F. P. **Controle de Erosão e Sedimentação em Sistemas de Drenagem Provisória de Obras Urbanas no Município de São Paulo: Análise de Práticas e Recomendações**. 2013. 159 f. Dissertação (Mestrado em Habitação Planejamento e Tecnologia) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2013.

SARI, V; POLETO, C; CASTRO, N. M. R. Caracterização dos Processos Hidrossedimentológicos em Bacias Rurais e Urbanas. **Enciclopédia Biosfera**: Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n. 16, p.596-624, 01 jul. 2013.

TEIXEIRA, W; FAIRCHILD, T. R; TOLEDO, M. C. M; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 621 p.

UNIÃO EUROPEIA. **Orientação sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos.** Luxemburgo, 2012. 68 p.

WOLMAN, M. G. A Cycle of Sedimentation and Erosion in Urban River Channels. **Geografiska Annaler**, Baltimore, n. 49, p.385-395, 1967.

XIAOQING, Y. (Suíça). Secretariat of World Meteorological Organization (Org.). **Manual on Sediment Management and Measurement.** 47. ed. Geneva: WMO, 2003. 158 p. (Operational Hydrology Report). Disponível em: <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=1709>. Acesso em: 02 jun. 2019.

ZANELLA, M. E. **Inundações em Curitiba: Impactos, Risco e Vulnerabilidade Socioambiental.** Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 194 p.

**APÊNDICE I: CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL – CURSO DO RIO
BELÉM – ARREDORES DO PARQUE SÃO LOURENÇO**

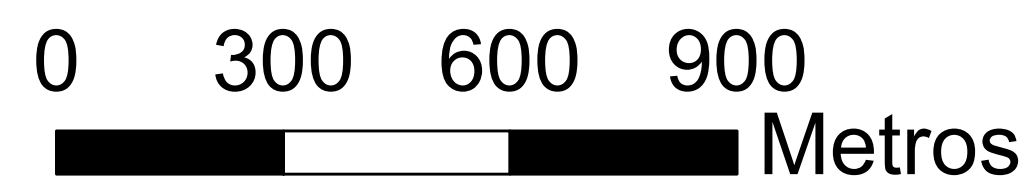
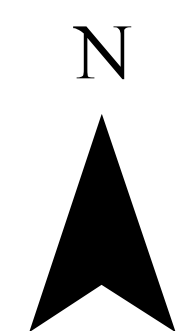
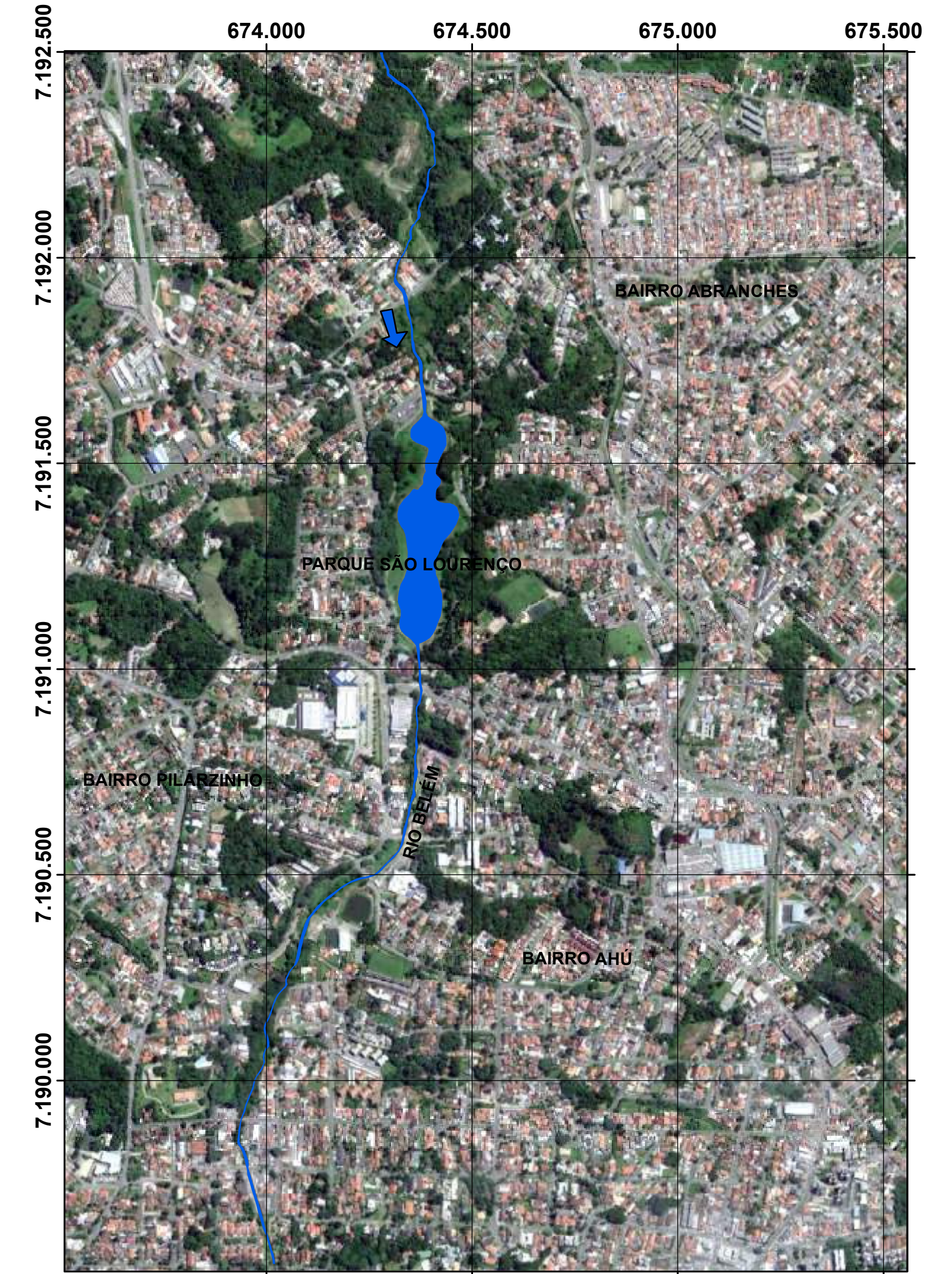
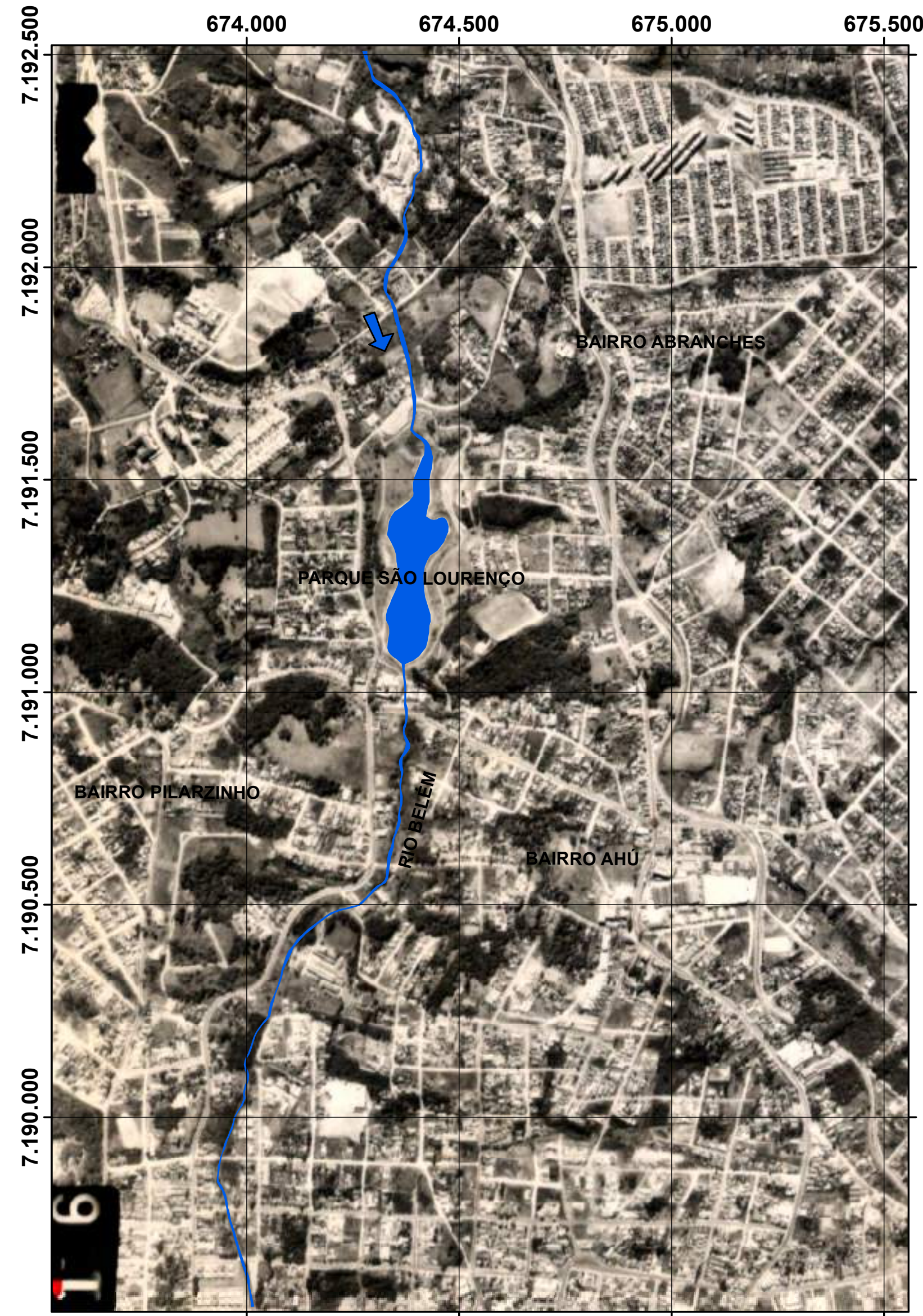
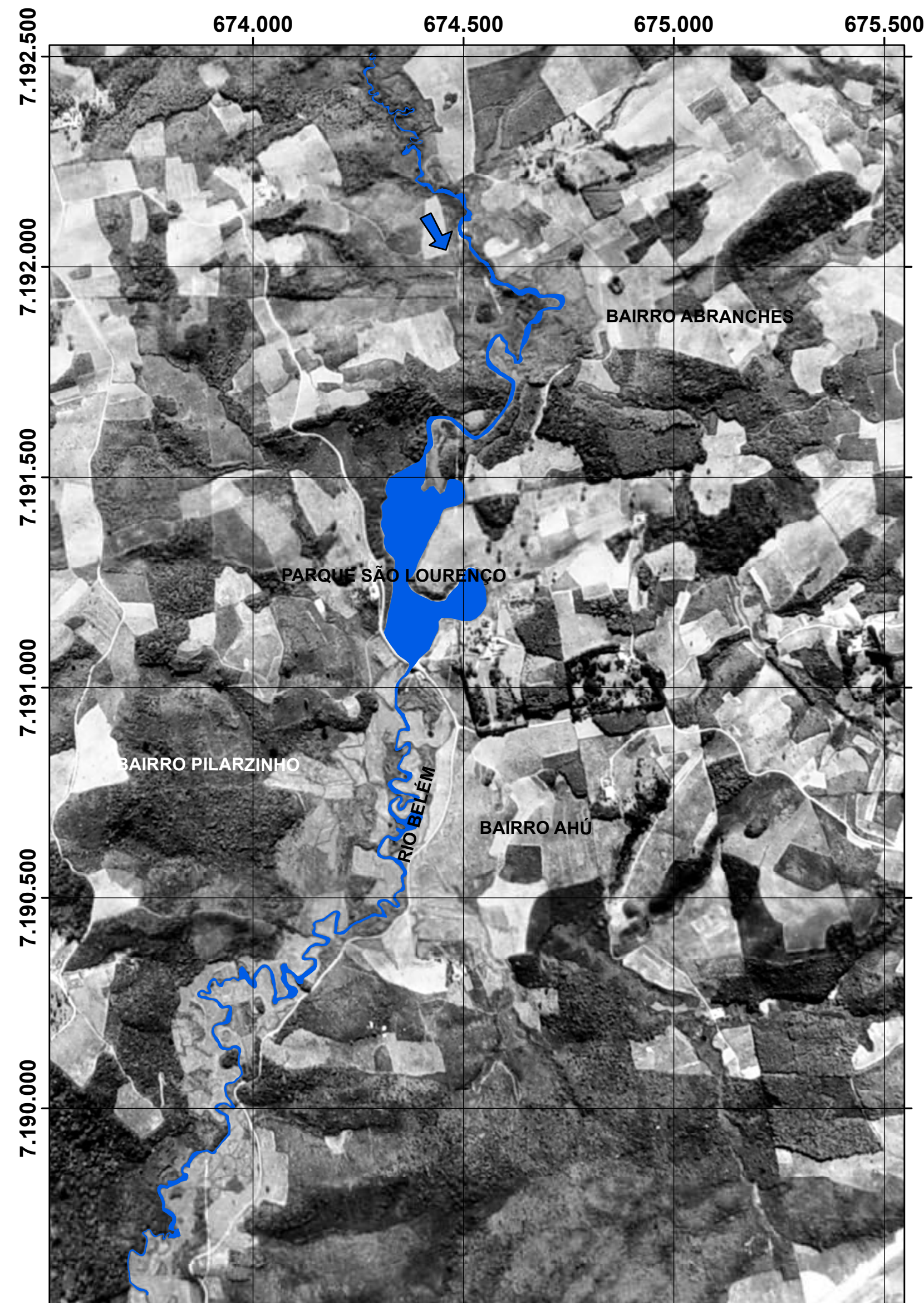
CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL

CURSO DO RIO BELÉM - ARREDORES DO PARQUE SÃO LOURENÇO

Ano 1957

Ano 1980

Ano 2019



LEGENDA

CURSO FLUVIAL PRINCIPAL

FLUXO FLUVIAL

	CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL CURSO DO RIO BELÉM - ARREDORES DO PARQUE SÃO LOURENÇO	AFERÊNCIA:
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	I
COORDENAÇÃO:	DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	DATA:
ELABORAÇÃO:	LUIZ HENRIQUE SOARES	NOVEMBRO / 2019
ESCALA:	1:10.000	ORIENTADOR:
FONTES DAS IMAGENS:	1957 - IPPUC	PROF. M.Sc. RENATO EUGENIO DE LIMA
	1980 - ITCG	DATUM HORIZONTAL:
	2019 - GOOGLE EARTH	UTM WGS 84 - 22 S

**APÊNDICE II: CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL – CURSO DO RIO
BELÉM – CONFLUÊNCIA COM OS RIOS ÁGUA VERDE E IVO**

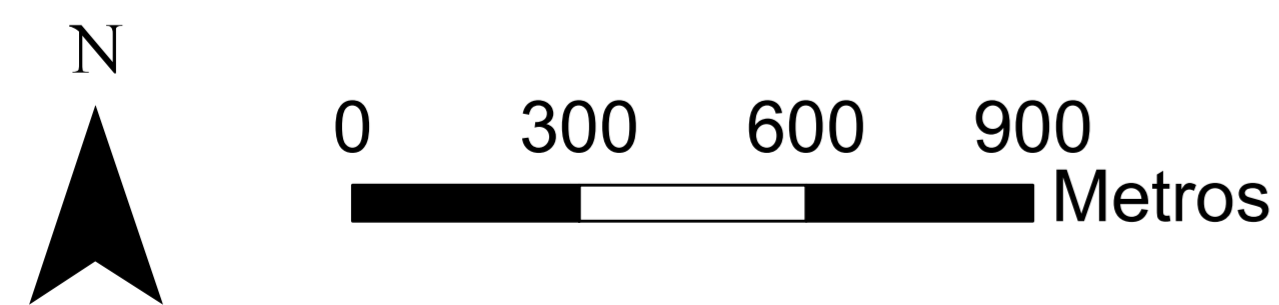
CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL

CURSO DO RIO BELÉM - CONFLUÊNCIA COM OS RIOS ÁGUA VERDE E IVO

Ano 1957

Ano 1980

Ano 2019



LEGENDA

CURSO FLUVIAL PRINCIPAL

FLUXO FLUVIAL

	CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL	APÊNDICE
	CURSO DO RIO BELÉM - CONFLUÊNCIA COM OS RIOS ÁGUA VERDE E IVO	II
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		GC-119
COORDENAÇÃO:	DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	DATA:
		NOVEMBRO / 2019
ELABORAÇÃO:	LUIZ HENRIQUE SOARES	ORIENTADOR:
		PROF. M.Sc. RENATO EUGENIO DE LIMA
ESCALA:	1:10.000	DATUM HORIZONTAL:
		UTM WGS 84 - 22 S
FONTES DAS IMAGENS:	1957 - IPPUC	1980 - ITCG
		2019 - GOOGLE EARTH

**APÊNDICE III: CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL – CURSO DO RIO
ATUBA – CONFLUÊNCIA COM O RIO BACACHERI**

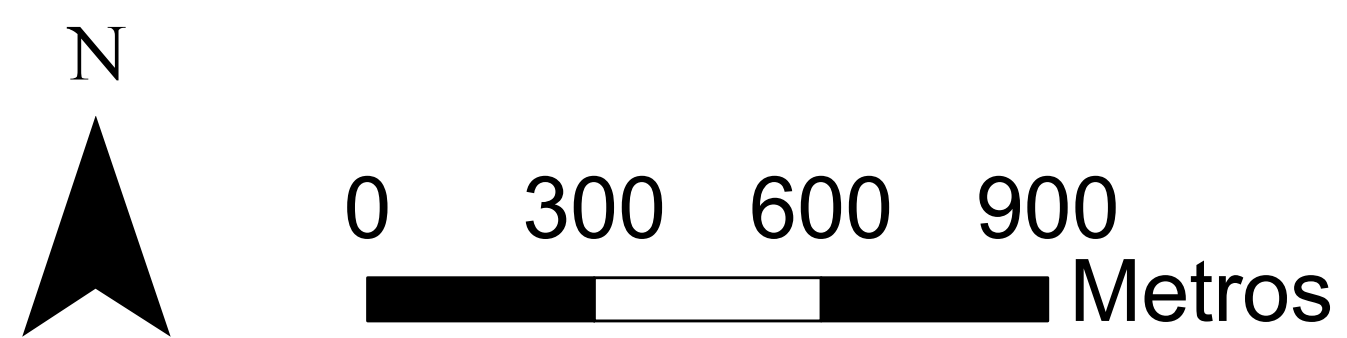
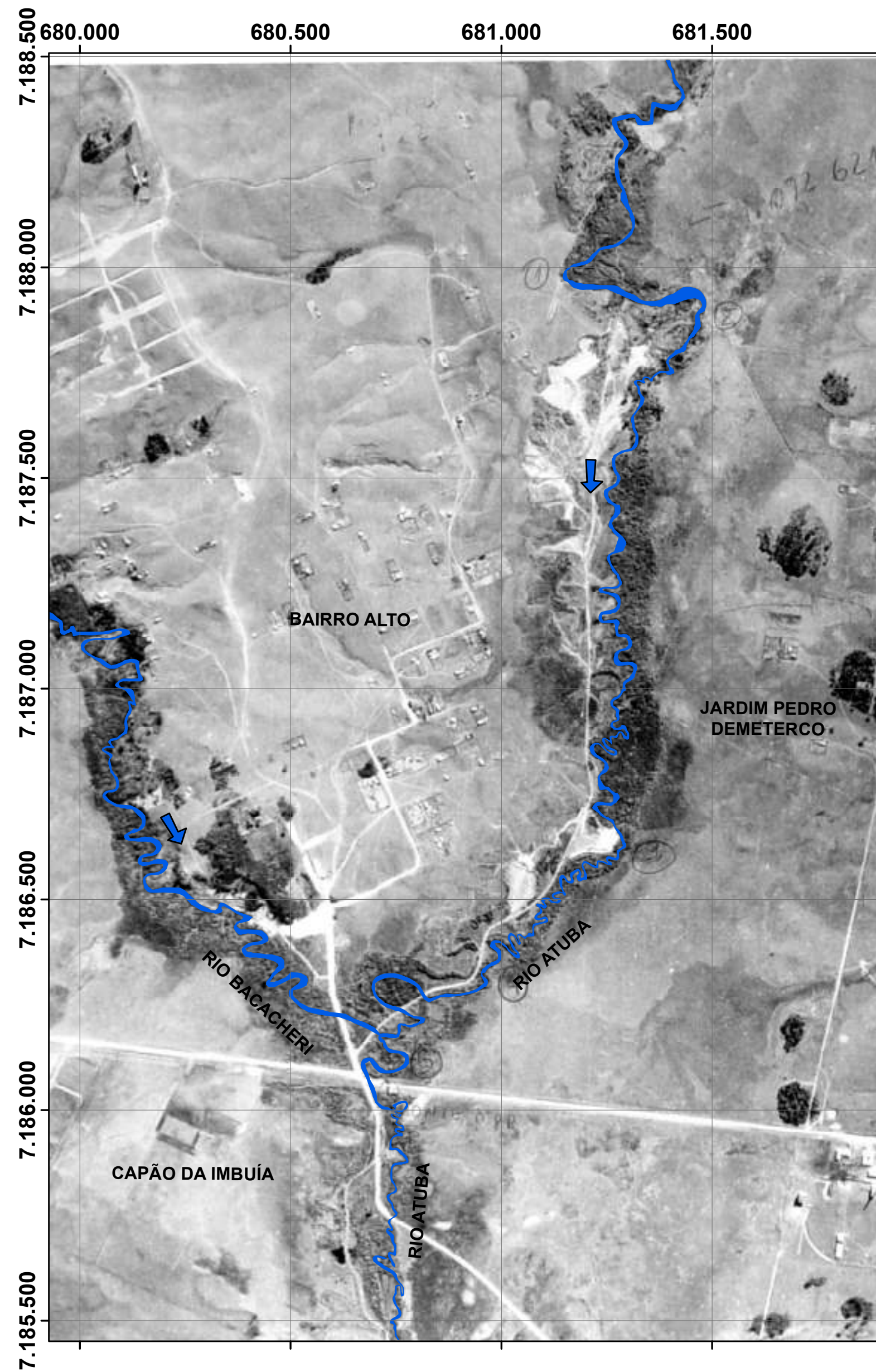
CURSO DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL

CURSO DO RIO ATUBA - CONFLUÊNCIA COM O RIO BACACHERI

Ano 1957

Ano 1980

Ano 2019



LEGENDA	
	CURSO FLUVIAL PRINCIPAL
	FLUXO FLUVIAL

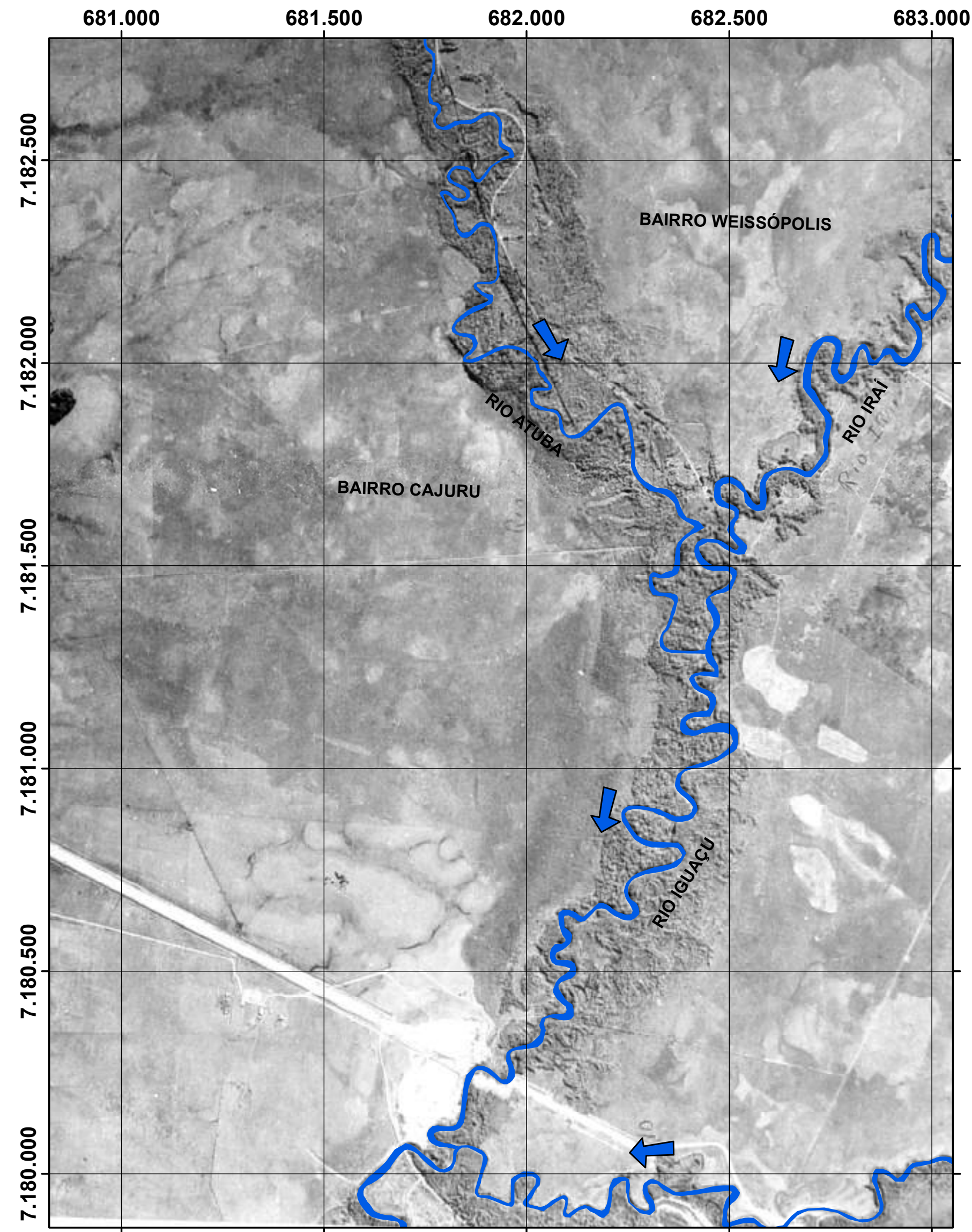
 UFPR	CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL CURSO DO RIO ATUBA - CONFLUÊNCIA COM O RIO BACACHERI	APÊNDICE III	
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		GC-119
COORDENAÇÃO:	DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	DATA:	NOVEMBRO / 2019
ELABORAÇÃO:	LUIZ HENRIQUE SOARES	ORIENTADOR:	PROF. M.Sc. RENATO EUGENIO DE LIMA
ESCALA:	1:10.000	DATUM HORIZONTAL:	UTM WGS 84 - 22 S
FONTES DAS IMAGENS:	1957 - IPPUC	1980 - ITCG	2019 - GOOGLE EARTH

**APÊNDICE IV: CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL – CURSO DO RIO
ATUBA – CONFLUÊNCIA COM OS RIOS IRAÍ E IGUAÇU**

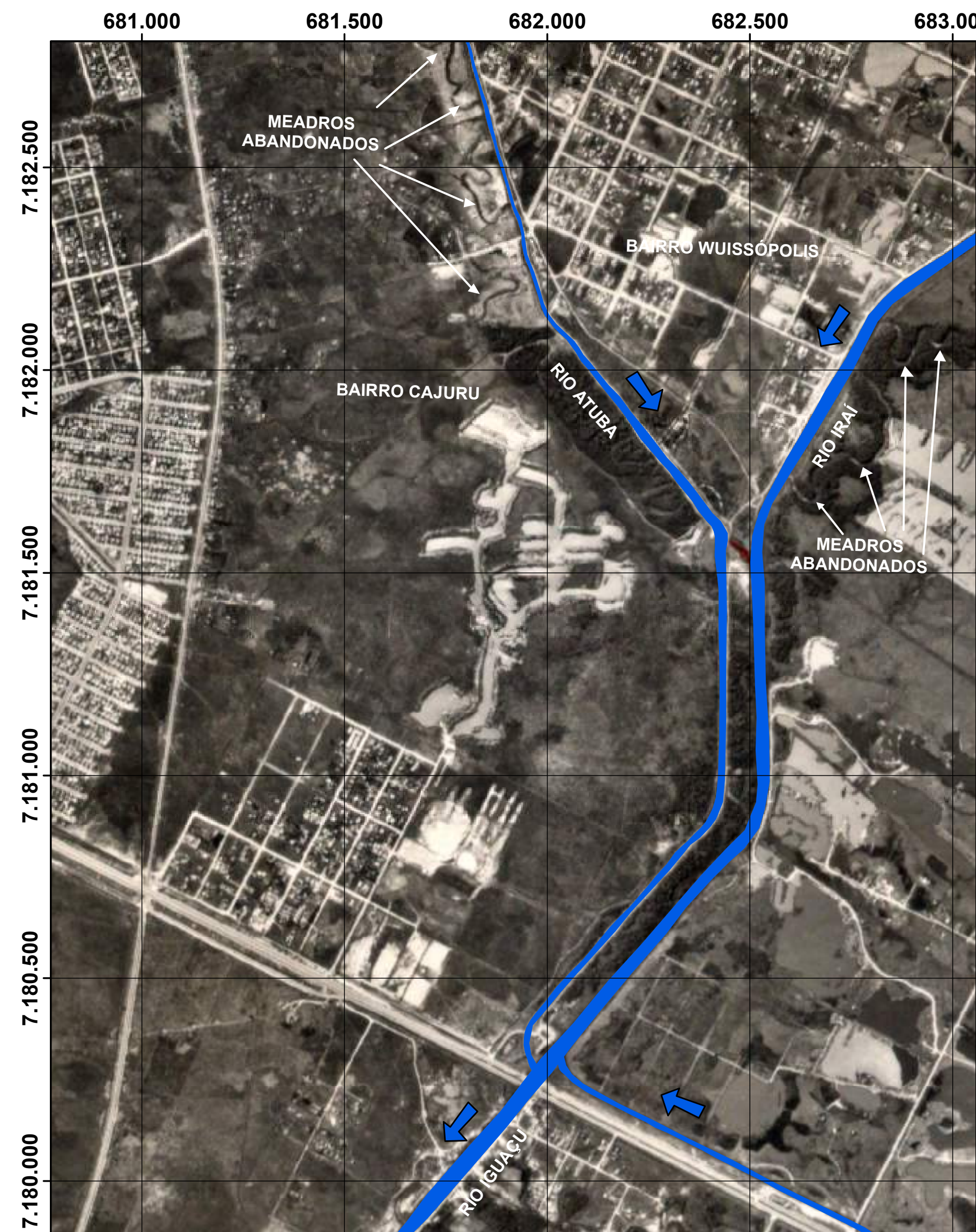
CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL

CURSO DO RIO ATUBA - CONFLUÊNCIA COM OS RIOS IRAÍ E IGUAÇU

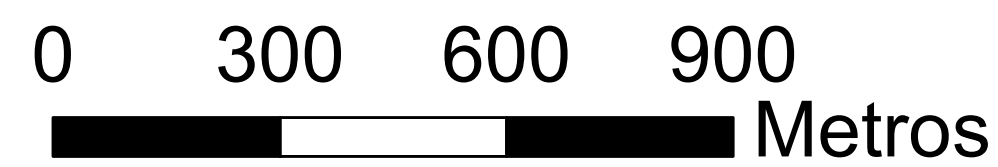
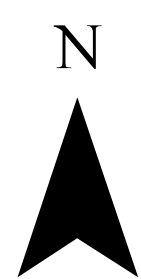
Ano 1957



Ano 1980



Ano 2019



LEGENDA

CURSO FLUVIAL PRINCIPAL

FLUXO FLUVIAL

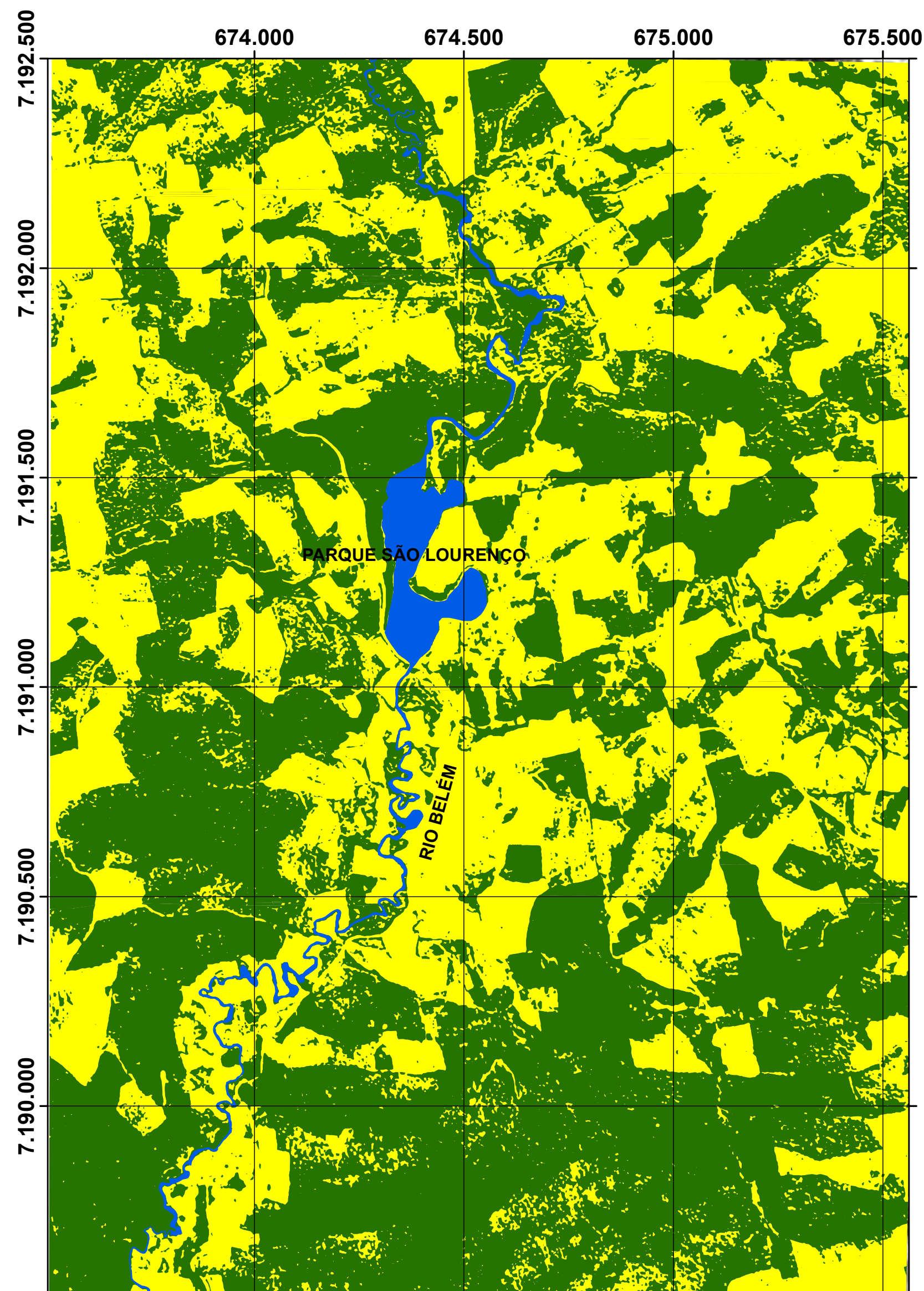
	CARTA DA EVOLUÇÃO DO CURSO FLUVIAL CURSO DO RIO ATUBA - CONFLUÊNCIA COM OS RIOS IRAÍ E IGUAÇU		APÊNDICE: IV
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		
COORDENAÇÃO:	DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	DATA:	NOVEMBRO / 2019
ELABORAÇÃO:	LUIZ HENRIQUE SOARES	ORIENTADOR:	PROF. M.Sc. RENATO EUGENIO DE LIMA
ESCALA:	1:10.000	DATUM HORIZONTAL:	UTM WGS 84 - 22 S
FONTES DAS IMAGENS:	1957 - IPPUC	1980 - ITCG	2019 - GOOGLE EARTH

**APÊNDICE V: CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO –
BACIA DO RIO BELÉM – ARREDORES DO PARQUE SÃO LOURENÇO**

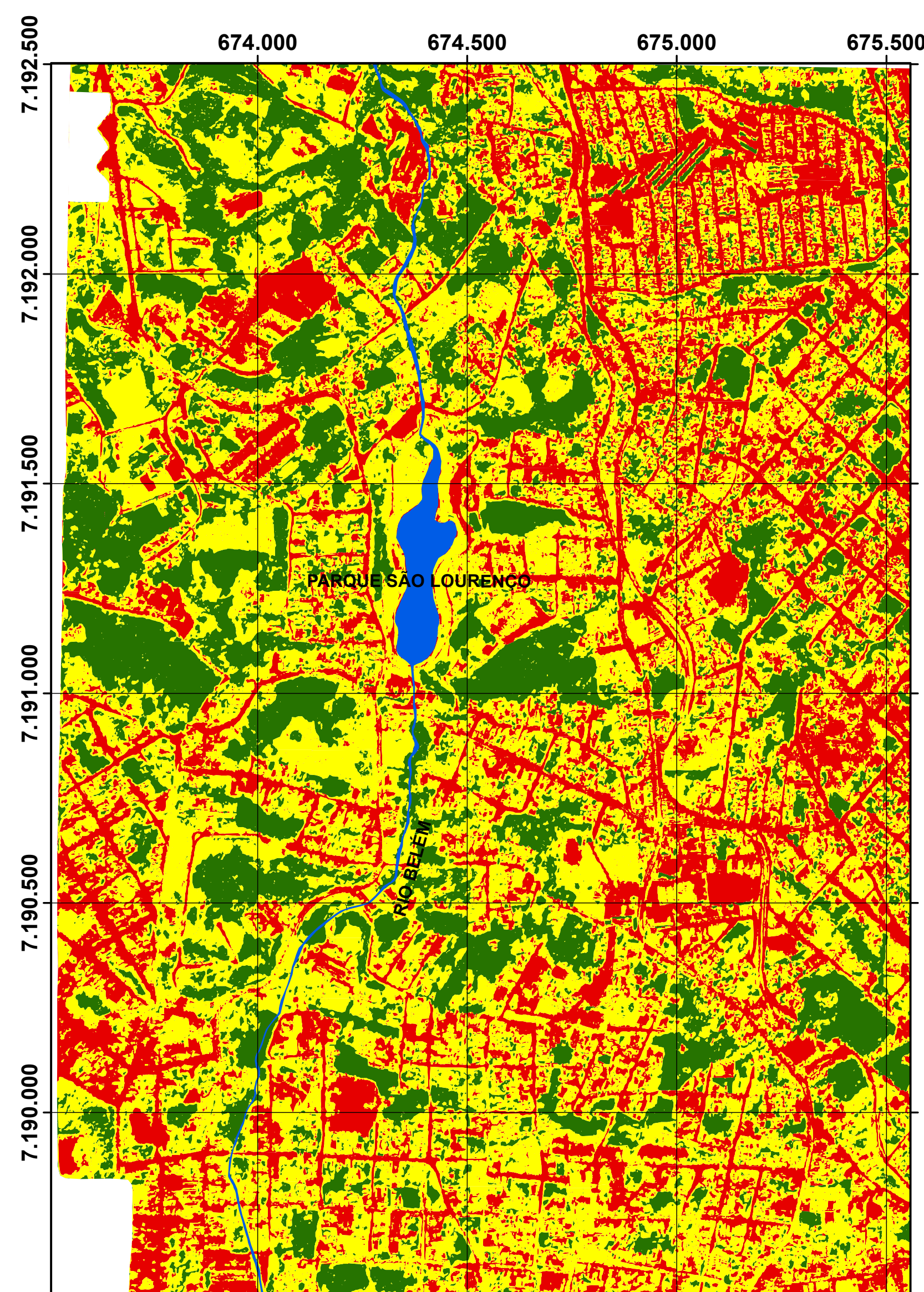
CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

BACIA DO RIO BELÉM - ARREDORES DO PARQUE SÃO LOURENÇO

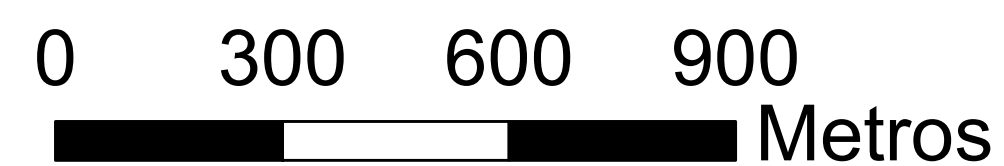
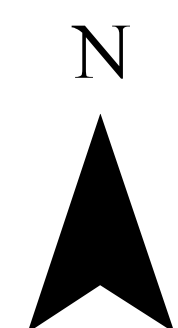
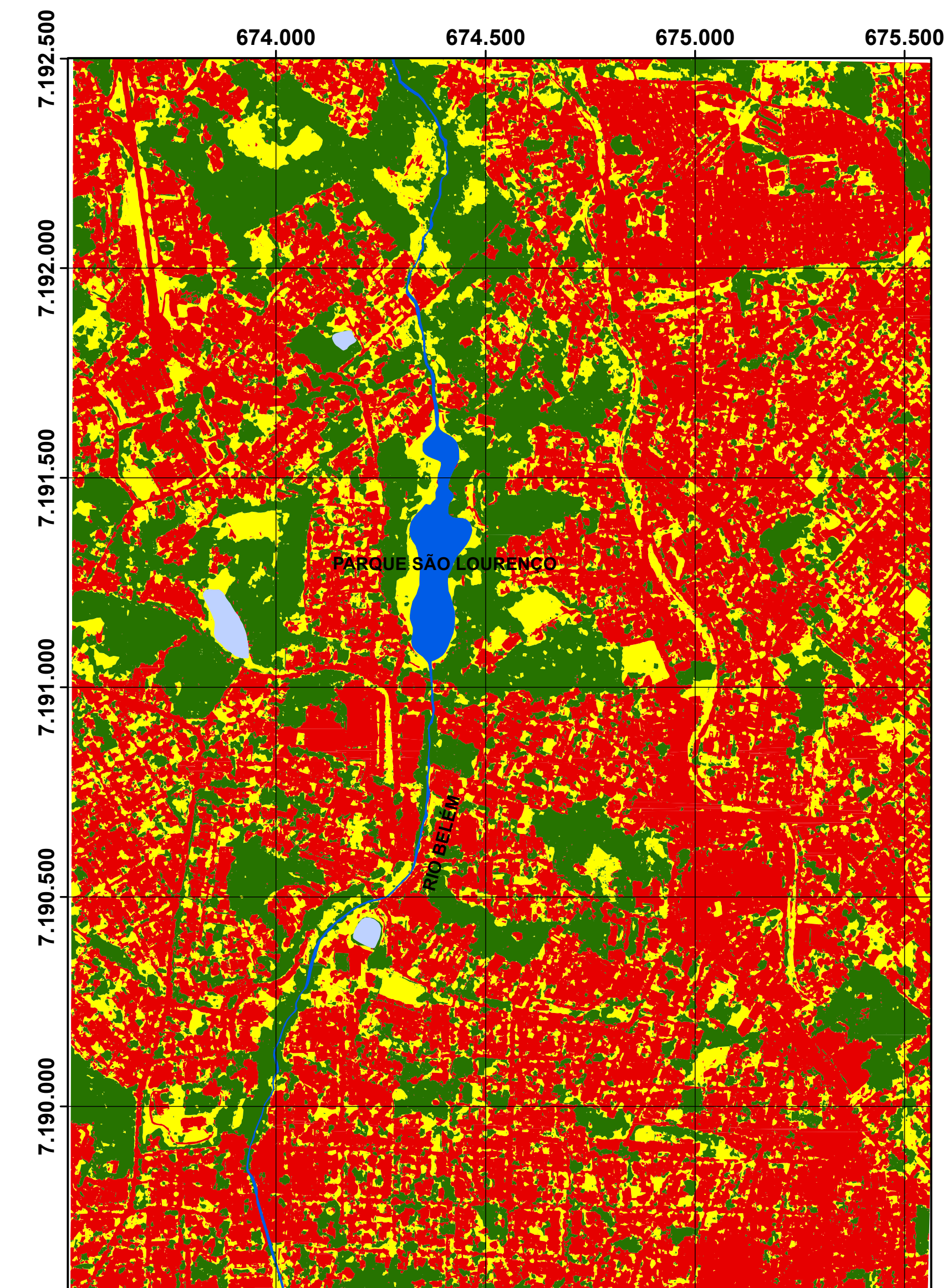
Ano 1957









Ano 1980




Ano 2019



Legenda

Uso e Ocupação do Solo	
	Fragmento Florestal
	Campo
	Área Urbana
	Fundo
	Curso Fluvial Principal
	Lago

	CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO BACIA DO RIO BELÉM - ARREDORES DO PARQUE SÃO LOURENÇO	APÊNDICE: V
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
COORDENAÇÃO: DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	DATA: NOVEMBRO / 2019	
ELABORAÇÃO: LUIZ HENRIQUE SOARES	ORIENTADOR: PROF. M.Sc. RENATO EUGENIO DE LIMA	
ESCALA: 1:10.000	DATUM HORIZONTAL: UTM WGS 84 - 22 S	
FONTES DAS IMAGENS: 1957 - IPPUC	1980 - ITCG	2019 - GOOGLE EARTH

**APÊNDICE VI: CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO –
BACIA DO RIO BELÉM – CONFLUÊNCIA COM OS RIOS ÁGUA VERDE E IVO**

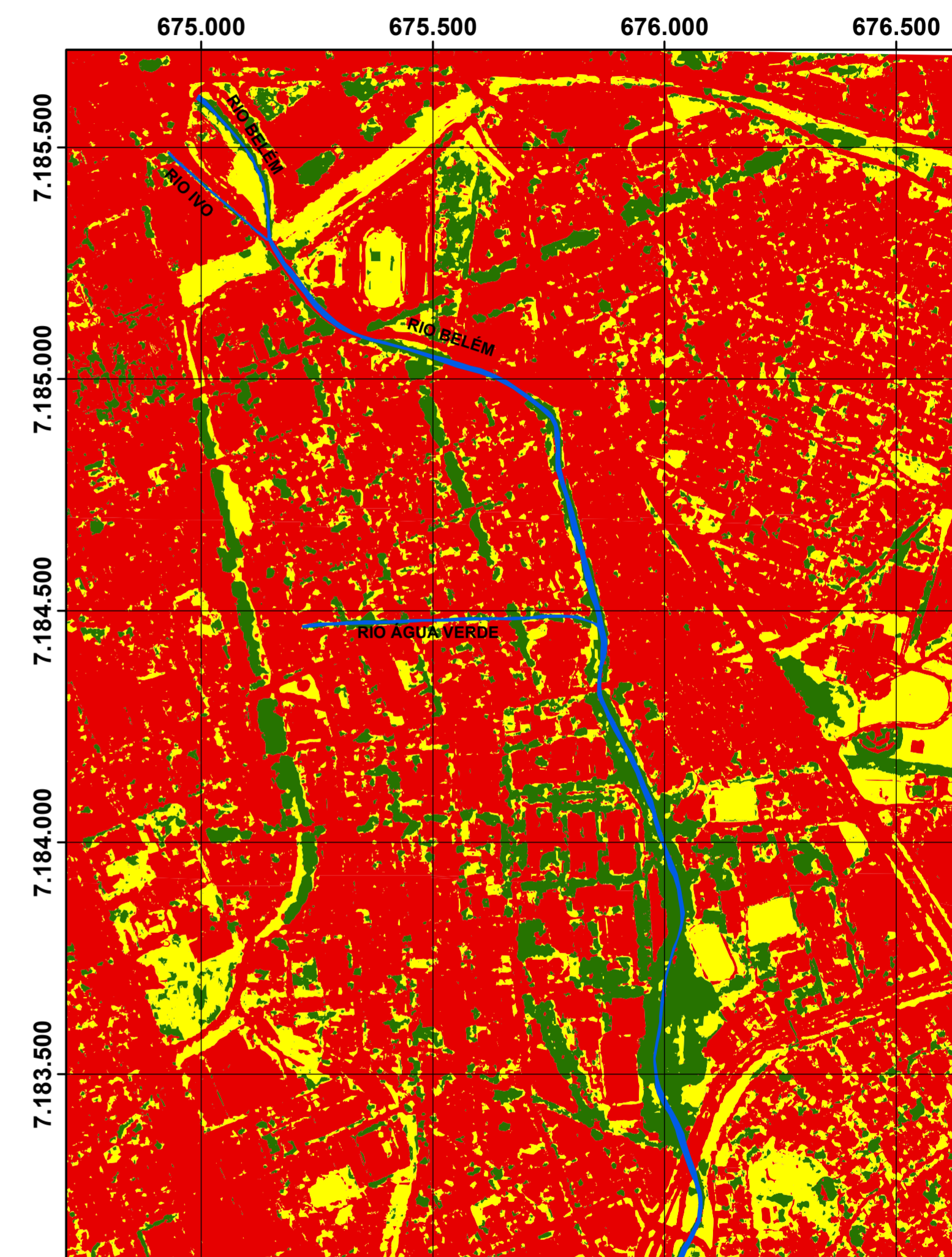
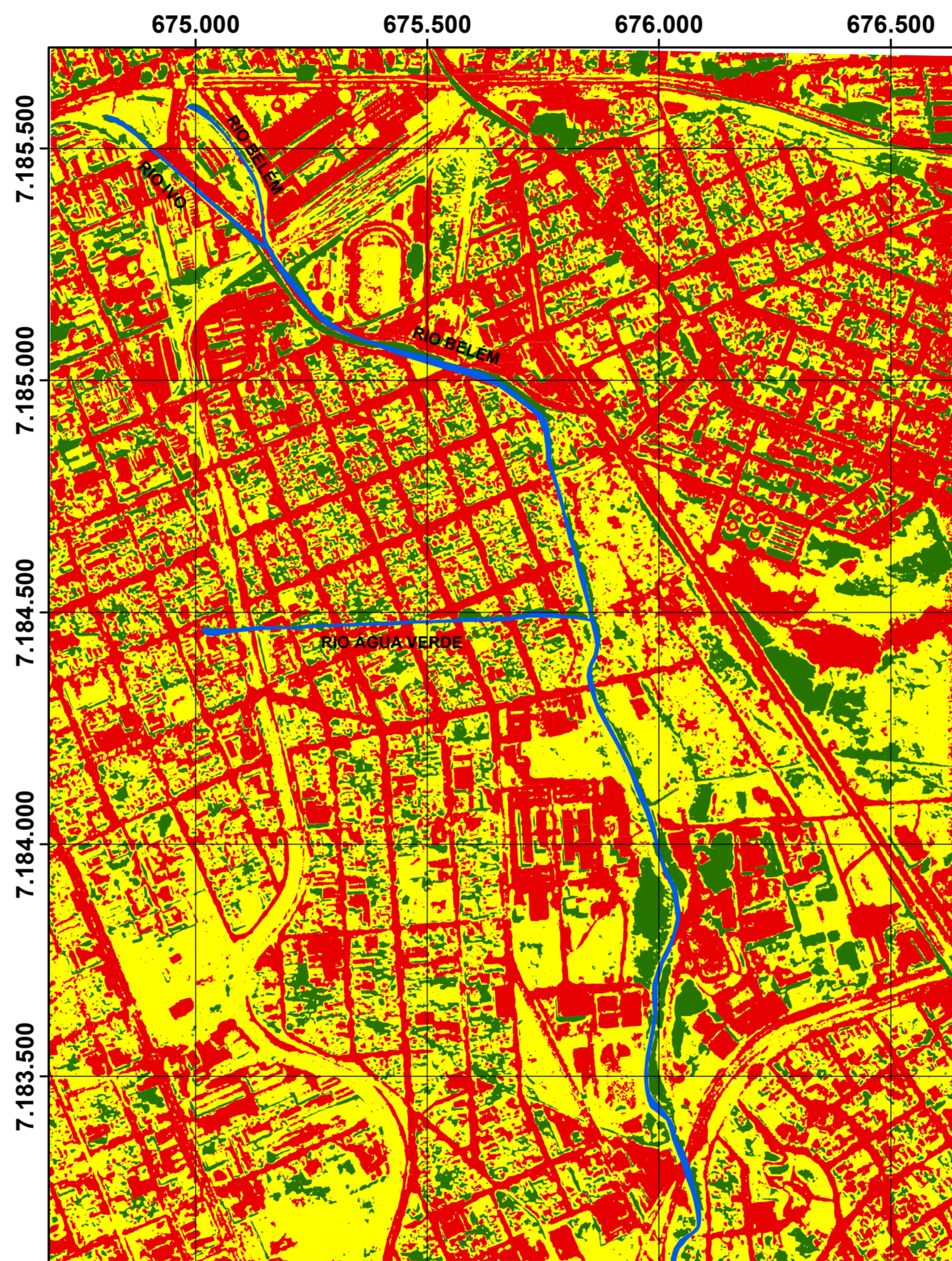
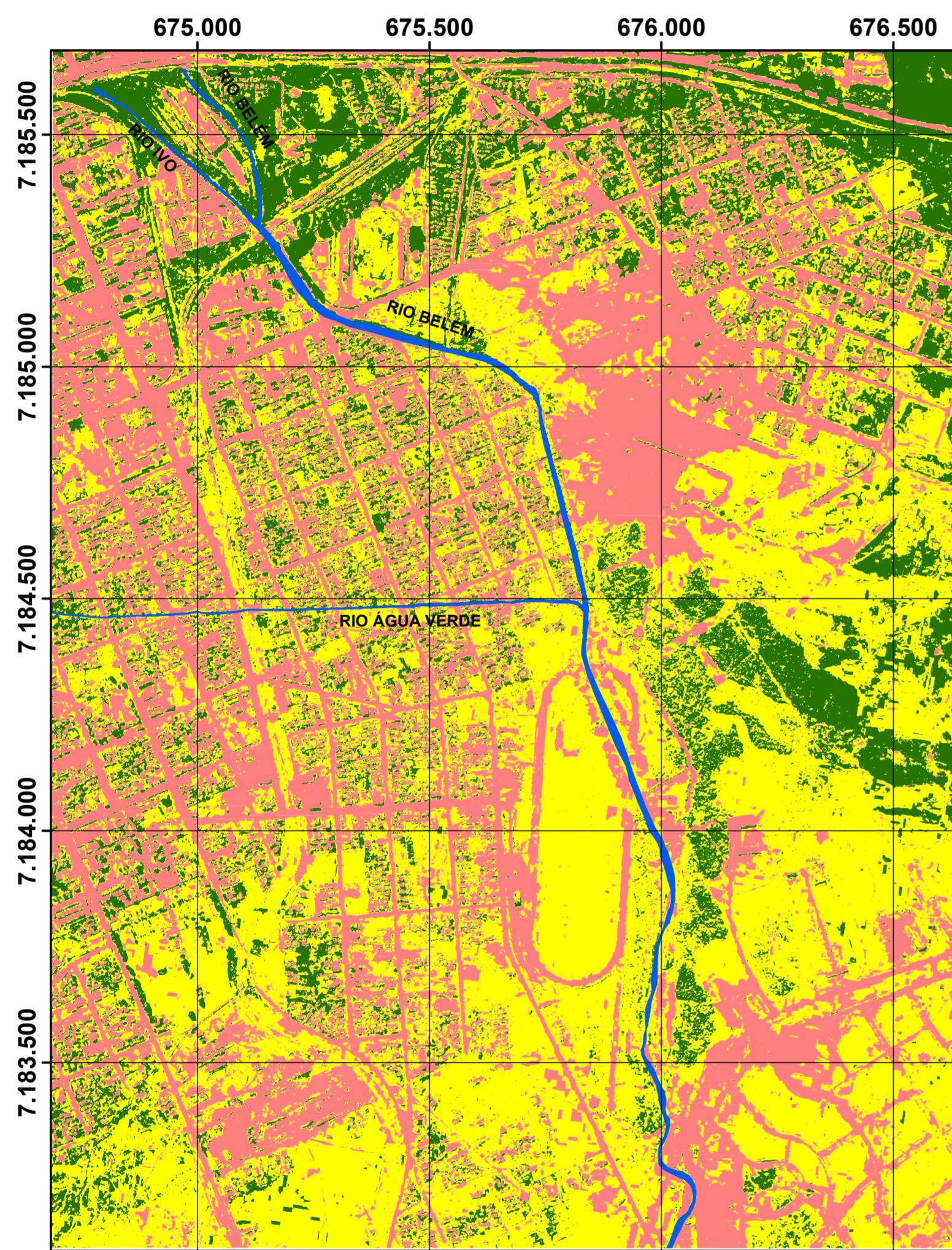
CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

BACIA DO RIO BELÉM - CONFLUÊNCIA COM OS RIOS ÁGUA VERDE E IVO

Ano 1957

Ano 1980

Ano 2019



0 310 620 930 Metros

Legenda

Uso e Ocupação do Solo




Curso Fluvial Principal

Área em Urbanização

Fragmento Florestal

Campo

Área Urbana

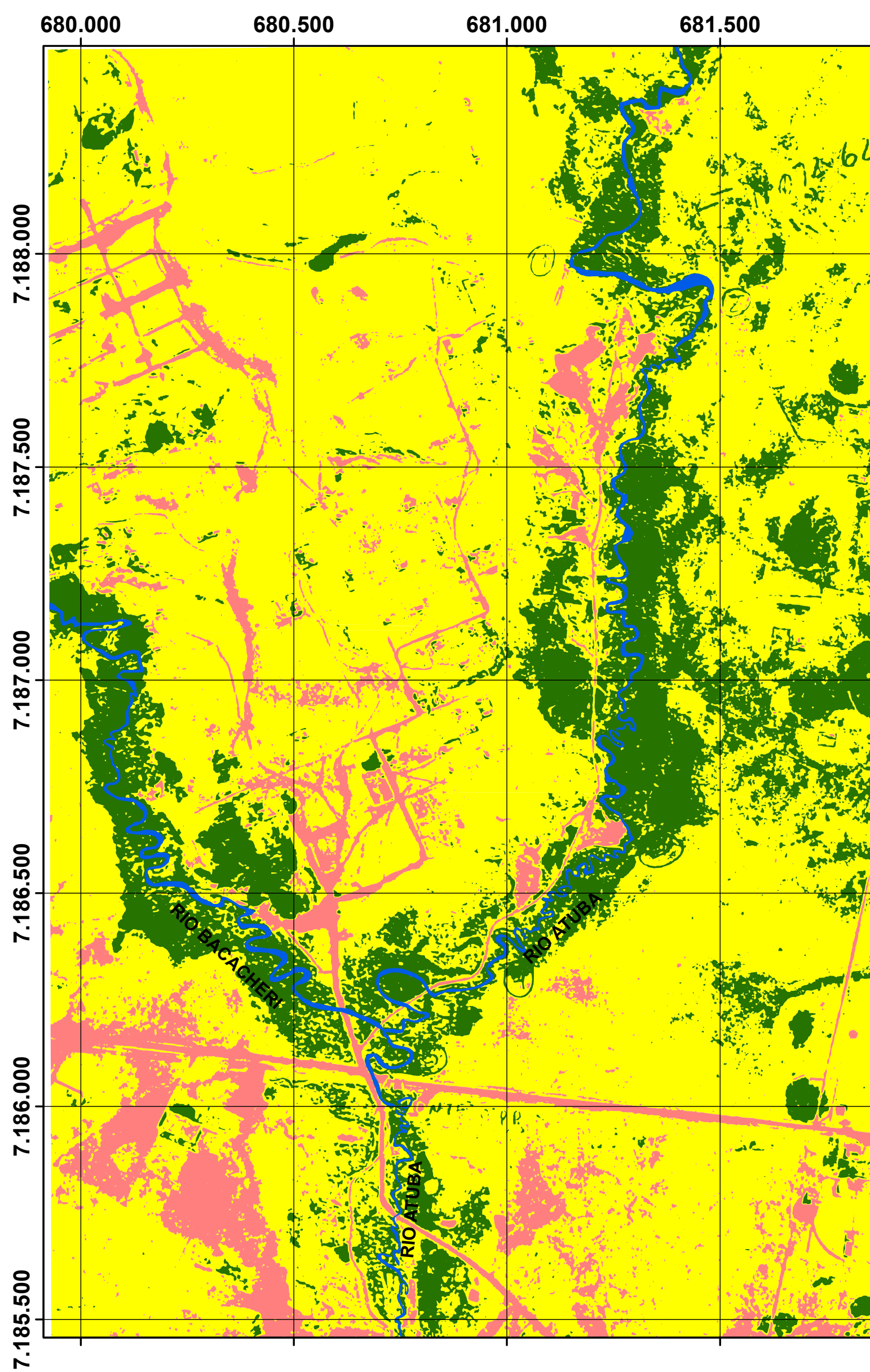
		CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO BACIA DO RIO BELÉM - CONFLUÊNCIA COM OS RIOS ÁGUA VERDE E IVO		APÊNDICE: VI
		TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		GC-119
COORDENAÇÃO:	DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	DATA:	NOVEMBRO / 2019	
ELABORAÇÃO:	LUIZ HENRIQUE SOARES	ORIENTADOR:	PROF. M.Sc. RENATO EUGENIO DE LIMA	
ESCALA:	1:10.000	DATUM HORIZONTAL:	UTM WGS 84 - 22 S	
FONTE DAS IMAGENS:	1957 - IPPUC	1980 - ITCG	2019 - GOOGLE EARTH	

**APÊNDICE VII: CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO –
BACIA DO RIO ATUBA – CONFLUÊNCIA COM O RIO BACACHERI**

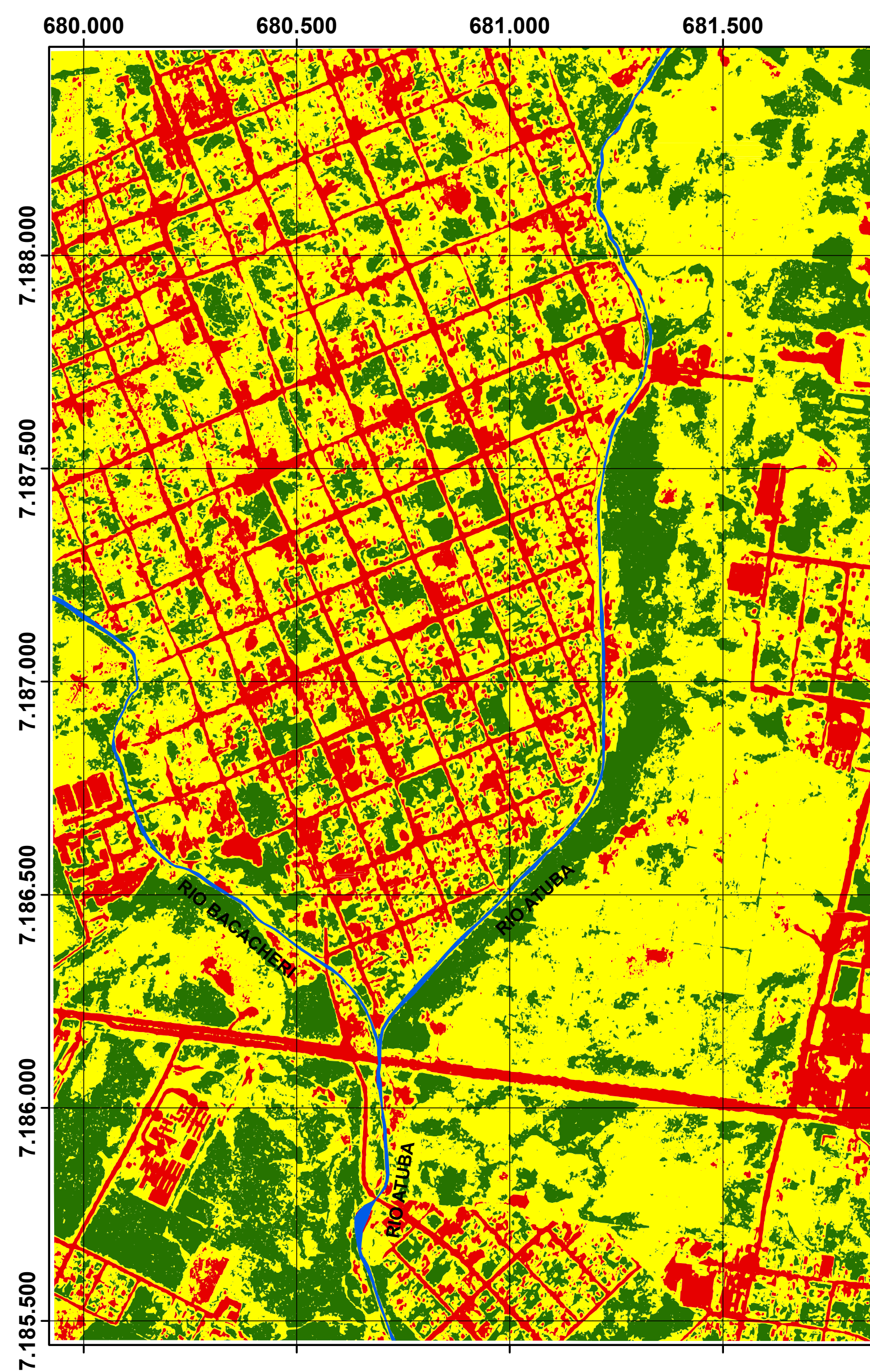
CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

BACIA DO RIO ATUBA - CONFLUÊNCIA COM O RIO BACACHERI

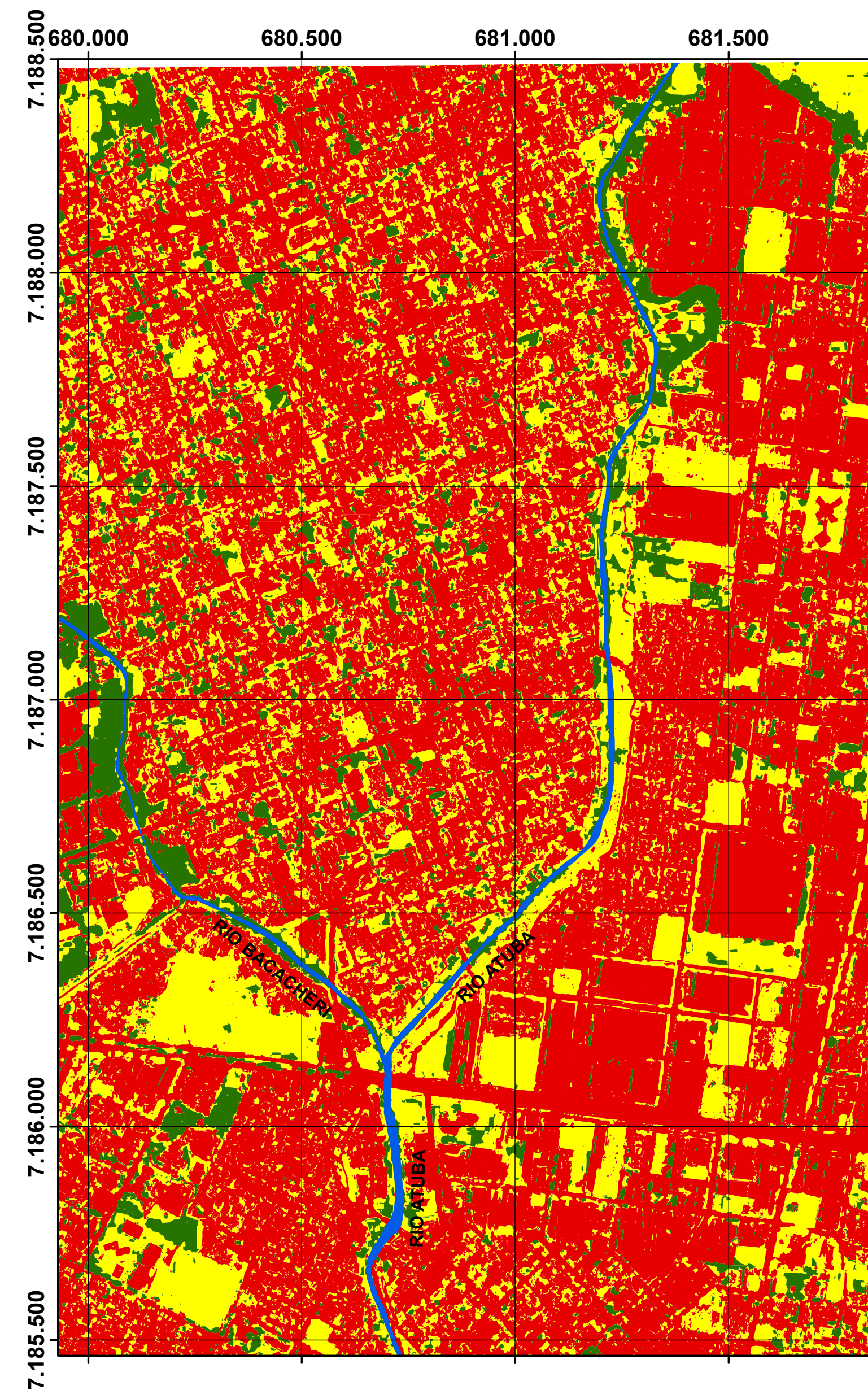
Ano 1957



Ano 1980

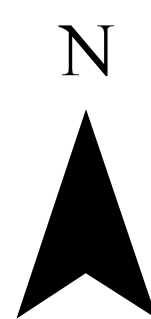


Ano 2019



Legenda

- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| | Uso e Ocupação do Solo |
| Curso Fluvial Principal | Área em Urbanização |
| | Fragmento Florestal |
| | Campo |
| | Área Urbana |



0 300 600 900
Metros

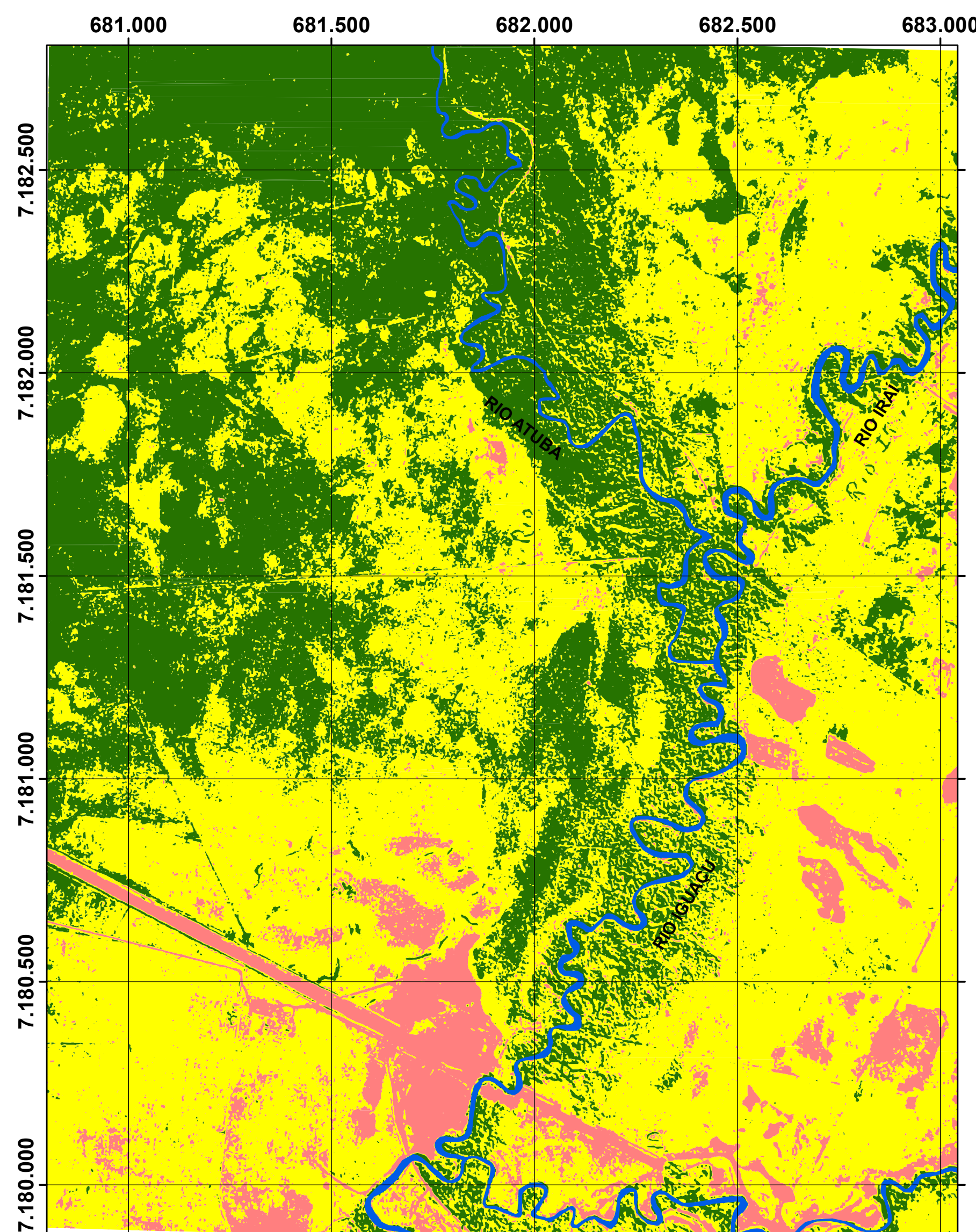
	CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO BACIA DO RIO ATUBA - CONFLUÊNCIA COM O RIO BACACHERI	APÊNDICE: VII
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
COORDENAÇÃO:	DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	DATA:
ELABORAÇÃO:	LUIZ HENRIQUE SOARES	NOVEMBRO / 2019
ESCALA:	1:10.000	ORIENTADOR:
FONTES DAS IMAGENS:	1957 - IPPUC 1980 - ITCG 2019 - GOOGLE EARTH	PROF. M.Sc. RENATO EUGENIO DE LIMA
		DATUM HORIZONTAL:
		UTM WGS 84 - 22 S
		GC-119

**APÊNDICE VIII: CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO –
BACIA DO RIO ATUBA – CONFLUÊNCIA COM OS RIOS IRAÍ E IGUAÇU**

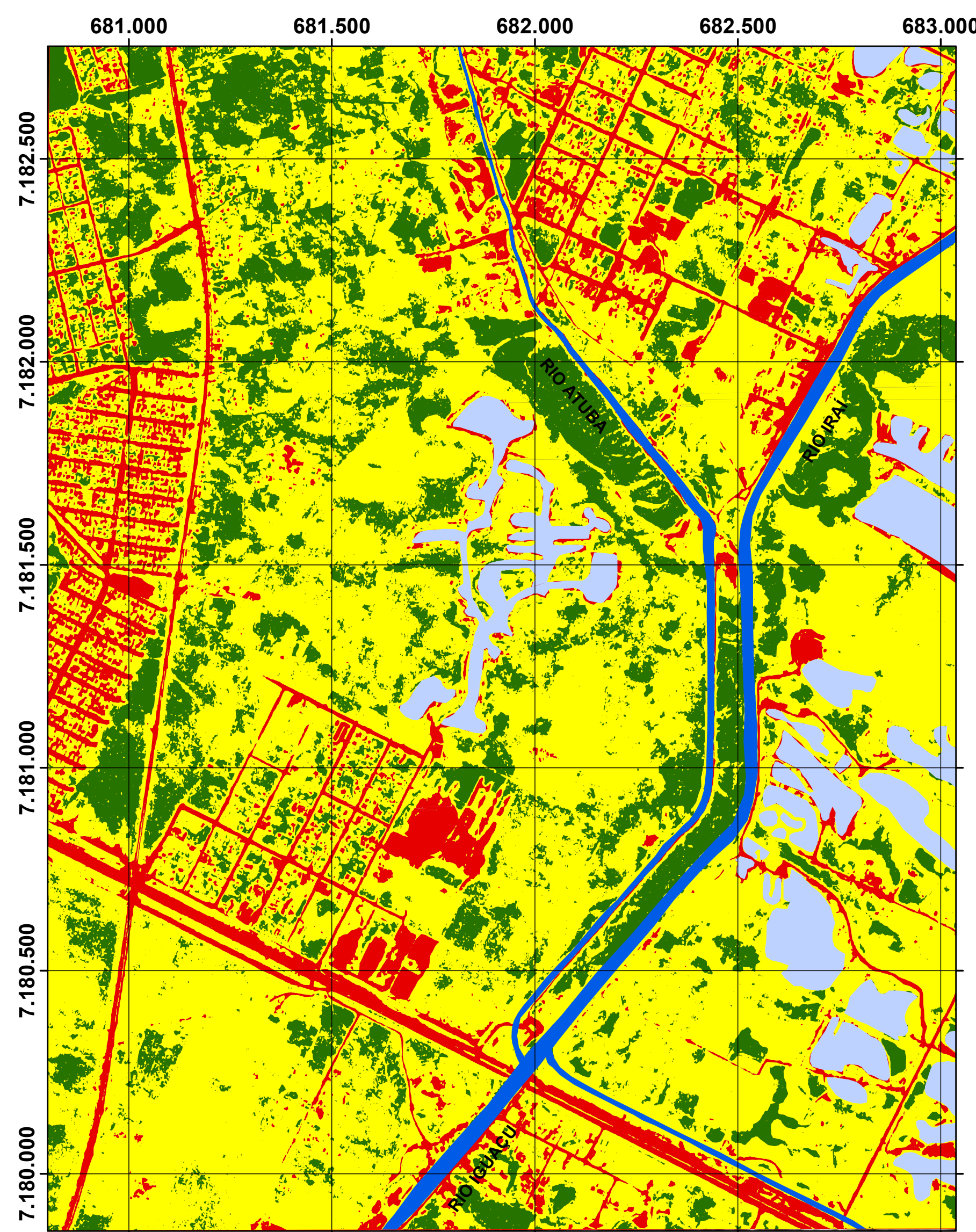
CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

BACIA DO RIO ATUBA - CONFLUÊNCIA COM OS RIOS IRAÍ E IGUAÇU

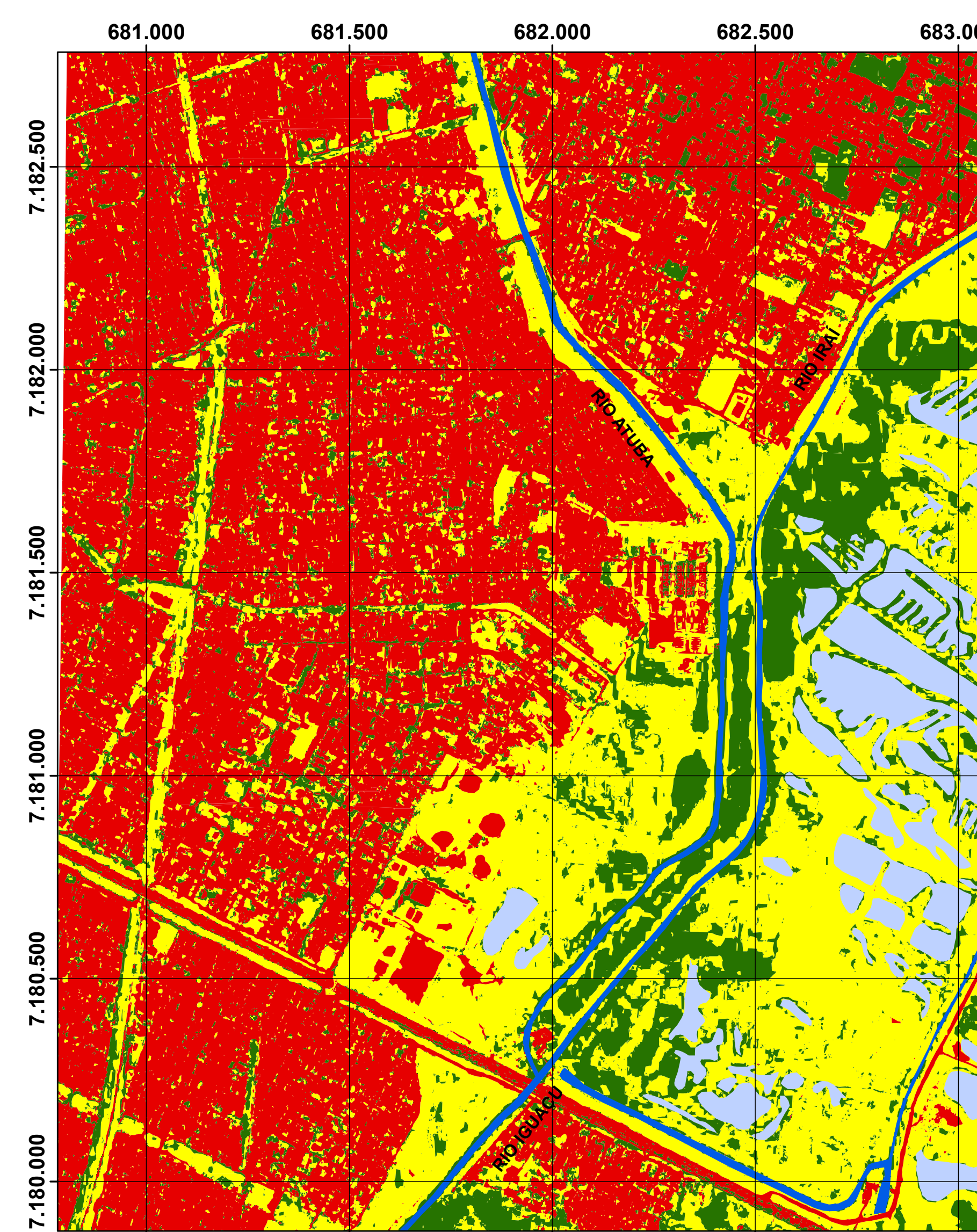
Ano 1957



Ano 1980



Ano 2019



0 300 600 900
Metros

Legenda

Uso e Ocupação do Solo

- Curso Fluvial Principal
- Área Alagada
- Área em Urbanização
- Fragmento Florestal
- Campo
- Área Urbana

	CARTA DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO BACIA DO RIO ATUBA - CONFLUÊNCIA COM OS RIOS IRAÍ E IGUAÇU	APEÇEDINICE: VIII
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
COORDENAÇÃO: DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	DATA: NOVEMBRO / 2019	
ELABORAÇÃO: LUIZ HENRIQUE SOARES	ORIENTADOR: PROF. M.Sc. RENATO EUGENIO DE LIMA	
ESCALA: 1:10.000	DATUM HORIZONTAL: UTM WGS 84 - 22 S	
FONTES DAS IMAGENS: 1957 - IPPUC	1980 - ITCG	2019 - GOOGLE EARTH