



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Classificação de rios modificados e controlados por obras hidráulicas na Bacia do rio Guandu (RJ)

Jenner Ornelas Teixeira¹, Mônica dos Santos Marçal², Adão Osdayan Cândido de Castro³

¹Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Email: jennerornelasteixeira@gmail.com (autor correspondente). ²Professora Titular do Departamento de Geografia da UFRJ. Email: monicamarcal@igeo.ufrj.br. ³Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG/UFRJ). E-mail: adaocastro.geo@gmail.com..

Artigo recebido em 25/03/2023 e aceito em 09/03/2024

RESUMO

O funcionamento de um rio compreende a ação de diversos processos biofísicos e socioculturais que atuam de forma conjunta e em múltiplas escalas. As metodologias de classificação dos rios são importantes ferramentas que auxiliam na compreensão dessa complexidade. Com a imposição de diversas obras hidráulicas nos cursos fluviais, os rios têm sua trajetória de evolução e capacidade natural de funcionamento comprometidas, como é o caso da Bacia do rio Guandu, principalmente em sua área de planície. Com base na metodologia de classificação de rios denominada de Estilos Fluviais, o objetivo do trabalho consiste na classificação e elaboração de tipologias fluviais para rios antropicamente modificados da Bacia do rio Guandu. Os Estilos Fluviais foram classificados a partir da identificação das obras hidráulicas, compartimentos geomorfológicos, forma em planta do canal, geometria do canal, composição do leito e unidades geomorfológicas. Identificou-se quatro Estilos Fluviais antropicamente controlados, os quais possuem obras hidráulicas responsáveis pelo controle primário dos canais, como barragens, reservatórios e retificações, impondo modificações na morfologia e no comportamento dos rios. Estes resultados favorecem o entendimento do funcionamento e das mudanças ocorridas na bacia e auxiliam na implementação de um sistema de gestão mais eficaz.

Palavras-chave: Geomorfologia Fluvial; Estilos Fluviais; Intervenções Antrópicas; Rio Guandu; Cartografia Histórica dos Rios.

Classification of modified and controlled rivers by hydraulic works in the Guandu river Basin (RJ)

ABSTRACT

The functioning of a river comprises the action of several biophysical and sociocultural processes that act together and on multiple scales. River classification methodologies are important tools that help understand this complexity. With the imposition of several hydraulic works on river courses, the rivers' evolution trajectory and natural functioning capacity are compromised, as is the case of the Guandu river Basin, mainly in its plain area. Based on the river classification methodology called Fluvial Styles, the objective of the work is to classify and develop river typologies for anthropically modified rivers in the Guandu river Basin. The River Styles were classified based on the identification of hydraulic works, geomorphological compartments, channel plan shape, channel geometry, bed composition and geomorphological units. Four anthropically controlled River Styles were identified, which have hydraulic works responsible for the primary control of the channels, such as dams, reservoirs and rectifications, imposing changes in the morphology and behavior of the rivers. These results favor the understanding of the functioning and changes occurring in the basin and help in the implementation of a more effective management system.

Keywords: Fluvial Geomorphology; River Styles; Anthropogenic Interventions; Guandu River; Historical Cartography of Rivers.

Introdução

A compreensão sobre a dinâmica de evolução dos processos associados aos rios e suas paisagens têm sido objeto de estudo multidisciplinares, com destaque aos estudos geomorfológicos, hidrológicos e ecológicos associados aos fatores socioeconômicos. Em geral, as análises visam se enquadrar em abordagens

teóricas e metodológicas que ajudem no conhecimento sobre a complexidade dos processos e dos condicionantes ambientais envolvidos na trajetória de evolução dos rios (Marçal, Castro & Lima, 2022).

Nesse contexto, a geomorfologia fluvial, como subárea da ciência geomorfológica, vem se

destacando no desenvolvimento de métodos e técnicas que ajudam a compreender, de forma integrada, a maneira pela qual ocorrem a dinâmica dos processos fluviais, com base na distribuição de água e sedimentos no sistema fluvial (Schumm, 2005; Magalhães Júnior & Barros, 2020). Ou seja, as análises em geomorfologia fluvial podem fornecer um modelo físico da paisagem fluvial apresentando informações espaço-temporal sobre a dinâmica dos processos fluviais históricos e atuais, no contexto da bacia hidrográfica (Brierley, Fryirs, Cullum, Tadaki, Huang & Blue, 2013).

No entanto, as análises espaço-temporal dos processos geobiofísicos e socioculturais, inerentes aos ambientes fluviais, ainda configuram-se bastante desafiadoras aos pesquisadores, no sentido de como representar e espacializar toda essa dinâmica complexa de evolução dos processos fluviais. Com isso, apesar de não ser um tema recente na literatura geomorfológica, as metodologias de classificação de rios configuram-se como importantes ferramentas de análises voltadas sobretudo para o processo de gestão e planejamento dos rios (Marçal et al., 2022). De uma forma geral, as classificações têm como objetivo identificar diferentes trechos com padrões e características semelhantes, para que estes possam ajudar em projetos sobre a gestão dos rios (Brierley & Fryirs, 2005; Santana & Marçal, 2020; Pelech, 2021).

Na literatura acadêmica, ainda no século XIX os rios já eram classificados. W.M.Davis, foi um dos pioneiros, em 1899, com sua proposta de diferenciar os rios em três fases de acordo com sua evolução em juvenil, madura e senil. Enquanto J.W.Powell, em 1875, já havia proposto uma classificação de rios baseada em suas relações genéticas com a estrutura geológica.

Mais de um século depois, inúmeros estudos e propostas de classificações de rios foram surgindo, mas sempre destacando-se como critérios parâmetros morfológicos e/ou da dinâmica dos processos fluviais, mas as influências antropogênicas sobre os rios, em muitos casos, eram pouco abordadas às análises dos processos fluviais. A exemplo disso, pode-se citar E.R.Zernitz, em 1932, que propôs diferentes padrões de drenagem - dendrítico, treliça, radial, retangular, paralelo e anelar; Leopold e Wolman (1957), os quais designaram os termos retilíneo, meândrico e entrelaçados para os cursos fluviais e Montgomery & Buffington (1997), responsáveis por classificar os canais em três tipos de substrato de calha: rochoso, aluvial e coluvial.

Diante do avanço sobre a degradação ambiental e da crise hídrica em muitos países, no final do século XX surgem novas propostas de classificações de rios voltadas para a gestão e planejamento hídrico (Rosgen, 1994; Brierley & Fryirs, 2005; Kondolf, Piégay, Schmitt & Montgomery, 2016; Rinaldi, Gurnell, Tánago, Bussetini & Hendricks, 2016). Dentre as propostas, destaca-se aqui a metodologia de classificação de rios denominada de Estilos Fluviais (*River Style*), elaborada por Brierley e Fryirs (2005). De acordo com os autores, cada segmento do rio apresenta um conjunto comum de características geomorfológicas e hidrodinâmicas, que servem de base para se caracterizar sistematicamente o caráter (estrutura geomorfológica do rio, incluindo forma em planta e geometria do canal) e comportamento (referente às características hidráulicas do canal, como o calibre dos materiais transportados e depositados, sua relação com a planície e a susceptibilidade às mudanças geomorfológicas) dos rios. Dessa forma, um só rio pode apresentar diferentes estilos fluviais, o que implica que cada trecho pode interagir de maneira particular com a paisagem em seu entorno. Ressalta-se que a utilização deste sistema de classificação se torna interessante pelo fato de permitir identificar, de forma hierárquica, as relações entre processos e formas ao longo dos rios, sob a perspectiva de que estes ocupam um lugar dentro do contexto da paisagem e da bacia, reconhecendo que um rio faz parte de um sistema físico com uma história evolutiva.

No entanto, as discussões atuais pautadas sobretudo em relação às mudanças climáticas e influências que as atividades humanas exercendo sobre as paisagens, vêm conduzindo os estudos ambientais a buscar respostas frente aos desafios desse novo período que está sendo denominado de Antropoceno (Crutzen, 2002; Artaxo, 2014; Whitehead, 2014).

Com isso, novos e importantes questionamentos são colocados às classificações dos rios no sentido de considerar as modificações e/ou ajustes impostos aos processos fluviais e/ou ecológicos, frente às construções de grande obras hidráulicas. A magnitude dos impactos sobre a dinâmica dos rios ainda é pouco abordada e considerada no campo da gestão hídrica brasileira. Nesse sentido, Pelech e Peixoto (2020) destacam que para compreender as dinâmicas fluviais contemporâneas impostas aos ambientes fluviais, novas abordagens de análise se fazem necessárias, as quais vão além do estudo de fatores naturais. Com isso, muitos autores apontam a importância de

estudos geomorfológicos voltados à identificação das interferências antrópicas nas diferentes formas de relevo, fazendo com que seja reconhecido o crescente papel desempenhado pelas atividades humanas (Goudie, 1981; Rodrigues, 2005; Szabó, 2010; Whitehead, 2014; Lave, Biermann & Lane, 2018).

A abordagem da Antropogeomorfologia nos estudos da paisagem reconhece a influência das atividades humanas na geração e modificação das suas formas e processos geomorfológicos (Rodrigues, 2005; Luz & Marçal, 2016; Szabó, 2010; Whitehead, 2014; Gouveia & Rodrigues, 2017; Lave et al., 2018; Marçal et al., 2022). Para além disso, deve-se incorporar nessas análises um olhar mais crítico em relação ao processo de gestão hídrica, uma vez que o reconhecimento das dinâmicas dos processos políticos e sociais relacionados à evolução dos rios é fundamental para o alcance de uma gestão hídrica sustentável (Lave et al., 2018; Marçal et al., 2022).

Atualmente, grande parte dos sistemas fluviais mundiais apresentam interferências por obras hidráulicas e mudanças do uso do solo bastante significativas, que precisam ser consideradas às análises geomorfológicas fluviais. No caso dos rios brasileiros, Marçal et al. (2022) afirmam que desde a colonização portuguesa, os rios são alvos de mudanças significativas na sua morfologia para atender à forte demanda das atividades produtivas, como abastecimento hídrico e energético até à produção de solos secos para a expansão da agropecuária e urbanização.

Conforme os autores, as principais alterações vão desde as modificações no uso e cobertura do solo até a construção de obras hidráulicas importantes sobre os rios, como construção de barragens, transposições, elevatórias, retificação e canalização de canais, construção de diques, dentre outros. A retificação dos canais, por exemplo, elimina e modifica os canais suprimindo meandros que são formados nas áreas de planície de inundação; já o alargamento de canais devido a construção de barragens, transposição e de elevatórias impõem mudanças significativas na dinâmica do fluxo. As alterações que essas obras exercem sobre os rios provocam impactos diretos na dinâmica dos processos fluviais, com reflexos importantes sobre a dinâmica hidrossedimentar e ecológica, com implicações na sua trajetória de evolução (Brierley & Fryirs, 2005). Associado a isso, Large, Gilvear e Starkey (2018) acrescentam que tais impactos provocam, frequentemente, a redução da biodiversidade aquática oferecida pelos ambientes

fluviais, gerando perdas significativas tanto para a qualidade de vida humana quanto para o ecossistema.

As bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro, sobretudo as voltadas para a vertente atlântica da Serra do Mar, apresentam alterações significativas tanto na morfologia dos canais fluviais como em suas amplas planícies de inundação, como mostrado nos trabalhos de Marçal, Brierley e Lima (2017), Santana e Marçal (2020) e Santos e Marçal (2021). As obras de retificação e canalização de canais fluviais foram as mais significativas e realizadas entre as décadas de 1930 e 1980 pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), cuja finalidade principal foi produção de terras para atividades de agropecuária e urbanização, além da eliminação de doenças (Assumpção & Marçal, 2012). Mas há, ainda, a realização de outras obras de médio e grande porte como construção de barragens, transposição de águas e construção de elevatórias, além da construção de canais artificiais que impactam a dinâmica dos rios alterando as morfologias fluviais e, por consequência, os ecossistemas aquáticos (Jordão, 2017; Ribeiro, Formiga-Johnsson & Martins, 2018; Pelech & Peixoto, 2022; Ramos, Marçal & Cabral, 2023; Oliveira & Marçal, 2024).

Com base nesse cenário de alterações antropogênicas nos sistemas fluviais dos rios fluminenses, o trabalho visa apresentar uma proposta de classificação e tipologias para os rios antropicamente modificados e controlados por obras hidráulicas na Bacia do rio Guandu e seus principais afluentes, localizado no sul do estado do Rio de Janeiro. A proposta de classificação dos rios se insere nas áreas de domínio colinoso e planície fluvial por corresponderem às áreas que apresentam as principais alterações e modificações no sistema fluvial da Bacia do rio Guandu, permitindo desenvolver discussão acerca desses novos controladores antrópicos sobre a dinâmica dos rios e como classificá-los.

Com isso, a principal hipótese apresentada no trabalho está em considerar que atualmente as obras hidráulicas que pertencem ao sistema fluvial rio Guandu, comportam-se como controles primários antrópicos sobre a dinâmica dos processos fluviais. Nesse sentido, estariam exercendo o controle primário dentro do contexto de confinamento do vale natural (semiconfinado e/ou não confinado), que anteriormente exercia essa função na dinâmica dos processos. Ou seja, isso permite considerar questões importantes em relação à classificação dos rios na bacia, sobretudo

na maneira de analisá-los e representá-los, conforme a orientação preconizada pela metodologia dos Estilos Fluviais, proposto por Brierley e Fryris (2005).

Atualmente a bacia do rio Guandu faz parte do Sistema Guandu, responsável por abastecer cerca de 9 milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. As primeiras obras hidráulicas no sistema fluvial do rio Guandu foram iniciadas ainda no século XVIII com a ocupação dos jesuítas em seu baixo curso, nas áreas das amplas planícies de inundação. Contudo, a partir do início do século XX estas intervenções humanas no curso dos rios tomam uma nova proporção, na medida em que grandes obras hidráulicas foram promovidas pelas empresas Light Serviços de Eletricidade S/A (LIGHT S/A), Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE/RJ) e pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento, extinto em 1990 (DNOS).

Essas intervenções vêm estabelecendo novas dinâmicas e elementos antropogênicos que devem ser considerados à sua classificação, pois modificam a magnitude e frequência sobre a dinâmica dos processos fluviais. Nesse sentido, busca-se incorporar uma tipologia dos segmentos dos rios antropicamente controlados e modificados no sentido de contribuir aos estudos com a abordagem da Antropogeomorfologia.

Apesar da importância da Bacia do rio Guandu para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, as áreas urbanas e rurais dos municípios que compõem a bacia convivem até os dias atuais com diversos problemas socioambientais devido a falta de uma gestão hídrica mais sustentável. Ainda são comuns problemas como a falta e a poluição das águas por contaminantes oriundos de empresas que se instalaram no entorno dos rios da bacia com o intuito de se beneficiarem das águas em suas atividades. Um exemplo claro disso foi o interrompimento no abastecimento de água para parte da população fluminense em 2023, que ocorreu após a empresa Burn Indústria e Comércio Ltda ter despejado um alto volume de detergente nas águas do rio Guandu (ver em VejaRio, agosto de 2023).

O maior paradoxo está no fato do sistema fluvial do rio Guandu ser estratégico para o desenvolvimento das atividades econômicas da região, englobando, inclusive, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, mas há uma escassez de estudos integrados à geomorfologia fluvial e, por sua vez, aos dos sistemas aquáticos. Há muitos estudos relacionados à bacia do rio

Guandu, mas, em grande parte, relacionados à dinâmica hidrológica e à segurança hídrica.

Nesse sentido, a contribuição do trabalho vai no sentido de incorporar à classificação dos rios elementos antropogênicos (obras hidráulicas) que exercem forte controle atual na dinâmica dos processos fluviais e ecológicos da bacia do rio Guandu e, com isso, auxiliar os tomadores de decisão a identificarem e reconhecerem as áreas prioritárias ao manejo e/ou monitoramento ambiental considerando as singularidades impostas ao sistema fluvial.

Ainda que no campo teórico possua poucas referências no contexto nacional que abordem essa temática de rios modificados e controlados aos sistemas de classificação de rios, trabalhos como de Silva (2020), Pelech e Peixoto (2022) e Ramos et al. (2023) apresentam importantes contribuições às discussões acerca do papel exercido pelas intervenções humanas no controle dos rios brasileiros.

Material e métodos

Área de estudo

A Bacia do rio Guandu abrange totalmente os municípios de Japeri, Seropédica, Queimados, Itaguaí e Paracambi, e parcialmente os municípios de Miguel Pereira, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, Engenheiro Paulo de Frontim, Vassouras, Piraí e Rio Claro. Para fins de gestão, localiza-se na Região Hidrográfica II do estado do Rio de Janeiro (INEA, 2013). A bacia possui área aproximada de 1.500 km² e as suas principais rodovias de acesso são as BRs 101, 105, 116 e 465.

O rio Guandu nasce na Serra do Piloto, localizada no contexto da Serra do Mar, a cerca de 1.200 m de altitude, e deságua na Baía de Sepetiba, ao nível do mar, com uma extensão de 115 km. Atualmente, os principais tributários do rio Guandu são os rios Santana, Cacaria, São Pedro, dos Poços e dos Macacos, todos afluentes da margem esquerda, com exceção do rio Cacaria.

Além disso, devido às intervenções por obras hidráulicas no sistema fluvial, a Bacia do rio Guandu também se encontra interconectada às bacias dos rios Piraí e Paraíba do Sul, constituindo o chamado Sistema Guandu de Abastecimento de Água (Figura 1), caracterizado por um alto nível de complexidade. No entanto, o Plano de Bacia não considera a Bacia do rio Paraíba do Sul como integrante do Sistema de Abastecimento, apesar de estar interligada, mesmo que de forma artificial. Destaca-se, ainda, que as bacias dos rios da Guarda e Guandu-Mirim correspondem à planície fluvial

do rio Guandu, mas que estão atualmente desconectadas do canal principal (do Guandu) e conectadas à baía de Sepetiba através da

construção de inúmeros canais artificiais para atender múltiplas finalidades.

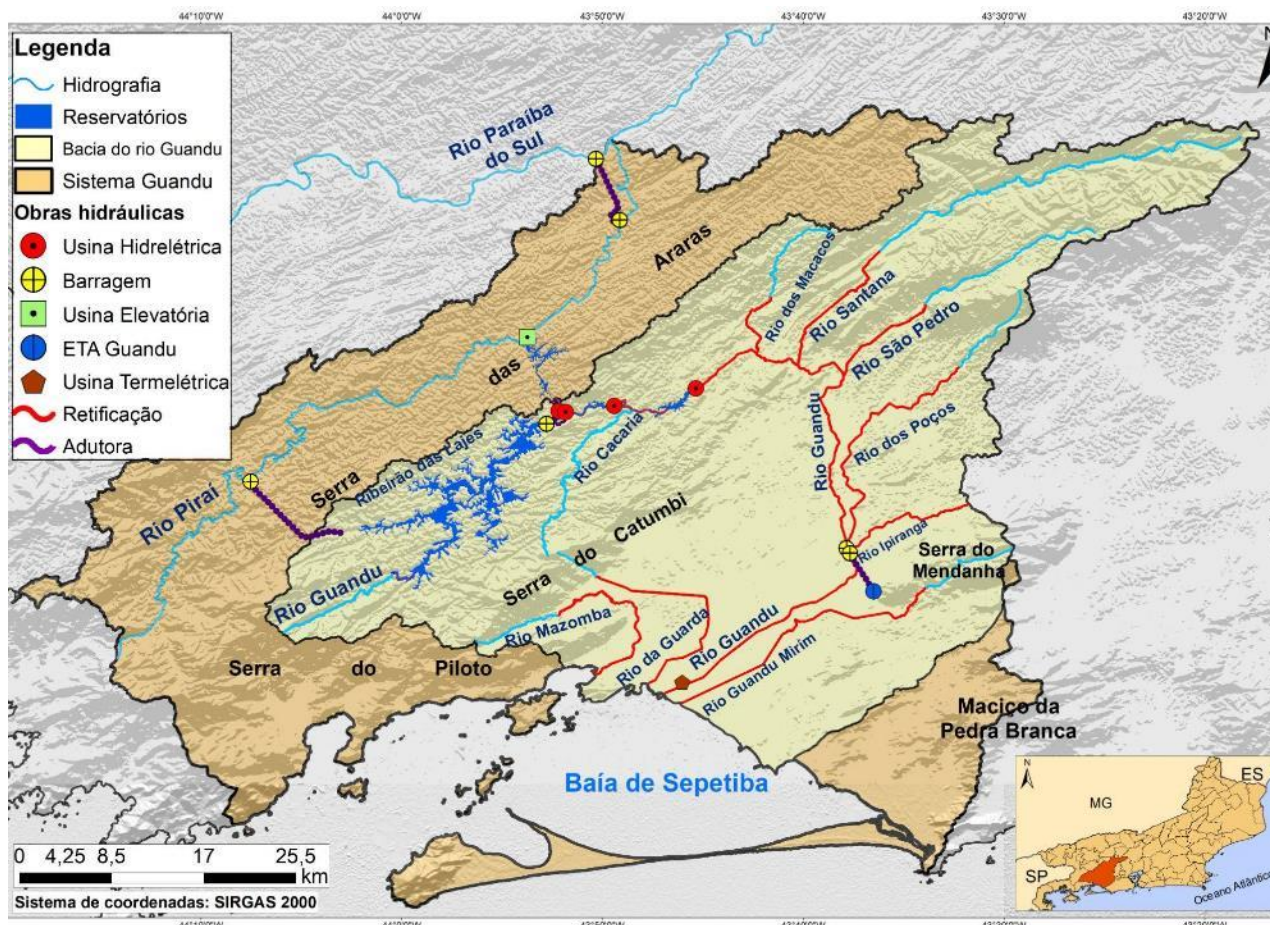


Figura 1. Bacia do rio Guandu no contexto do Sistema de Abastecimento Hídrico do Guandu. A área de estudo está inserida no domínio de relevo colinoso e planície fluvial, onde ocorre o predomínio das obras hidráulicas.

Procedimentos metodológicos

O trabalho envolveu duas etapas: I) identificação das alterações na rede de drenagem da bacia pelas obras hidráulicas e II) classificação dos Estilos Fluviais antropicamente modificados.

A etapa I envolveu o levantamento das obras hidráulicas e a análise da morfologia dos canais antes de sua alteração pelas intervenções humanas. O levantamento histórico das obras foi obtido por meio dos acervos digitais da Biblioteca Nacional e das empresas LIGHT e CEDAE, dos trabalhos de Goes (1942), Jordão (2017), da observação de imagens de satélite da plataforma *Google Earth* e da realização de trabalhos de campo na área. O mapeamento da morfologia original dos canais foi obtido através da identificação de paleocanais nas áreas de planície do rio Guandu e de seus afluentes e da análise da cartografia histórica do local. As feições

geomorfológicas de paleocanais e meandros abandonados foram mapeados através de imagens de satélite da plataforma *Google Earth*, na qual foram vetorizados e transformados em arquivos *shapefile* (.shp) no *ArcGIS*. Com o mapeamento dessas feições também foi realizada a medição do comprimento do canal, cálculo do índice de sinuosidade e da largura, comparando-se com as medições dos canais atuais, realizadas com os trechos entre as marcações brancas nas figuras. Os valores de largura e comprimento dos trechos estudados foram obtidos através da visualização das propriedades dos caminhos traçados. Já os valores de sinuosidade foram calculados a partir da equação proposta por Schumm (1963): $Is = L / Dv$ (Sendo: Is = índice de sinuosidade; L = comprimento do canal - comprimento verdadeiro; Dv = distância vetorial do canal - comprimento em

linha reta), adaptando-se para cada trecho estudado ao invés de todo o comprimento dos rios.

Para a análise da cartografia histórica, foram utilizados os mapas referentes ao ano de 1777, selecionado por ser o mais antigo, portanto, com menor grau de intervenção humana, e do ano de 1848, por englobar maior detalhamento da rede hidrográfica. Devido às imprecisões e a falta de informação geradas pelo período em que foram produzidos esses mapas, não foi possível georreferenciá-los, sendo apenas destacadas a rede de drenagem. Por este motivo, os fragmentos de cada trecho utilizados nas imagens não possuem escala associada.

Em relação à segunda etapa, a classificação dos rios antropicamente controlados por obras hidráulicas foi baseada na metodologia dos Estilos Fluviais proposta por Brierley e Fryirs (2005). Destaca-se que essa metodologia corresponde a uma ferramenta de pesquisa voltada à gestão dos recursos hídricos, onde foram aplicados, inicialmente, em bacias hidrográficas do sudeste australiano em parceria com a agência australiana de conservação de água, sendo marca registrada pela *South Wales Department of Land and Water Conservation* e da *Macquarie University*. De uma maneira geral, a metodologia dos Estilos Fluviais propõe procedimentos genéricos que proporcionam ferramentas para a interpretação da forma, comportamento, condição e potencial de recuperação de um rio. As bases explicativas e prognósticas do arcabouço proporcionam alicerces rigorosos para a tomada de decisão. Destaca-se que o presente trabalho se insere na abordagem do primeiro estágio dessa metodologia, referente à classificação e identificação dos estilos fluviais.

Segundo Brierley e Fryirs (2005), os estilos fluviais correspondem a diferentes segmentos do rio que apresentam um conjunto comum de características geomorfológicas e hidrodinâmicas, definidas pelo caráter (confinamento dos vales, forma em planta e geometria do canal) e comportamento (características hidráulicas e o calibre dos materiais transportados e depositados).

Cabe destacar que o confinamento do vale, geralmente expresso pela configuração geomorfológica da paisagem e composição litológica do leito, representa o passo inicial na identificação de cada estilo fluvial, sendo um dos elementos mais importantes na diferenciação de cada trecho. Contudo, como o trabalho se propõe apenas a analisar os trechos de rios controlados e modificados pelas obras hidráulicas, considerou-se o confinamento dos rios sendo atualmente

controlado pela obra hidráulica em questão. Além das intervenções fluviais e o papel destas no comportamento dos rios, a classificação dos diferentes segmentos de rio levou em consideração a geometria do vale, padrão do canal em planta, unidades geomorfológicas e material do leito.

A nomenclatura de cada Estilo Fluvial está baseada nas orientações de Brierley, Fryirs, Marçal e Lima (2019). Ressalta-se que de acordo com os autores é colocado apenas no final da tipologia o nome da obra hidráulica que está confinando o trecho do canal. Em função do elevado número de intervenções realizadas na Bacia do Guandu, apresenta-se aqui uma proposta de tipologia dos Estilos Fluviais Antropicamente Modificados considerando-se, inicialmente, o nome da obra hidráulica que exerce o controle de confinamento atual na dinâmica dos processos fluviais, seguido pelo confinamento do vale que exercia controle sobre os processos fluviais anteriormente às obras hidráulicas, do padrão do canal em planta e das características dos materiais do leito. Assim, a tipologia seguiu a seguinte ordem, tendo como exemplo um dos Estilos identificados no rio Guandu: “*Estilo Fluvial Antropicamente Controlado por Retificação, em Vale Não Confinado, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso*”, o código está nomeado da seguinte forma: “*EF-ACR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso*”.

A análise da forma em planta do canal foi executada através da plataforma *Google Earth*, que também foi utilizada para a identificação das feições geomorfológicas e da composição do leito, junto à realização de sete trabalhos de campo. Para o mapeamento dos Estilos Fluviais utilizou-se o *software ArcGis 10.5*. A rede de drenagem atual foi obtida por meio da base cartográfica contínua do ano de 2019 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:25.000, e a delimitação da bacia foi obtida através do Catálogo de Metadados da Agência Nacional de Águas (2014).

Resultados

Compartimentos geomorfológicos e as alterações na rede de drenagem pelas obras hidráulicas.

A Bacia do rio Guandu apresenta em seu domínio cinco compartimentos bem distintos de relevo que influenciam na configuração dos vales e na diversidade de comportamento dos processos fluviais, sendo eles: Escarpas Serranas (acima de

400 m), Serras Isoladas e de Transição altimétrica (entre 200 e 400 m), Morros (de 100 a 200 m), Colinas (de 20 a 100 m) e Planícies (até 20 m) (Silva, 2002).

As áreas do alto curso da bacia, onde predominam os relevos mais íngremes com serras escarpadas e isoladas, os vales fluviais são em grande parte confinados com os rios apresentando pouca ou nenhuma capacidade de ajuste lateral com ocorrências isoladas de planícies fluviais. Nessas áreas estão localizadas a represa de Ribeirão das Lajes e a Usina Hidrelétrica Fontes Velhas (atual Fontes Nova) que representam os primeiros grandes empreendimentos construídos pela empresa de energia elétrica LIGHT/SA na bacia, inaugurados em 1908.

Nas áreas do médio/baixo curso da bacia, o relevo é de transição, ocorrendo relevos predominantemente de colinas e morros espaçados, onde os rios passam a ter maior capacidade de ajuste lateral, mas de forma limitada, caracterizando os vales como parcialmente confinados. Contudo, a construção das obras de reservatórios de água ao longo do trecho altera as características esperadas para esse tipo de confinamento de vale. O rio Guandu e os seus afluentes Cacara e Santana percorrem vales parcialmente confinados, sendo que no rio Santana o confinamento se dá pela expressiva ocorrência de terraços fluviais.

Já nas áreas do baixo curso da bacia predominam as amplas áreas de planície fluvial do rio Guandu e de seus afluentes. Anteriormente à obra de retificação dos canais, os rios apresentavam padrão meândrico, com a presença de feições geomorfológicas deposicionais comuns a áreas de planícies, como barras laterais, longitudinais, depressões, soleiras e ilhas fluviais. Corresponde a uma área bastante urbanizada, sendo considerada as ocupações urbanas mais antigas no âmbito da bacia passando por diversos tipos de uso do solo desde o período da colonização do país.

Entre o século XVIII e início do século XX, alterações significativas por obras hidráulicas foram realizadas na rede de drenagem da Bacia do rio Guandu e de seus principais afluentes, em grande parte nas suas áreas mais baixas, correspondente às planícies fluviais. Com a ocupação dos jesuítas no século XVIII, diversas obras foram realizadas próxima à foz do rio Guandu como os diques, canalizações e alargamentos de canais fluviais (Goes, 1942). Contudo, tais obras são fortemente intensificadas na primeira metade do século XX devido ao alto crescimento urbano, à necessidade de

abastecimento de água e energia elétrica e à criação de áreas drenadas para atividades agropastoris. O extinto DNOS exerceu um papel central nesse contexto, promovendo muitas obras de “correção” desses rios durante as décadas de 1930 e 1940. Ainda nessas áreas das planícies encontram-se, também, duas obras de barragens de captação da empresa de abastecimento hídrico CEDAE, ambas construídas em 1955, as quais represam grande volume de água que é transportado por uma adutora até a Estação de Tratamento de Água (ETA GUANDU).

A Figura 2 apresenta a morfologia dos rios anteriormente às obras de retificação nessas áreas da planície fluvial do rio Guandu, já próxima a sua foz, destacando-se as modificações ocorridas nos canais fluviais. O rio Guandu Mirim encontrava-se morfologicamente conectado ao rio Guandu como um de seus importantes afluentes da margem esquerda. Já o rio da Guarda, chamado de rio Itaguaçu até o final do século XIX, não era um afluente do rio Guandu, entretanto foi conectado através de uma vala construída ainda pelos jesuítas no século XVIII, com o intuito de desviar parte das águas do Guandu para diminuir as inundações constantes (Goes, 1942). Com isso, a foz do rio foi dividida em duas por um longo período, até serem desconectadas novamente na década de 1940. Na década de 1930, o rio Guandu Mirim também tem sua foz desconectada do rio Guandu e é canalizada até a Baía de Sepetiba, objetivando diminuir o volume de água do trecho do rio Guandu e evitar enchentes.

A retificação dos rios Guandu e Guandu Mirim começa a ocorrer ainda no século XVIII, enquanto a do rio da Guarda só é efetivada na primeira metade do século XX, com as obras do extinto DNOS. Com a retificação do canal concluída, o grau de sinuosidade do paleocanal do rio Guandu, que correspondia a 1,80, foi reduzido para 1,02 e a do rio da Guarda foi reduzido de 2,04 para 1,23, gerando um grande encurtamento de seus canais. Para ambos os rios o comprimento é quase reduzido pela metade (Figura 2B e C). Outro ponto de destaque é a mudança de largura dos rios, tendo em vista que, com a medição, o rio Guandu passou de uma largura média de 36,7 m em sua foz, para 67,2 m, o que representa um aumento percentual abrupto de 83%, enquanto o rio da Guarda não apresenta grandes alterações em sua largura, indo de uma largura média de 34,7 m para 36,9 m para o trecho (Figura 2C). Além disso, também se destaca o fato de que o rio Guandu teve seu canal deslocado em cerca de 1,5 km para a esquerda (Figura 2B).

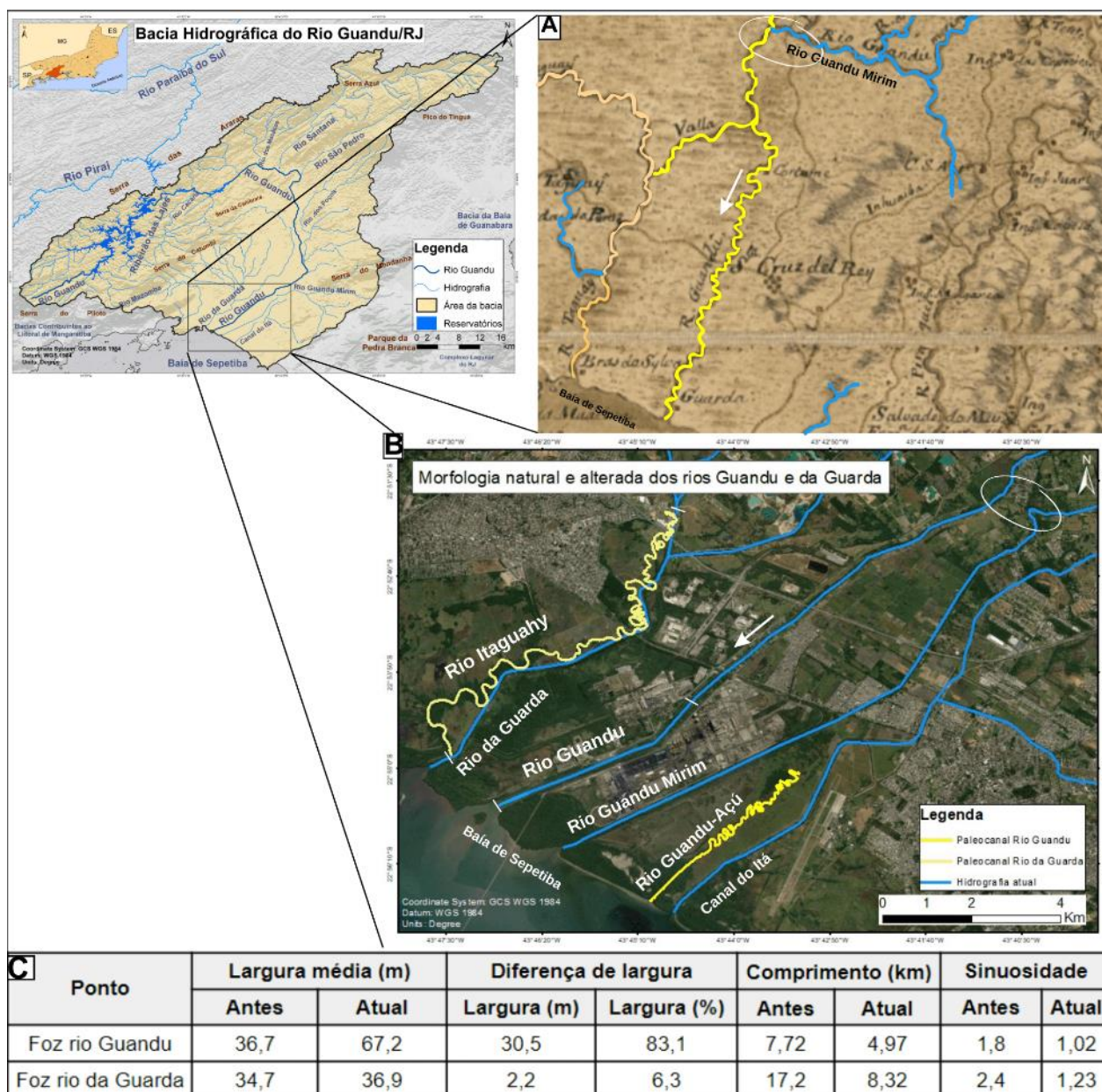


Figura 2. Bacia do rio Guandu com destaque para o baixo curso. (A) Fragmento do mapa referente ao ano de 1777, com a foz do rio Guandu. (B) Mapeamento de paleocanais dos rios Guandu e da Guarda. (C) Parâmetros morfométricos aplicados aos paleocanais dos rios Guandu e da Guarda.

Outras alterações expressivas ocorreram na morfologia dos rios na área da planície fluvial da Bacia do rio Guandu. A figura 3 apresenta a morfologia dos rios anteriormente às obras de retificação e das barragens de captação da CEDAE no rio Guandu e do seu afluente rio dos Poços, destacando-se as modificações ocorridas nos canais fluviais.

O rio dos Poços tinha sua foz diretamente na margem esquerda do rio Guandu, mas com a construção das barragens, responsáveis por gerar uma ampla área alagada, passou a desembocar na

Lagoa Grande, criada artificialmente (Figura 3A e B). Parte dos sedimentos que deveriam chegar até o rio Guandu pelo rio dos Poços, assim como o rio Ipiranga, são depositados no fundo das lagoas (reservatório criado) ao encontrarem um fluxo de baixa energia (lêntico), necessitando periodicamente de dragagens em sua foz. Além disso, com a retificação o rio dos Poços teve uma grande redução em seu comprimento e sinuosidade, passando de 8,46 para 4,7 km e de 2,46 para 1,32, respectivamente, tendo também a sua largura aumentada (Figura 3A e B). Já o rio

Guandu, que para o trecho analisado tinha uma sinuosidade de cerca de 1,5, foi retificado e passou

para valores próximos a 1, enquanto sua largura teve um aumento de 121% (Figura 3C).

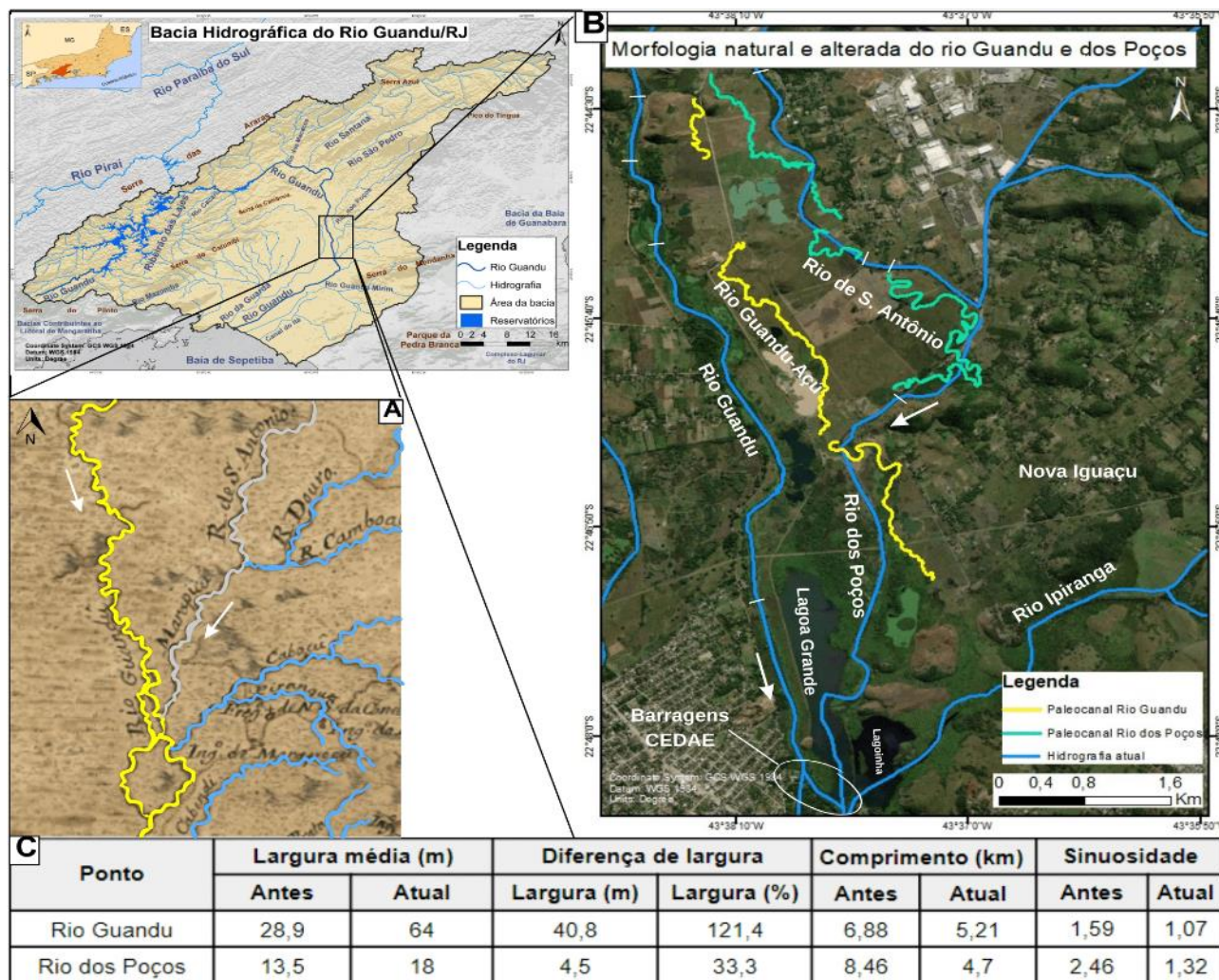


Figura 3. Bacia do rio Guandu com destaque para o baixo curso. (A) Fragmento do mapa referente ao ano de 1777 com o ponto de interesse. (B) Mapeamento de paleocanais dos rios Guandu e dos Poços. (C) Parâmetros morfométricos aplicados aos paleocanais dos rios Guandu e dos Poços.

Próximo a confluência do rio Guandu com os afluentes São Pedro e Santana, no município de Japeri, corresponde a um outro trecho de drenagem que apresenta alterações significativas na morfologia dos canais fluviais (Figura 4). O rio São Pedro, antes da obra de retificação, fluía por uma ampla planície até sua foz na margem esquerda do rio Guandu, com sinuosidade aproximada de 1,69 para os trechos de paleocanais identificados. Após as obras, essa sinuosidade do canal passou para valores próximos a 1, onde suas planícies foram drenadas para dar lugar, principalmente, a grandes áreas de pasto e agricultura, culminando no

desaparecimento de diversas feições geomorfológicas do rio (Figura 4B). De acordo com os geoindicadores de referência, o rio São Pedro teria um padrão de acumulação de sedimentos, com formação de barras laterais, longitudinais e em pontal, além de terraços fluviais. As obras alteram o balanço sedimentar do rio, passando a transportar mais do que depositar, influenciando diretamente na descarga de sedimentos do rio Guandu. O rio São Pedro apesar de ainda fluir em seu canal original, para os dois períodos analisados (Figura 4A e B) possuía sinuosidades de 2,26 e 1,9 que passaram para 1,02

e 1,37, respectivamente, após as intervenções, tendo sua largura também muito alterada, com um aumento de aproximadamente 37 m (aumento de 261%) (Figura 4C). Este grande aumento de largura impacta diretamente na vazão, na descarga de sedimentos, nas formas e nos processos presentes no rio. Aliado a essas alterações, a

ausência de mata ciliar, a ocupação urbana em suas margens e o despejo de esgoto doméstico proveniente de Japeri verificados neste trecho também são fatores que vão influenciar direta e indiretamente na condição do rio Guandu.

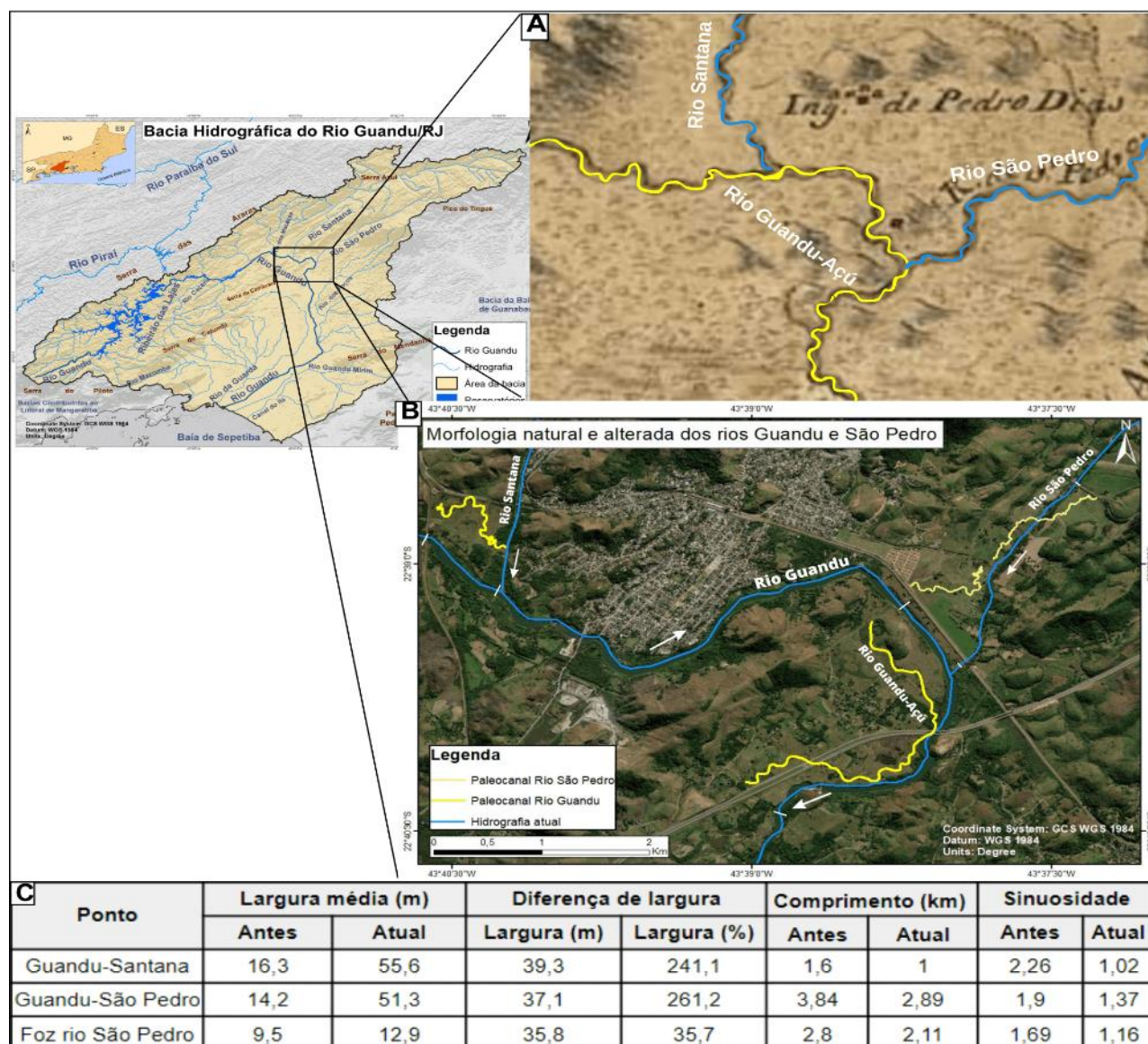


Figura 4. Bacia do rio Guandu com destaque para o baixo curso. (A) Fragmento do mapa referente ao ano de 1777 com o ponto de interesse. (B) Mapeamento de paleocanais dos rios Guandu e São Pedro. (C) Parâmetros morfométricos aplicados aos paleocanais dos rios Guandu e São Pedro.

Atualmente o rio Santana é um dos principais contribuintes à vazão do rio Guandu e também teve seu canal fluvial alterado por obras de retificação nas suas áreas de planície fluvial, no início do século XX (Figura 5). O mapeamento

realizado mostra os paleocanais com alta sinuosidade ao longo das áreas de planície do rio que atualmente se encontram retificados (Figura 5A e B). Tanto as margens e como as antigas áreas de planície de inundação são ocupadas, em grande

parte, por pastagem, agricultura e moradias. Com isso, observa-se na Figura 5B e C que a sinuosidade do canal que era de aproximadamente 2,58 passou para 1, passando de um padrão meândrico para

retificado. A mudança do comprimento de 9 para 4,27 km representa apenas uma parte dos 14,6 km de retificações realizadas na planície do rio Santana (Figura 5).

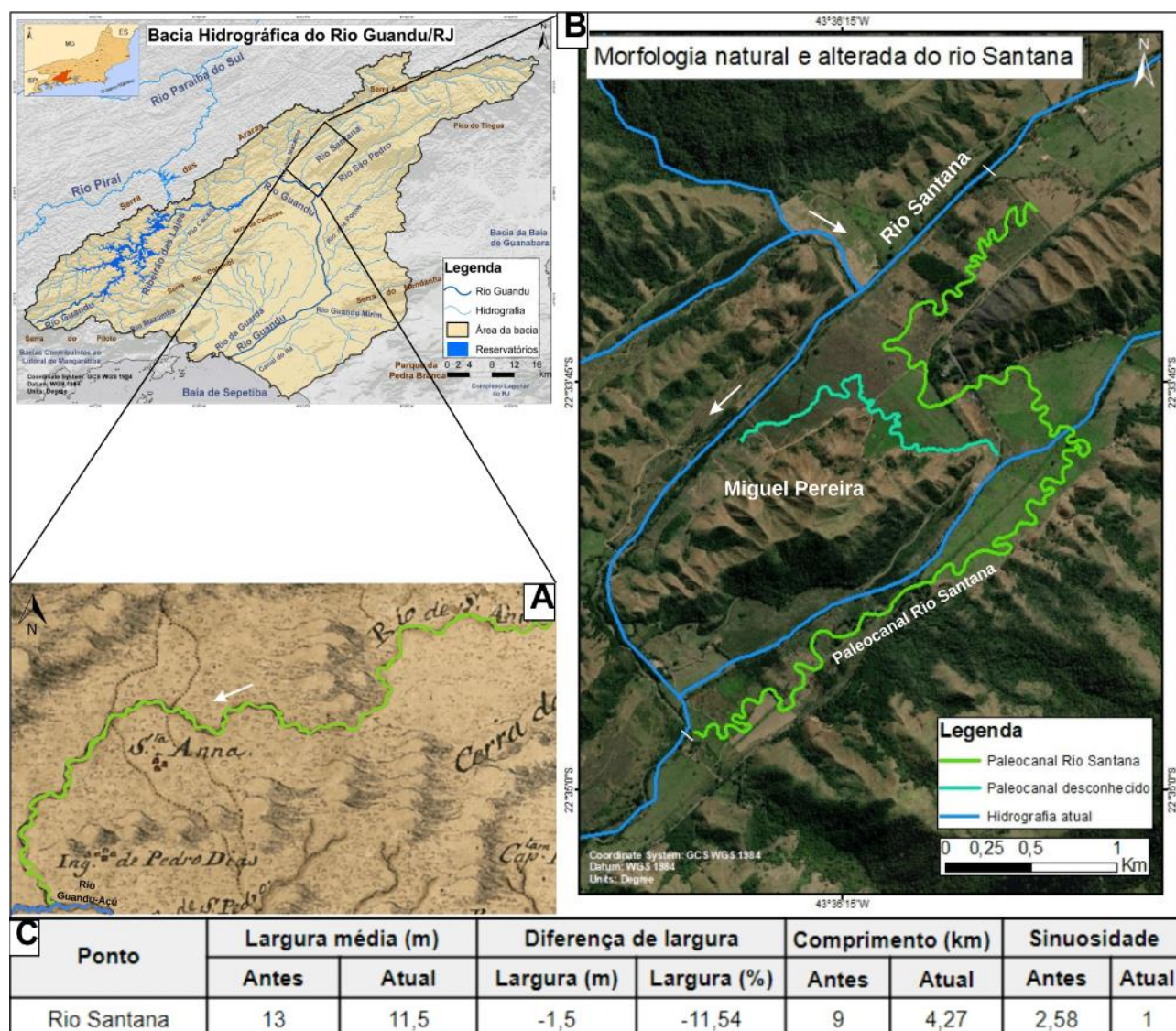


Figura 5. Bacia do rio Guandu com destaque para as áreas de planície fluvial. (A) Fragmento do mapa referente ao ano de 1777 com o ponto de interesse. (B) Mapeamento de paleocanal do rio Santana. (C) Parâmetros morfométricos aplicados ao paleocanal do rio Santana.

A confluência dos rios dos Macacos e Santana com o rio Guandu, na altura do município de Paracambi, mostra também alterações nos canais em suas áreas de planície fluvial (Figura 6). As obras de retificação no início do século XX tiveram como objetivo controlar as margens e promover a secagem da planície de inundação e, para isso, a foz desses dois afluentes, que antes eram bem próximas, passaram a desaguar em áreas

mais distantes no rio Guandu (Figura 6A e B). O rio dos Macacos teve sua sinuosidade reduzida de 1,74 para 1, ocorrendo também alargamento de seu leito, com um aumento de aproximadamente 3,6 m (36,7% a mais) (Figura 6C). Já a sua foz, atualmente, encontra-se a cerca de 2,2 km da sua foz original e o seu canal principal está inserido na malha urbana de Paracambi, onde construções ocupam toda a sua antiga área de planície de

inundação.

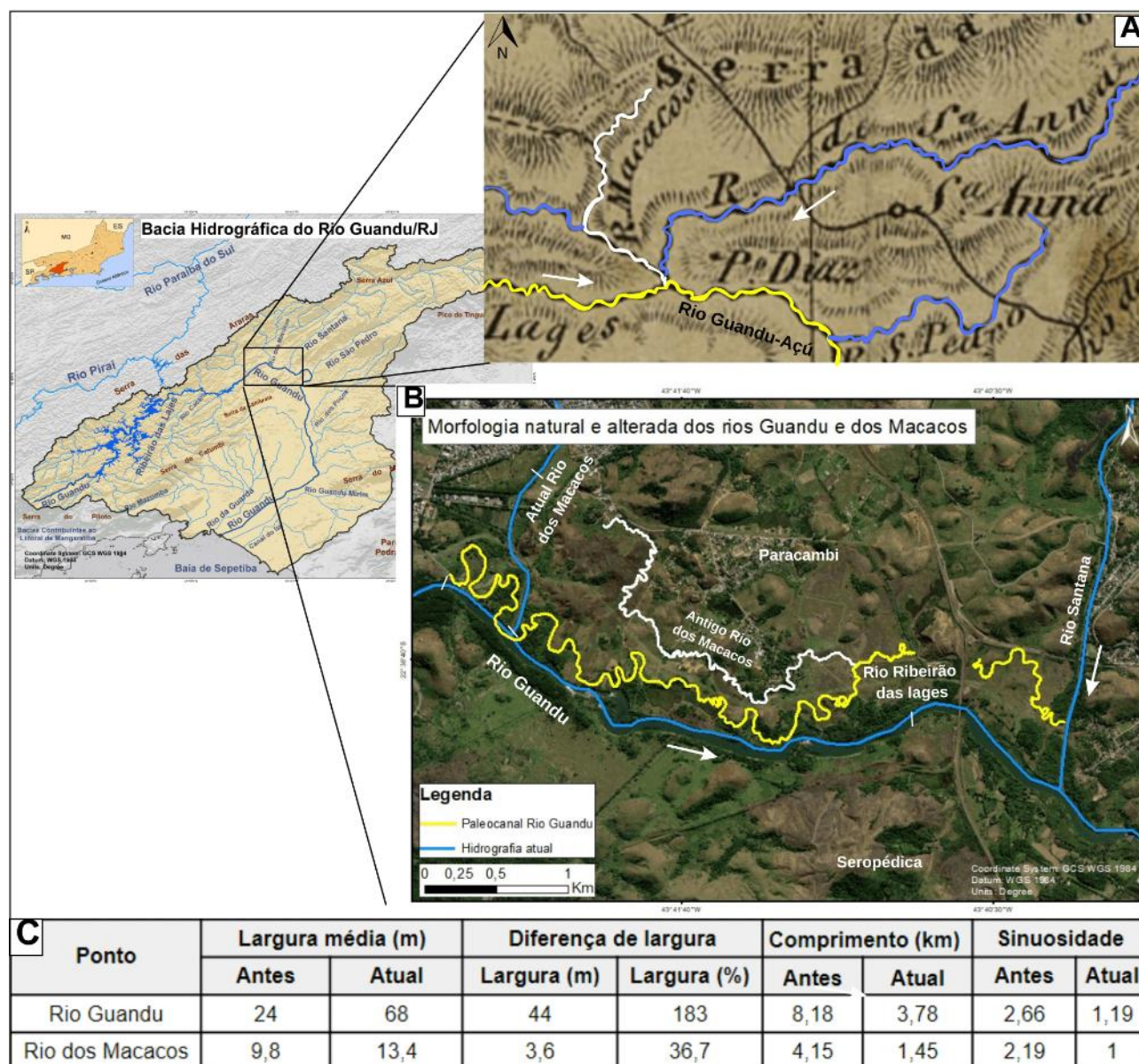


Figura 6. Bacia do rio Guandu com destaque para as áreas de planície fluvial. (A) Fragmento do mapa referente ao ano de 1777 com o ponto de interesse. (B) Mapeamento de paleocanal dos rios Guandu e dos Macacos. (C) Parâmetros morfométricos aplicados aos paleocanais dos rios Guandu e Macacos.

Classificação dos Estilos Fluviais Antropicamente Modificados e Controlados

As áreas mais baixas da bacia apresenta em seu sistema fluvial quatro Estilos Fluviais que estão modificados e controlados por obras hidráulicas, sendo que três deles em áreas da planície fluvial e um nas áreas do domínio colinoso (Figura 7). A segmentação dos rios nessas áreas ajuda a identificar o tipo de obra hidráulica que está controlando as margens e o fluxo do trecho e, por sua vez, impondo novos ajustes e mudanças no

comportamento dos processos fluviais. A Tabela 1 apresenta os diferentes atributos para cada Estilo Fluvial e a Tabela 2 os parâmetros morfométricos utilizados, em cada trecho de rio. O Estilo Fluvial Antropicamente Controlado por Barragem, Reservatório e Retificação, em Vale Parcialmente Confinado, canal pouco sinuoso com trechos retilíneo e leito arenoso (EF-ACBRR-VPC, canal pouco sinuoso com trechos retilíneo e leito arenoso) se estende por 20,9 km em uma área de relevo de Colinas e Morros com a ocorrência de

planícies descontínuas (Figura 7A), correspondendo ao trecho de rio antropicamente controlado localizado mais à montante da bacia em relação aos demais estilos fluviais antropicamente controlados, com desnível topográfico de 58 m e uma declividade de 0,27% (Tabela 2).

O canal é único e a obra de retificação do canal é responsável por restringir o ajuste lateral do rio. Já as duas barragens que estão nesse trecho de rio (Usinas Hidrelétricas de Pereira Passos e Paracambi) criam os reservatórios de Ponte Coberta e Paracambi, respectivamente (Figura 7A e B) e estabelecem dois níveis de base

antropogênicos fixos e locais controlando o fluxo de água e sedimentos de montante para jusante (Figura 7B). Neste trecho, o leito é arenoso e sua largura varia drasticamente entre 40 e 600 m, em função dos reservatórios (Tabelas 1 e 2). Apresenta alternância entre um fluxo lótico, gerado pela declividade natural e, também, pelo desnível criado pelas usinas hidrelétricas, e lântico devido aos reservatórios. Estas obras foram responsáveis por desconfigurar o funcionamento e a morfologia do canal, causando o desaparecimento de suas unidades geomorfológicas naturais, possuindo apenas ilhas vegetadas criadas pelo alagamento (Tabela 1).

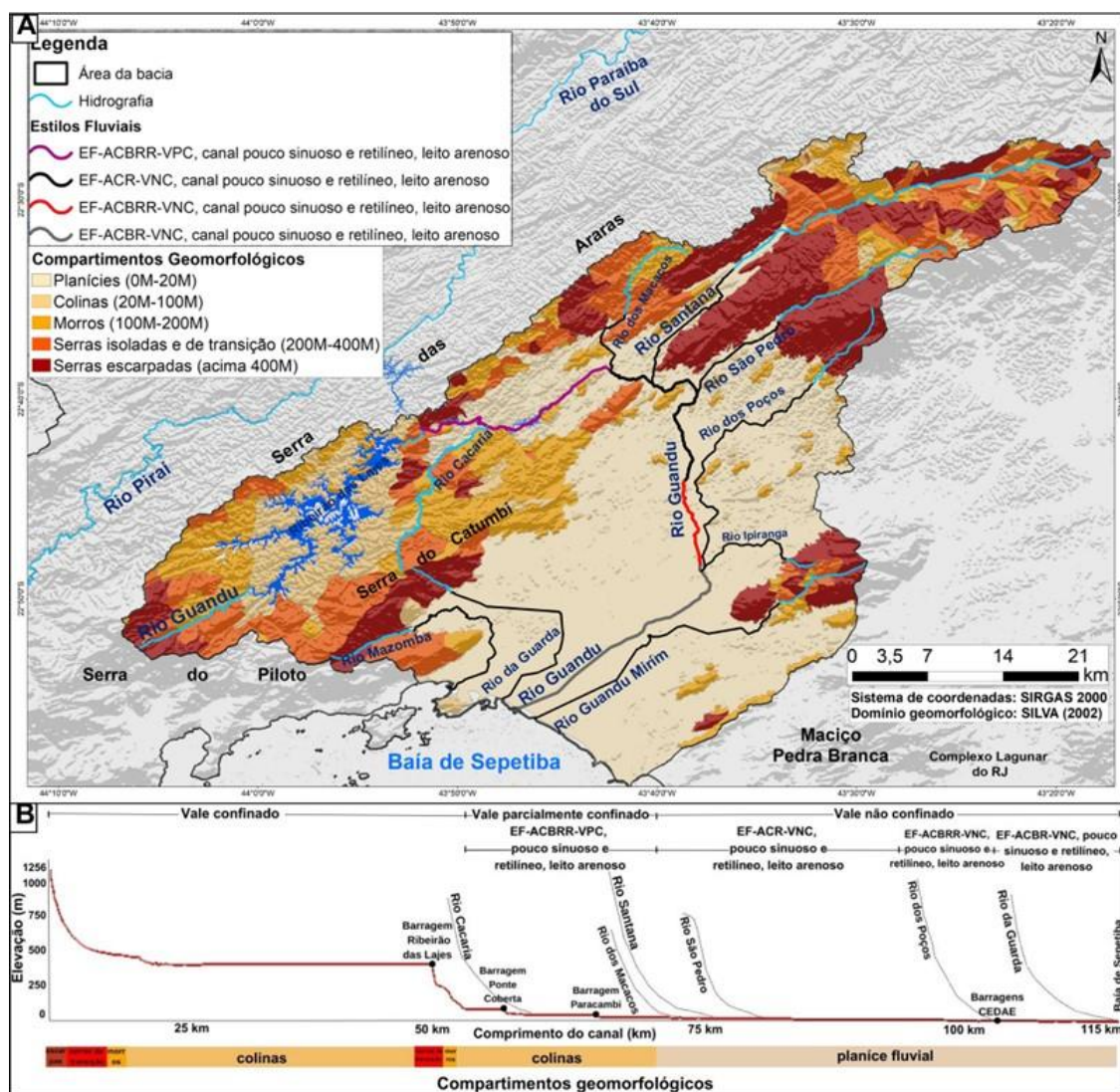


Figura 7. Mapa geomorfológico da Bacia do rio Guandu (Silva, 2002). (A) Identificação dos Estilos Fluviais Antropicamente Modificados e Controlados da Bacia do rio Guandu. (B) Perfil Longitudinal do rio Guandu e as unidades de relevo associados.

Tabela 1. Principais atributos físicos dos Estilos Fluviais Antropicamente Modificados e Controlados da Bacia do rio Guandu.

Estilo Fluvial	Compartimento geomorfológico	Obras hidráulicas no canal	Caráter do rio		
			Forma em planta	Unidades geomorfológicas	Material do leito
EF-ACBRR-VPC, canal pouco sinuoso com trechos retilíneos e leito arenoso	Colinas, morros e planícies.	Retificação, Pequena Central Hidrelétrica de Paracambi, barragem de Paracambi, barragem de Ponte Coberta, Usina Hidrelétrica Pereira Passos.	Canal único, retificado, estável	Ilhas vegetadas.	Arenoso.
EF-ACR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso	Planícies e colinas.	Retificação.	Canal único, retificado, estável.	Corredeiras, ilhas vegetadas.	Arenoso.
EF-ACBRR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso	Planícies.	Retificação, duas barragens de captação de água da CEDAE à jusante, reservatório.	Canal único, retificado, estável.	Ilhas vegetadas, pântanos e lagoas	Arenoso.
EF-ACBR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso	Planícies.	Retificação, duas barragens de captação de água da CEDAE à montante, desvio das águas para uso em usina termelétrica, desconexão de afluentes.	Canal único, retificado, estável.	Ilhas vegetadas; corredeira.	Arenoso.

Tabela 2. Principais parâmetros morfométricos dos Estilos Fluviais Antropicamente Modificados e Controlados da Bacia do rio Guandu.

Estilo fluvial	Extensão do trecho (km)	Elevação (m)		Desnível (m)	Declividade (%)	Largura do canal (m)
		Máxima	Mínima			
EF-ACBRR-VPC, canal pouco sinuoso com trechos retilíneos e leito arenoso	20,9	89	31	58	0,27	40 a 600
EF-ACR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso	19,9	31	13	18	0,09	40 a 80
EF-ACBRR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso	8,46	12	12	0	0	40 a 80
EF-ACBR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso	23	10	0	10	0,04	50 a 100

O Estilo Fluvial Antropicamente Controlado por Retificação, em Vale Não Confinado, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso (EF-ACR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso) corresponde ao trecho de rio retificado que se estende por 19,9 km em área de relevo de Colinas Isoladas (Figura 7A). Apresenta declividade de 0.09%, canal único, estável e com pouca ou nenhuma capacidade de realizar ajuste lateral, com leito arenoso (Tabelas 1 e 2). Neste trecho de rio o canal está desconectado lateralmente de sua planície fluvial, que em alguns

trechos estão fortemente urbanizadas, fazendo com que haja apenas a relação de conectividade longitudinal do canal, de montante para a jusante. Há a presença de feições geomorfológicas do tipo corredeiras ao longo do segmento evidenciando uma a condição de fluxo lótico, além de ilhas vegetadas (Tabela 1).

O Estilo Fluvial Antropicamente Controlado por Barragem, Reservatório e Retificação, em Vale Não Confinado, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso (EF-ACBRR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito

arenoso) está inserido na planície fluvial da Bacia do rio Guandu, com extensão de 8,46 km (Tabela 2). Além da retificação realizada, o trecho apresenta duas barragens de captação da CEDAE mais à jusante do trecho (Figura 7A), que são responsáveis por alterar a dinâmica fluvial. A construção da barragem alterou as condições hidrossedimentares e inundou toda a área da planície, apresentando, atualmente, feições lagunares associadas às áreas pantanosas (Figura 7A). A largura do canal varia entre 40 e 80 m e, devido a sua retificação, houve uma grande redução no comprimento do rio e da sua sinuosidade, além do desaparecimento das principais feições geomorfológicas do rio (Tabelas 1 e 2).

O Estilo Fluvial Antropicamente Controlado por Barragem e Retificação, em Vale Não Confinado, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso (EF-ACBR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso) localiza-se próximo a desembocadura do rio Guandu, em um trecho de 23 km de extensão que se inicia após o desnível gerado pelas barragens da CEDAE, as quais atuam como um novo nível de base fixo, onde o canal está retificado até a foz, na Baía de Sepetiba (Figura 7B) e apresenta declividade de 0,04% (Tabela 2). Além do controle da vazão de água e sedimentos exercido pelas barragens, que impede o fluxo contínuo longitudinalmente ao canal (com exceção dos eventos em que as comportas das barragens são completamente abertas), uma parte desse fluxo também é alterada a partir do desvio gerado para promover o funcionamento da Usina Termelétrica de Santa Cruz, próxima à foz (Figura 7A). Esse trecho possui uma largura que varia entre 50 e 100 m (Tabela 2) e suas margens encontram-se controladas pela obra de retificação, além da forte urbanização do trecho, fazendo com que haja baixa conexão lateral do canal com suas planícies flúvio-marinhas. Com isso, suas feições geomorfológicas do rio foram eliminadas, encontrando-se atualmente poucas ilhas vegetadas e corredeiras descontínuas geradas pelo desnível criado pela barragem e pelo substrato rochoso presente logo após esta (Tabela 1).

Discussão

A atual configuração da Bacia do rio

Guandu é o reflexo das inúmeras e sistemáticas mudanças no uso do solo e a imposição de uma série de obras hidráulicas desde o século XVIII. Nesse processo, as maiores concentrações das modificações e, sobretudo, as respostas do sistema a essas alterações na paisagem fluvial estão localizadas em áreas baixas da bacia, nos domínios de relevo das colinas e planícies fluviais do rio Guandu.

Nesse cenário, as planícies fluviais dos principais rios fluminense, sobretudo as voltadas para a vertente Atlântica da Serra do Mar, tiveram a mesma lógica das intervenções, com a construção de obras de engenharia com destaque para a retificação de canais fluviais. Um dos principais objetivos estava em sanear áreas pantanosas sujeitas a diversos tipos de doenças, mas também em produzir terras para atividades agropastoris e redirecionar o fluxo dos rios para minimizar impactos de cheias nas áreas mais urbanizadas.

Goes (1942) já mencionava essa velha forma de solução dos problemas ambientais da República, mostrando como esta visão fazia e ainda faz parte da sociedade brasileira desde o início da ocupação do território, e que vem perpassando séculos, seguindo a mesma lógica nacional nas questões relacionadas aos rios.

No caso da bacia do rio Guandu, com seu histórico de intervenções voltadas à geração de energia elétrica e abastecimento hídrico, a construção de barragens e reservatórios, em conjunto com as retificações, exercem forte controle sobre a dinâmica do fluxo longitudinal dos rios (montante-jusante) e com impactos sobre a sua dinâmica lateral (encosta-planície). As obras foram realizadas em momentos e finalidades distintas na área da bacia, mas, certamente, atuam como um dos controladores antrópicos primários sobre a dinâmica dos rios.

A tabela 3 destaca a natureza dos controladores (ambientais e antrópicos) sobre a dinâmica dos quatro estilos fluviais identificados e os impactos associados às suas dimensões longitudinal e lateral. Observa-se que há o predomínio do controle das obras hidráulicas sobre a dinâmica dos processos fluviais, onde apenas um dos segmentos de rio (EF-ACBRR-VPC) apresenta alguma influência do vale fluvial na dinâmica dos processos.

Tabela 3. Principais controladores na dinâmica fluvial e os impactos geomorfológicos longitudinais e laterais das intervenções antrópicas dos Estilos Fluviais Antropicamente Modificados e Controlados da Bacia do rio Guandu.

Estilo fluvial	Controladores	Impactos longitudinais	Impactos laterais
EF-ACBRR-VPC, canal pouco sinuoso com trechos retilíneos e leito arenoso	-Ambiental: colinas e morros. -Antrópico: retificação; barragem e reservatório de Paracambi; barragem e reservatório de Ponte Coberta,	-Encurtamento do canal (diminuição da sinuosidade); -Desconexão longitudinal; -Transformação do fluxo lótico em lântico; -Retenção de sedimentos, causando o assoreamento;	-Alargamento e aprofundamento do leito; -Perda da capacidade de ajuste lateral; -Alagamento do vale; -Aumento da conexão com as encostas; -Desaparecimento de unidades geomorfológicas esperadas;
EF-ACR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso	-Antrópico: retificação.	-Encurtamento do canal (diminuição da sinuosidade); -Aumento da velocidade da água; -Aumento do transporte de sedimentos;	-Alargamento e aprofundamento do leito; -Diminuição do ajuste lateral; -Diminuição da conexão com a planície e das trocas hidrossedimentares; -Desaparecimento de parte das unidades geomorfológicas esperadas;
EF-ACBRR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso	-Antrópico: retificação; 2 barragens de captação de água da CEDAE a jusante; reservatório.	-Encurtamento do canal (diminuição da sinuosidade); -Desconexão longitudinal; -Transformação do fluxo lótico em lântico; -Retenção de sedimentos, causando o assoreamento;	-Alargamento e aprofundamento do leito; -Alagamento de uma ampla área da planície; -Perda da capacidade de ajuste lateral; -Diminuição da conexão com a planície e das trocas hidrossedimentares; -Desaparecimento das unidades geomorfológicas esperadas; -Formação de lagoas fechadas e de ilhas fluviais;
EF-ACBR-VNC, canal pouco sinuoso e retilíneo, leito arenoso	-Antrópico: retificação; 2 barragens de captação de água da CEDAE a montante.	-Encurtamento do canal (diminuição da sinuosidade); -Desconexão longitudinal; -Aumento da velocidade da água; -Aumento do transporte de sedimentos com granulometria mais fina; -Aumento da incisão do canal a jusante da barragem;	-Alargamento e aprofundamento do leito; -Perda da capacidade de ajuste lateral; -Diminuição da conexão com a planície e das trocas hidrossedimentares; -Desaparecimento de parte das unidades geomorfológicas esperadas;

No entanto, ainda que os quatro estilos fluviais identificados estejam fortemente controlados de maneira distinta pelas obras (seja pela barragem, retificação ou reservatório), todos estão condicionados ao controle maior da vazão pela construção das barragens localizadas a montante da área da planície (barragens de captação de água da CEDAE, de Paracambi e Ponte Coberta). Ou seja, no sistema fluvial do rio Guandu, as barragens construídas comportam-se como condicionantes fixos, exercendo influência no comportamento longitudinal de todos os processos fluviais desencadeados a sua jusante.

Nesse sentido, no plano teórico das leis geomorfológicas, algumas reflexões são importantes serem resgatadas aqui para compreendermos a influência e magnitude do fator antrópico no sistema de drenagem do rio Guandu. Muitos autores atribuem que os níveis de base naturais dos rios são considerados importantes controladores primários da rede de drenagem (Schumm, 2005; Charlton, 2008), podendo ter caráter multiescalar e serem identificados tanto em escalas regional como local (Leopold, Wolman & Miller., 1964; Schumm, 1993; Bowman, 2023). No processo de evolução da rede de drenagem, a existência de níveis de base locais leva ao reajuste

do caráter longitudinal, no sentido de equilibrar o gradiente de energia de montante a jusante, no processo de “migração do nível de base”.

Contudo, as obras das barragens, de maneira distinta dos níveis de base naturais, são estruturas fixas que estabelecem níveis de base imóveis, impedindo a longo prazo a migração do nível de base local, condicionada pelo reajuste natural do perfil longitudinal do canal. Na impossibilidade de reajuste pela migração do nível base, os ajustes tanto a montante como a jusante podem ser expressos nas mudanças no padrão da rede de drenagem se as condições de confinamento e dos tipos ajustes (lateral, vertical e longitudinal) permitirem. Dessa forma, a mudança nos padrões dos meandros, nas propriedades transversais do canal e a característica dos depósitos sedimentares, como também dos sedimentos do fundo de leito, se configura como importantes parâmetros de gerenciamento, em vista da dinâmica imposta pelas barragens e os níveis de base locais. No contexto do Sistema Guandu, essa discussão é apresentada por Ramos et al. (2023) na Bacia do rio Pirai, onde a presença de barragens e reservatórios pode ser considerada como novos controladores que estabelecem níveis de base fixos.

Assim, nos segmentos de rios classificados

nas áreas da planície fluvial do rio Guandu, as obras de barragens e de reservatórios podem ser consideradas como novos níveis de base locais fixos por controlarem os processos hidrossedimentológico e ecológico tanto na dimensão longitudinal (montante-jusante) como lateral (canal-encosta) ao rio. Entretanto, o comportamento do sistema fluvial frente às inúmeras barragens mostra-se ainda mais complexo de ser compreendido. Nesse sentido, destaca-se que ainda é pouco discutido na literatura geomorfológica a construção dos níveis de base por obras hidráulicas em canais fluviais, sobretudo a compreensão das suas respostas a essas obras. Há um entendimento de que os controladores sobre os processos fluviais ainda sejam de natureza ambiental (as encostas exercendo esses controles), mesmo depois de terem sido fortemente alteradas antropicamente, como o caso da bacia do rio Guandu.

O efeito em cascata sobre os processos fluviais exercidos pela construção de múltiplas barragens é bastante complexo e requer a compreensão em geomorfologia fluvial para se buscar as respostas no contexto da bacia hidrográfica, compreendida como um sistema aberto. Ao associarmos as obras das retificações nos canais que vão exercer também alterações importantes nas dimensões lateral e longitudinal dos canais, o nível de complexidade aumenta.

Assim, ao se estabelecer cenários de evolução para rios fortemente modificados e alterados por obras hidráulicas, ao contrário do que é mostrado na literatura, o processo de migração do nível de base a montante, buscando equilibrar o perfil longitudinal do rio, não é alcançado. Os níveis de base fixos impostos pelas barragens vão funcionar como bloqueios físicos e fixos aos processos de ajuste do canal a montante, mas controlando totalmente os processos desencadeados a jusante, através da vazão do fluxo. Ao mesmo tempo, também, não irá permitir que os ajustes laterais do rio ocorram em razão do controle das margens exercido pelas obras de retificação.

Do ponto de vista da dinâmica ecológica dos rios, as barragens, ao exercerem o controle de grande parte da vazão na bacia, vão impactar diretamente (não apenas na distribuição de sedimentos) na diversidade aquática do sistema como um todo (Coelho, 2008; Schmutz & Moog, 2018; Calderon, Almeida, Jofré, González, & Miserendino, 2023). Nos segmentos dos rios a montante das barragens, localizadas na planície fluvial, o rio Guandu passa de um padrão lótico para um padrão léntico, responsável pelo

desaparecimento de feições geomorfológicas dentro e fora do canal, reduzindo drasticamente a variabilidade geomorfológica e ecossistêmica (Tabela 3).

Observa-se que há retenção de enorme volume de sedimentos mais grosseiros e de matéria orgânica nessas áreas alagadas. Ao mesmo tempo que estes sedimentos retidos no fundo do leito geram problemas ambientais como o assoreamento e eutrofização do curso (Kligerman, Sancanari & Nogueira, 2021), também geram um *déficit* sedimentar a jusante causando, com isso, desequilíbrios na distribuição de sedimentos no sistema, e isso irá impactar na configuração da foz. Uma evidência desta alteração caracteriza-se pela diminuição significativa e progressiva na dimensão média dos sedimentos da Baía de Sepetiba, onde Castelo (2020) chama atenção para as áreas de praia que vão progressivamente dando lugar a manguezais, com solo de granulometria mais fina e com maior teor de matéria orgânica. Em 2013 foram promovidas obras de recuperação das praias do local, mas estas vêm se deteriorando rapidamente e dando lugar a novas áreas de manguezais. Provavelmente o aumento dos sedimentos em suspensão encontra-se associado ao grande incremento na vazão gerado pela transposição dos rios Paraíba do Sul-Piraí-Guandu, fazendo com que a foz, além de ter sido deslocada por cerca de 2 quilômetros após a retificação, receba um maior volume de silte e argila (Jordão, 2017).

Apesar das obras de retificação dos canais serem bastante expressivas nas áreas da planície fluvial do rio Guandu, estas certamente exercem um efeito potencializador nos impactos gerados pelas barragens. Em tese, a retificação e alargamento de canal fluvial gera uma ruptura (*knickpoint*) que induz a ajustes importantes a montante de toda a rede de drenagem, além de aumentar o fluxo a jusante e acelerar todo esse processo, uma vez que a desconexão com a planície não permitirá mais a dissipação de energia de montante-jusante (Brookes, 1988). Entretanto, as barragens com nível de base fixo que irão controlar todo o fluxo a jusante.

Em vista de todo esse controle majoritário exercido pelas barragens, as obras de retificações irão atuar principalmente na descaracterização morfológica da bacia e homogeneização de seus ambientes fluviais (como observado nas Figuras 2 a 6). Esse processo ocorre em todos os quatro estilos fluviais mapeados na área da planície fluvial do rio Guandu, desencadeando impactos longitudinais e laterais nos cursos dos rios (Tabela

3). As principais alterações ocorrem na forma em planta dos canais e na transformação de extensas áreas com alta sinuosidade e diversificadas feições geomorfológicas, em áreas onde os canais passam a ser retilíneos, encurtados e alargados. Ou seja, esse processo de retificação dos canais elimina a possibilidade de dissipação de energia do rio ao meandrar a sua planície (o que permite que a água infiltre e permaneça mais tempo na bacia). Com isso, a retificação dos canais provoca um aumento na velocidade das águas, reconfigurando toda a área de planície de inundação: o que seria área predominantemente de deposição passa a ser de transporte de sedimentos. Isso provoca a homogeneização da paisagem fluvial perdendo-se grande parte da diversidade morfológica e ecossistêmica.

No plano da gestão hídrica, as informações apresentadas através da classificação dos Estilos Fluviais antropicamente modificados e controlados por obras hidráulicas podem ajudar a identificar as áreas que de fato são prioritárias à manutenção e/ou manejo dos rios, tanto em relação a área da bacia como de sua planície fluvial.

A descaracterização da planície do rio Guandu representa um enorme desafio à gestão da bacia, alertando para a necessidade de pesquisar e compreender como estes controladores antrópicos vão impactar no funcionamento do sistema fluvial a curto, médio e longo prazo. A geomorfologia fluvial posta-se como uma das ciências do rio importante nos processos de gestão hídrica, por apresentar conhecimentos teóricos e metodológicos importantes e capazes de abarcar a complexidade dos processos fluviais e os condicionantes ambientais relacionados à trajetória de evolução dos rios. Através dos seus conhecimentos pode-se investigar a maneira pela qual há a distribuição, no tempo e espaço, dos aspectos hidrossedimentar e ecológico, no âmbito das bacias hidrográficas.

Nesse cenário, a bacia do rio Guandu é um particular exemplar de uma sistemática descaracterização da paisagem fluvial em decorrência de intervenções diretas no sistema fluvial. A complexidade inerente ao grau de ruptura longitudinal, marcado pela segmentação da drenagem em diferentes barragens e pelas mudanças morfológicas em função das retificações, estabelecem uma demanda latente por um manejo integrado dessas intervenções. Entende-se essa demanda por um manejo integrado a importância de se investir no monitoramento contínuo entre trechos segmentados pelas barragens, uma vez que são os controladores

longitudinais predominantes.

Assim, se a barragem estabelece um nível de base local fixo e controla a capacidade e magnitude dos ajustes a jusante, em função do controle de vazão, é preciso se voltar para a compreensão dos seus efeitos a montante-jusante até o próximo controlador predominante. Pela segmentação longitudinal vista no rio Guandu, essa dinâmica se repete entre as quatro grandes barragens presentes.

As retificações no baixo curso também reforçam as atenções para os trechos entre barragens, uma vez que a supressão de meandros e a feição retilinizada pouco permite a identificação de eventuais ajustes morfológicos a jusante.

Contudo, a classificação dos estilos fluviais antropicamente modificados e controlados por obras hidráulicas na área põe em xeque estudos geomorfológicos pautados apenas na discussão dos aspectos naturais. Destaca-se que há uma demanda em se buscar compreender as principais teorias geomorfológicas levando em conta o quão incisiva é a alteração humana nos ambientes fluviais, sendo necessário adaptá-las aos novos contextos impostos. Discussões teóricas clássicas como a influência do nível de base na evolução do sistema fluvial podem e devem ser adaptadas e repensadas pela abordagem da geomorfologia fluvial no contexto das grandes alterações ambientais do Antropoceno, chamando atenção para uma gestão e manejo integrados dessas intervenções.

Este modo de gestão opõe-se à visão presente tanto no contexto nacional, conforme descrito por Marçal et al. (2022), quanto no comitê de bacia do rio Guandu, a qual é pautada fundamentalmente em estudos hidrológicos e biológicos preocupados apenas com a qualidade e quantidade da água. Tais perspectivas enxergam os rios como meros condutores de água responsáveis por promover bens econômicos, modo de gestão cunhado como “gestão dos recursos hídricos”. Nesse sentido, este estudo vai em direção a uma gestão dos rios (Brierley, 2020; Marçal et al., 2022), que considere e incorpore aspectos da geomorfologia fluvial no processo de tomada de decisões.

Conclusões

A aplicação dos conhecimentos em Geomorfologia Fluvial na área da planície fluvial do rio Guandu foi fundamental para a compreensão da nova configuração da bacia, tanto em relação à dinâmica dos processos como das alterações morfológicas dos canais, após inúmeras intervenções hidráulicas no sistema hidrográfico.

A identificação dos quatro segmentos de rios definidos pela metodologia dos Estilos Fluviais permitiu uma análise sobre o comportamento dos processos fluviais modificados e controlados pelas barragens no curso do rio Guandu, assim como das retificações dos canais. Com base na discussão sobre o efeito que os níveis de base desencadeiam no perfil longitudinal de um rio, foi possível compreender que as barragens e as retificações realizadas na planície do rio Guandu realizam o mesmo processo, porém de forma fixa no sistema. E isso deve ser considerado como um controlador primário no desenvolvimento dos processos nessas áreas a montante e jusante das obras.

A tipologia dos rios expõe o papel desempenhado tanto pelos controladores ambientais como das obras hidráulicas sobre o comportamento dos rios. Isso, sem dúvida, reforça a importância em se considerá-los nas análises dos rios e do sistema hidrográfico. Além disso, essa forma de representação na classificação dos estilos fluviais vai chamar a atenção para o papel desempenhado pelas intervenções humanas sobre os rios, muitas vezes considerados apenas como rios antropogênicos.

Por fim, para uma gestão e planejamento mais sustentável de bacia hidrográfica é essencial que conhecimentos em Geomorfologia Fluvial sejam levados em conta no processo de tomada de decisão. Este campo de pesquisa ocupa um lugar central na compreensão do comportamento dos rios, principalmente no que tange às obras enquanto geradoras de mudança nos níveis de base dos rios, que vão ser determinantes no funcionamento da bacia.

Agradecimentos

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela concessão da bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor. À Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu (AGEVAP) pelo auxílio concedido à pesquisa através do Edital de Chamamento Público Nº 016/2019.

Referências

Acervo Digital da Biblioteca Nacional. (1777). Carta corographica da capitania do Ryo de Janeyro, capital dos estados do Brasil Elaborada por Francisco João Roscio. Disponível em: http://acervo.bndigital.bn.br/sophia/index.asp?codigo_sophia=1768.

- Acervo Digital da Biblioteca Nacional. (1848). Map of the province of Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Disponível em: http://acervo.bndigital.bn.br/sophia/index.asp?codigo_sophia=3130.
- Artaxo, P. (2014). Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno?. Revista USP, (103), 13-24. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p13-24>.
- Assumpção, A. P., & Marçal, M. S. (2012). Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do rio Macaé (RJ). Revista de Geografia (UFPE), 29(3), 18-36. Link: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/228972>.
- ANA. Agência Nacional de Águas. (2014). Catálogo de metadados na ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>.
- Bowman, D. (2023). Base-level impact. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-24994-5>.
- Brierley, G. J., & Fryirs, K. A. (2005). Geomorphology and river management: applications of the River Styles Framework. Blackwell Publishing. DOI: 10.1002/9780470751367.
- Brierley, G., Fryirs, K., Cullum, C., Tadaki, M., Huang, H., Blue, B. (2013). Reading the landscape: Integrating the theory and practice of geomorphology to develop place-based understandings of river systems. Progress in Physical Geography, 37(5), 601-621. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133313490007>.
- Brierley, G. J., Fryirs, K. A., Marçal, M. S., & Lima, R. N. S. (2019). The use of the River Styles Framework as a tool to 'work with nature' in managing rivers in Brazil: examples from the macaé catchment. Revista Brasileira de Geomorfologia 20 (4), 751-771. DOI: 10.20502/rbg.v 20i4.1559.
- Brooks, A. (1988). Channelized rivers: Perspectives for environmental management. Wiley, 326 p.
- Calderon, M. R., Almeida, C. A., Jofré, M. B., González, S. P., & Miserendino, M. L. (2023). Flow regulation by dams impacts more than land use on water quality and benthic communities in high-gradient streams in a semi-arid region. Science of the Total Environment, 881(2), 163468. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163468.

- Castelo, W. F. L. (2020). Evolução ambiental da Baía de Sepetiba ocorrida no Holoceno médio e superior: abordagem multiproxy sobre fatores naturais e antropogênicos. [Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geologia Marinha]. Repositório Institucional UFF. Link: <http://app.uff.br/riuff/handle/1/24310>.
- Charlton, R. (2008). *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. Routledge.
- Coelho, A. L. N. (2008). Geomorfologia Fluvial de Rios Impactados por Barragens. *Caminhos de Geografia*, 9(26), 16-32. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG92615721>.
- Crutzen, P. J. (2002). Geology of Mankind. *Nature*, 415(3). DOI: <https://doi.org/10.1038/415023a>.
- Gouveia, I. C. M. C., Rodrigues, C. (2017). Mudanças morfológicas e efeitos hidrodinâmicos do processo de urbanização na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí – RMSP. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, 21(1), 257–283, DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.105342.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). Base Cartográfica Contínua do Brasil, escala 1:25.000 - BC25: versão 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html>.
- INEA. Instituto Estadual do Ambiente (2013). Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/publicacoes/publicacoes-inea/>.
- Goes, H. A. (1942). *A Baixada de Sepetiba*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 388 p.
- Goudie, A., 1981. *The human impact: man's role in environmental change*. The MIT Press.
- Jordão, M. D. L. (2017). Influência da transposição de bacias do paraíba do Sul-Piraí-Guandu na descarga de sólidos suspensos para a Baía de Sepetiba. [Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Engenharia Oceânica]. Pantheon UFRJ. Link: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/8277>.
- Kligerman, D. C., Sançanari, S. N., & Nogueira, J. M. R. (2021). Caminhos para viabilização da convergência de interesses na despoluição do Rio Guandu, Rio de Janeiro, Brasil. *Caderno Saúde Pública* 37(6), 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00234420>.
- Kondolf, G. M., Piégay, H., Schmitt, L., & Montgomery, D. (2016). Geomorphic classification of rivers and streams. In: Kondolf, G. M., Piégay, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology* (133-158). John Wiley & Sons Ltd. DOI: 10.1002/9781118648551.
- Large, A., Gilvear, D., & Starkey, E. (2018). Ecosystem service-based approaches for status assessment of anthropocene riverscapes. In: Kelly, J. M., Scarpino, P., Berry, H., Syvitski, J., & Meybeck, M. (Eds), *Rivers of the Anthropocene* (pp. 23-42). University of California Press.
- Lave, R., Biermann, C., & Lane, S. N. (2018). Introducing Critical Physical Geography. In: Lave, R., Biermann, C., & Lane, S. (Eds.), *The Palgrave Handbook of Critical Physical Geography* (pp. 3-21). Palgrave Macmillan. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-71461-5_1.
- Lepold, L. B., & Wolman, M. G. (1957). *River Channel Patterns: Braided, Meandering, and Straight*. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 85 p.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G., & Miller, J. P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman, San Francisco, 522 p.
- Luz, L. M., & Marçal, M. S. (2016). A Perspectiva Geográfica do Antropoceno. *Revista de Geografia*, 33, 143-160.
- Magalhães, A. P., Jr., & Barros, L. F. P. (2020). *Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais*. Bertrand Brasil.
- Marçal, M. S., Brierley, G. J., & Lima, R. N. S. (2017). Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures: Macaé Basin, Brazil. *Applied Geography*, 84, 23-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.04.008>.
- Marçal, M. S., Castro, A. O. C., & Lima, R. N. S., (2022). Geomorfologia Fluvial e Gestão dos Rios no Brasil. In: Carvalho, O. A., Jr., Gomes, M. C. V., Guimarães, R. F., & Gomes, R. A. T. (Eds.), *Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira* (225-249). Calíandra. DOI: <https://doi.org/10.26512/9786586503852>.
- Montgomery, D. R.; & Buffington, J. M. (1997). Channel-Reach Morphology in Mountain Drainage Basins. *Geological Society of America Bulletin*, 109(5), 596-611.
- Oliveira, G. F., & Marçal, M. S. (2024). Cenários da conectividade fluvial atual e a relação de água e sedimentos na Bacia do rio Santana (RJ). *Revista Brasileira De Geomorfologia*, 25(1), 1-23. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v25i1.2253>

- Pelech, A. S., & Peixoto, M. N. O. (2020). Rios urbanos: contribuições da antropogeomorfologia e dos estudos sobre os terrenos tecnogênicos. *Revista Brasileira de Geografia*, 65 (1), 2-22. DOI: 10.21579/issn.2526-0375_2020_n1_2-22.
- Pelech, A. S. (2021). Classificações geomorfológicas de rios: uma breve discussão teórica. *William Morris Davis*, 2(2), 1-27. DOI: <https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v2n2.2021.170>.
- Pelech, A. S., & Peixoto, M. N. O. (2022). Estilos fluviais da Bacia Hidrográfica do Rio Quitandinha (Petrópolis, RJ): aplicação de uma classificação geomorfológica de rios em uma área montanhosa urbanizada. *Revista Brasileira de Geografia*, 66(2), 35-74. DOI: 10.21579/issn.2526-0375_2021_n2_35-74.
- Ramos, G. S., Marçal, M. S., & Cabral, G. K. P. (2023). Classificação de rios em ambientes modificados e controlados por atividades humanas: o caso do Rio Pirai (RJ). *William Morris Davis - Revista De Geomorfologia*, 4(2), 1-23. DOI: <https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v4n2.2023.405>.
- Ribeiro, N. B., Formiga-Johnsson, R. M., & Martins, M. S. (2018). Risco ecológico da Bacia Hidrográfica Lagos São João, RJ. *Engenharia Sanitária e Ambiental - SciELO*, 23(3), 447-458. DOI: 10.1590/S1413-41522018160564.
- Rinaldi, M., Gurnell, A. M., Tánago, M., Bussetini, M., & Hendricks, D. (2016). Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration. *Aquatic Sciences*, 78, 17-33.
- Rodrigues, C. (2005). Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. *Revista Do Departamento De Geografia - USP*, 17, 101-111. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0008>
- Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22, 169-199.
- Santana, C. I., & Marçal, M. S. (2020). Identificação de Estilos Fluviais na Bacia do Rio Macabu (RJ) a Serem Aplicados na Gestão dos Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(4), 1886-1902. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1886-1903>.
- Santos, R. C., & Marçal, M. S. (2021). Caracterização dos ajustes e mudanças na morfologia do Rio São João, Região Das Baixadas Litorâneas do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 22(1), 149-162. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i1.1826>.
- Schmutz, S., & Moog, O. (2018). Dams: ecological impacts and management. In: Schmutz, S., & Sendzimir, J. (Eds.), *Riverine ecosystem management: Science for governing towards a sustainable future* (111-127). Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3>.
- Schumm, S. A. (1963). Sinuosity of alluvial rivers in the great plains. *Bulletin of the Geological Society of America*, 74, 1089-1100. DOI: [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1963\)74\[1089:SOAROT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2).
- Schumm, S. A. (1993). River Response to Baselevel Change: Implications for Sequence Stratigraph. *The Journal of Geology*, 101(2), 279-294.
- Schumm, S. A. (2005). *River Variability and Complexity*. Cambridge University Press.
- Silva, F. P. (2020). Interações geomorfológicas e ecológicas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ubá (MG). *Espaço Aberto*, 10(2), 27-52. DOI: 10.36403/espacoaberto.2020.32495.
- Silva, T. M. (2002). A estruturação geomorfológica do Planalto Atlântico no estado do Rio de Janeiro. [Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. Base Minerva. Link: https://minerva.ufrrj.br/F/?func=direct&doc_number=000581002&local_base=UFR01.
- Szabó, J. (2010). Anthropogenic geomorphology: subject and system. In: Szabó, J., David, L., & Lóczy, D. (Eds.), *Anthropogenic Geomorphology: a guide to man-made landforms* (3-10). Springer. DOI: 10.1007/978-90-481-3058-0_1.
- Whitehead, M. (2014). *Environmental Transformations: A Geography of the Anthropocene*. Routledge.