

# ESTILOS FLUVIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO QUITANDINHA (PETRÓPOLIS, RJ): APLICAÇÃO DE UMA CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DE RIOS EM UMA ÁREA MONTANHOSA URBANIZADA

André Souza Pelech

Maria Naíse de Oliveira Peixoto

*Universidade Federal do Rio de Janeiro; IBGE*

## RESUMO

É reconhecido que diversas intervenções antropogênicas sobre a superfície terrestre alteram características dos canais fluviais. Este estudo propõe o mapeamento das feições geomorfológicas fluviais e identificação dos estilos fluviais (River Styles®) para compreensão da configuração dos rios na bacia hidrográfica urbana e montanhosa do Rio Quitandinha (Petrópolis, RJ). Os estilos fluviais identificados relacionam-se a vales confinados, seja pelo embasamento rochoso ou por feições antropogênicas. As unidades geomórficas caracterizadas por sedimentos grosseiros ou embasamento rochoso tendem a ser mais estáveis e menos suscetíveis às mudanças da dinâmica fluvial (naturais ou antropogênicas), em razão de sua maior resistência. Há indícios de possível ocorrência de uma desconexão lateral entre o rio e a planície de inundação e um aumento da conectividade longitudinal.

Palavras-chave: rios urbanos; classificação geomorfológica de rios; estilos fluviais; rios montanhosos; geomorfologia fluvial.

## ABSTRACT

It is recognized that several anthropogenic interventions on the Earth's surface alter the characteristics of river channels. This study proposes the mapping of fluvial geomorphological features and identification of River Styles® to understand the configuration of rivers in the urban and mountainous hydrographic basin of the Quitandinha River, in Southeast of Brazil. The river styles identified are related to confined valleys, either by bedrock or anthropogenic features. Geomorphic units characterized by coarse sediments or bedrock tend to be more stable and less susceptible to changes in fluvial dynamics (natural or anthropogenic), due to their greater resistance. There are indications of a possible occurrence of a lateral disconnection between the river and the floodplain and an increase in longitudinal connectivity.

Keywords: urban rivers; geomorphological classification of rivers; river styles; mountain rivers; fluvial geomorphology.

## INTRODUÇÃO

A expansão e intensificação das atividades humanas em diferentes contextos ambientais têm produzido significativas modificações nas características e comportamentos dos sistemas fluviais. É cada vez mais perceptível que as mudanças antropogênicas na cobertura e uso do solo têm resultado em variados tipos de impactos nos rios, documentados por estudos geomorfológicos, hidrológicos e ecológicos e expressos com frequência em problemas relacionados à poluição e redução da disponibilidade de água, degradação dos ecossistemas, intensificação dos episódios de inundação, erosão e assoreamento, dentre outros. A urbanização, a industrialização e a agricultura intensiva têm atuado como vetores de rápida e intensa modificação dos sistemas fluviais (ao longo dos canais fluviais e suas planícies), com efeitos no funcionamento dos

geossistemas e nos modos de vida das sociedades, o que tornam os rios personagens centrais nos debates acerca do Antropoceno (GIBLING, 2018; MACKLIN e LEWIN, 2020).

A ocupação urbana produz intervenções especialmente impactantes para as funções e a dinâmica de funcionamento dos sistemas fluviais, ao interferirem diretamente em diversas características e processos responsáveis pela regulação do movimento da água nos terrenos em direção às calhas dos rios. Apesar disso, as pesquisas geomorfológicas voltadas ao mapeamento e análise de formas e processos fluviais são ainda pouco frequentes, em grande parte devido ao alto grau de degradação que aparentam dificultar a identificação e a aplicação de procedimentos desenvolvidos para estudo das morfologias fluviais em ambientes menos antropizados (URBAN, 2018).

No âmbito da geomorfologia fluvial, as classificações de rios desenvolvidas visando entender e aplicar o conhecimento sobre as características e o comportamento dos canais fluviais no planejamento e gestão ambiental, como os de Rosgen (1994) Montgomery e Buffington (1997) e Brierley e Fryirs (2000; 2005), têm alcançado crescente disseminação em países como Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia, China, Brasil, países europeus, dentre outros. Fundamentadas na concepção das formas como resultantes de processos geomorfológicos característicos, estas classificações buscam representar a ampla diversidade fluvial a partir de parâmetros e condições geomorfológicas que possibilitem análises detalhadas da sua estrutura e funcionamento.

Dentro deste quadro, a metodologia dos estilos fluviais (River Styles®), elaborada por Brierley e Fryirs (2000; 2005) se destaca como um arcabouço de análise robusto que envolve a articulação de diferentes escalas de análise: bacia hidrográfica, unidades de paisagem, trechos de canal, unidades geomórficas e unidades hidráulicas. Os estilos fluviais são identificados na escala de trechos de canal (*reach*), com base no entendimento da configuração do vale pela identificação do grau de confinamento do rio e na interpretação das formas e processos pela análise das assembleias de unidades geomórficas fluviais (*geomorphic units*; *channel units*). Esta abordagem possibilita a incorporação de novas categorias e atributos à estrutura e favorece a interesalaridade no processo de classificação dos rios, abrangendo elementos de macroescala - como os compartimentos de relevo - e de meso e microescala - como os vales, as unidades geomórficas fluviais externas aos canais fluviais (planícies, terraços, leques aluviais, entre outras) e as unidades intracanaís (como barras fluviais, cascatas e rápidos), a granulometria do leito do rio e outras variáveis relacionadas à dinâmica fluvial.

A metodologia dos estilos fluviais tem sido crescentemente adaptada para a análise das condições geomorfológicas de rios urbanos (FRYIRS e MCNAB, 2001; WHEATON et al., 2015; FRYIRS e BRIERLEY, 2018), demonstrando-se a viabilidade de sua aplicação nestes ambientes. No contexto brasileiro, verifica-se a adoção da metodologia dos Estilos Fluviais em estudos desenvolvidos em diferentes regiões do território (PEIXOTO et al., 2010; LIMA e MARÇAL, 2013; OLIVEIRA et al., 2014; KLEINA et al., 2014; ALMEIDA et al., 2016; SILVA e SILVA, 2016; SOUZA et al., 2016; SILVA et al., 2019; BRIERLEY et al., 2019; FRYIRS et al., 2019; MENEZES e SALGADO, 2019; SANTANA e MARÇAL, 2020), o que contribui para o registro sistematizado da diversidade fluvial e para a apreensão das transformações morfológicas nos rios.

Estudos como o de Gurnell et al. (2007) e Halajova et al. (2019) evidenciam os impactos das cidades nos processos que controlam a morfologia dos rios e influenciam sua ecologia, ressaltando a importância da análise geomorfológica de rios urbanos na identificação dos diferentes biótopos

físicos, que correspondem aos habitats nestes ecossistemas aquáticos (NEWSON e NEWSON, 2000). Para a apreensão da dinâmica fluvial em rios urbanos, no entanto, Pelech e Peixoto (2020) ressaltam ser fundamental a integração de estudos de Antropogeomorfologia e sobre os Terrenos Tecnogênicos nas classificações geomorfológicas, tendo em vista que é necessário reconhecer que os processos fluviais não são apenas controlados por variáveis ditas 'naturais', mas também pelas atividades humanas.

A relevância do desenvolvimento de classificações e taxonomias para o mapeamento geomorfológico e a necessidade de incorporar classificações voltadas aos rios e sistemas fluviais vem sendo defendida pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (SBCR) (BOTELHO e PELECH, 2019; IBGE, 2020a), que reúne especialistas no tema com o objetivo de organizar, de forma categórica, hierárquica e multiescalar, uma taxonomia representativa da diversidade de formas do relevo brasileiro. Nesse sentido, ressalta-se que raramente as classificações geomorfológicas de rios têm sido utilizadas em ambientes urbanos, sinalizando uma necessidade de mais estudos com esta abordagem. Isto tem sido levado em consideração no processo construção do SBCR, através de grupos de trabalho que discutem as classificações de rios e as classificações tecnogênicas.

Neste contexto, considerando a importância de elaborar estudos que contribuam para o avanço dos conhecimentos sobre o papel da urbanização na modificação dos processos geomorfológicos fluviais em diferentes domínios geomorfológicos brasileiros, apresentamos no presente trabalho uma aplicação da metodologia dos Estilos de Rios (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; FRYIRS e BRIERLEY, 2018) na caracterização das formas, processos e funcionamento dos rios em uma região montanhosa urbanizada do Sudeste do Brasil.

A bacia hidrográfica do rio Quitandinha, localizada na Serra dos Órgãos, no estado do Rio de Janeiro, constitui a área selecionada para estudo, abrangendo parte da cidade de Petrópolis, em cujo sítio urbano têm sido documentados frequentes problemas relacionados a enchentes e deslizamentos que afetam diretamente as populações que ocupam as áreas dos fundos de vale e suas encostas. Destaca-se que em fevereiro e março do ano de 2022 dois eventos extremos de chuva provocaram perda de centenas de vidas humanas, além de grandes danos para a cidade. Assim, considerando que a ocupação urbana tem levado a modificações nas características dos rios desta bacia, tanto por intervenções diretas nos canais e suas margens como nas planícies e morfologias adjacentes, foi realizado o mapeamento das feições geomorfológicas de fundos de vale utilizando a taxonomia proposta por Wheaton et al. (2015), e identificados os estilos fluviais com base no arcabouço teórico-metodológico apresentado por Brierley e Fryirs (2005) e Fryirs e Brierley (2018), analisando-se, com base neste arcabouço, as alterações geomorfológicas e suas implicações para a diversidade de habitats fluviais. A produção destas bases e informações podem contribuir ainda para a identificação de condições geomorfológicas mais favoráveis à reabilitação dos rios na bacia hidrográfica do rio Quitandinha.

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Quitandinha tem aproximadamente 23 km<sup>2</sup> de extensão, estando totalmente inserida no município de Petrópolis, situado na Região Serrana do estado do Rio de

Janeiro (Figura 1). A bacia se situa na zona Tropical Brasil Central, de característica super úmida, com temperatura média entre 15°C e 18°C (entre 10°C e 15°C numa pequena porção) em pelo menos 1 mês do ano (IBGE, 2002), estando inserida no Bioma Mata Atlântica. A precipitação média anual da bacia oscila entorno de 1500 e 2000 mm anuais (CPRM, 2011). O município de Petrópolis possui 791,144 km<sup>2</sup>, fazendo parte da região de influência da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), possuindo 306.678 habitantes (IBGE, 2020b).

O rio Quitandinha é afluente direto do Rio Piabanha, tributário do Rio Paraíba do Sul no seu médio curso. Os terrenos desta bacia hidrográfica se encontram acima de 800m de altitude, havendo trechos que ultrapassam 1500 m de altitude, na porção leste da bacia, onde nasce o rio Palanado<sup>1</sup>, principal afluente do rio Quitandinha (Figura 2). Observa-se que a expansão da malha urbana se dá principalmente pelos fundos de vales fluviais e terrenos menos elevados, estando grande parte dos vales fluviais entre as cotas altimétricas 800 e 900 m, excetuando-se a porção leste da bacia, como citado. Os fundos de vale possuem em geral declividades inferiores a 10° e as encostas apresentam declividades superiores a 20°, sendo muito expressiva a existência de segmentos de encostas com declividades superiores a 45° (Figura 3).

A bacia está inserida na Unidade Geomorfológica Serras dos Órgãos, que se caracteriza por feições de relevo com alta declividade, vales profundos, escarpadas e com forte controle estrutural (IBGE, 2019), estando os vales dos rios Quitandinha e Palanado marcadamente controlados por fraturas do substrato gnáissico e granítico (Figura 4). Observa-se um forte controle das fraturas de direção NE-SW e NW-SE no padrão de drenagem retilíneo de grande parte dos rios Quitandinha e Palanado, assim como no alinhamento de vales e encostas da bacia hidrográfica. Estando situada no reverso da escarpa da Serra dos Órgãos (Serra do Mar), representada pela feição de 'escarpa adaptada à falha', com a frente voltada para sul, a bacia do Quitandinha tem seu limite sul controlado pelo recuo da escarpa (para norte). É possível observar que, em meio aos modelados com aprofundamento das incisões de médio (100 a 150 m) para forte (150 a 200 m), a zona fraturada apresenta o relevo mais rebaixado, com aprofundamento até 100 m, em geral (Figura 5), o que sugere um papel importante destes fraturamentos, junto com os controles litológicos, na diferenciação da denudação regional.

Os perfis longitudinais apontam uma grande diferença da região de cabeceira entre os rios Quitandinha e Palanado (Figura 6). Este último tem suas nascentes em altitudes que superam 1500 m, associadas a uma alta declividade, o que se reflete em sua elevada energia (*stream power*), que, por sua vez, influencia as assembleias de unidades geomórficas fluviais (*geomorphic units*) aí encontradas.

---

<sup>1</sup> O nome do Rio Palanado provém da base cartográfica do IBGE (2018), porém este também é reconhecido como Rio Palatino (REIMARUS, 1854).

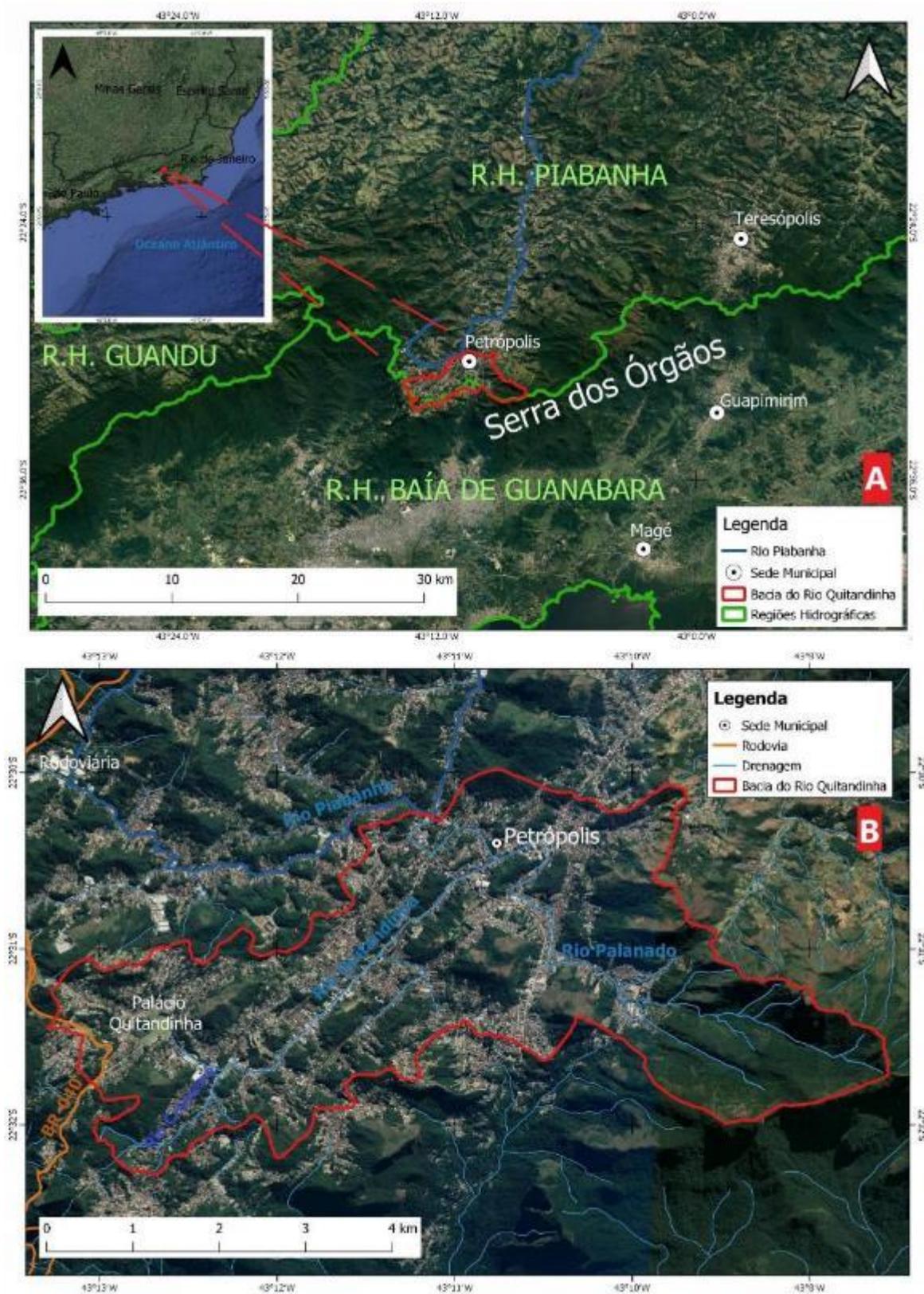


Figura 1: A: Localização da área de estudo na Serra dos Órgãos, no estado do Rio de Janeiro, no limite das regiões hidrográficas Piabanha e Baía de Guanabara. B: Bacia hidrográfica do rio Quitandinha na cidade de Petrópolis (RJ).

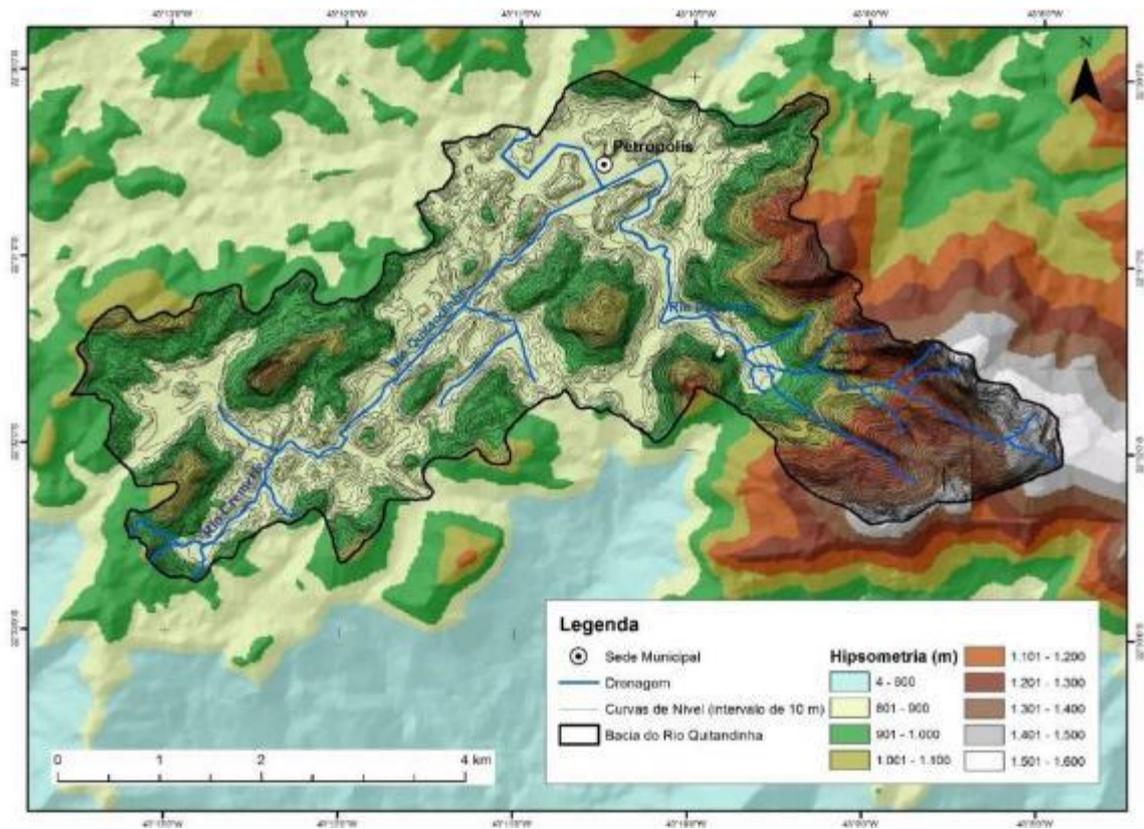


Figura 2: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio Quitandinha, Petrópolis (RJ). Fonte dos dados: IBGE (2018).

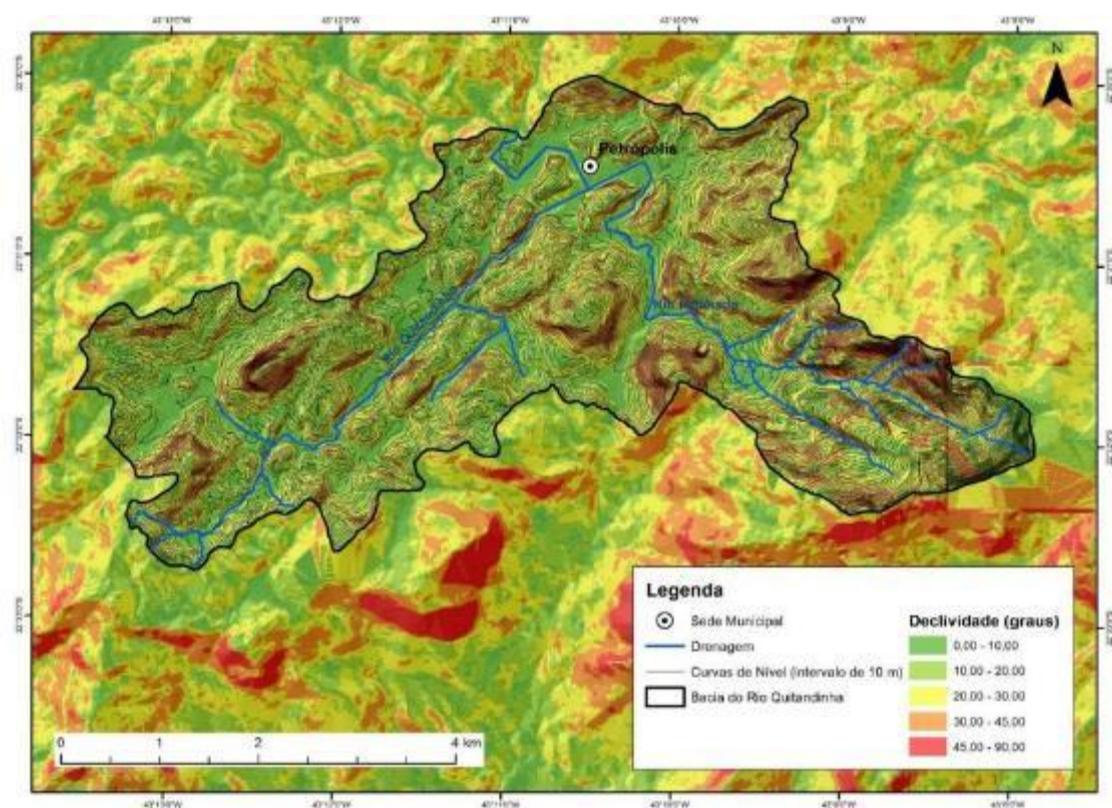


Figura 3: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio Quitandinha, Petrópolis (RJ). Fonte dos dados: IBGE (2018).

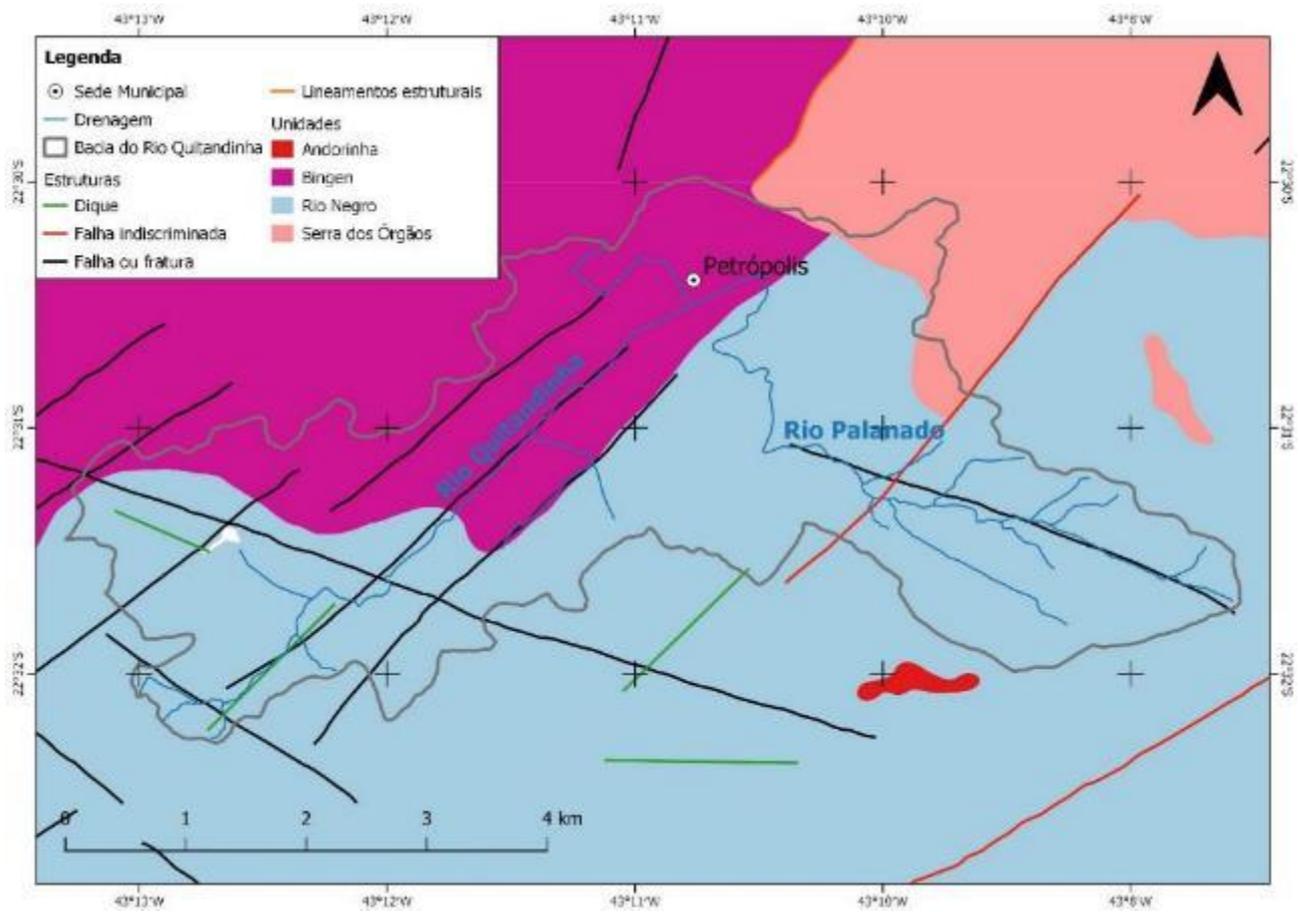


Figura 4: Geologia da bacia hidrográfica do Rio Quitandinha (Petrópolis, RJ), segundo mapeamento realizado pelo CPRM (2009) na escala 1:100.000. Unidades geológicas presentes na área da bacia hidrográfica: **Bingen** (Complexo Rio Negro) - Microclina oligoglásio-andesina biotita-gnaisses graníticos homogêneos, de cor cinza claro, de granulometria média a grossa e foliação moderada a ausente, e textura equigranular gradando para fácies glomeroporfíricas. **Rio Negro** (Complexo Rio Negro) - Quartzo-plagioclásio-biotita gnaisses mesocráticos de composição quartzo diorítica a diorítica, intensamente deformados e migmatizados, de espectro geralmente bandado; ortoclásio (microclina)-quartzo gnaisses acinzentados de composição granodiorítica; rochas anfibolíticas. **Serra dos Órgãos** (Suíte Serra dos Órgãos) - biotita hornblenda ortognaisses graníticos a granodioríticos foliados a relativamente homogêneos, de granulação grossa, cor branca a cinza claro, e estrutura equigranular a levemente porfírica, geralmente pouco foliada.

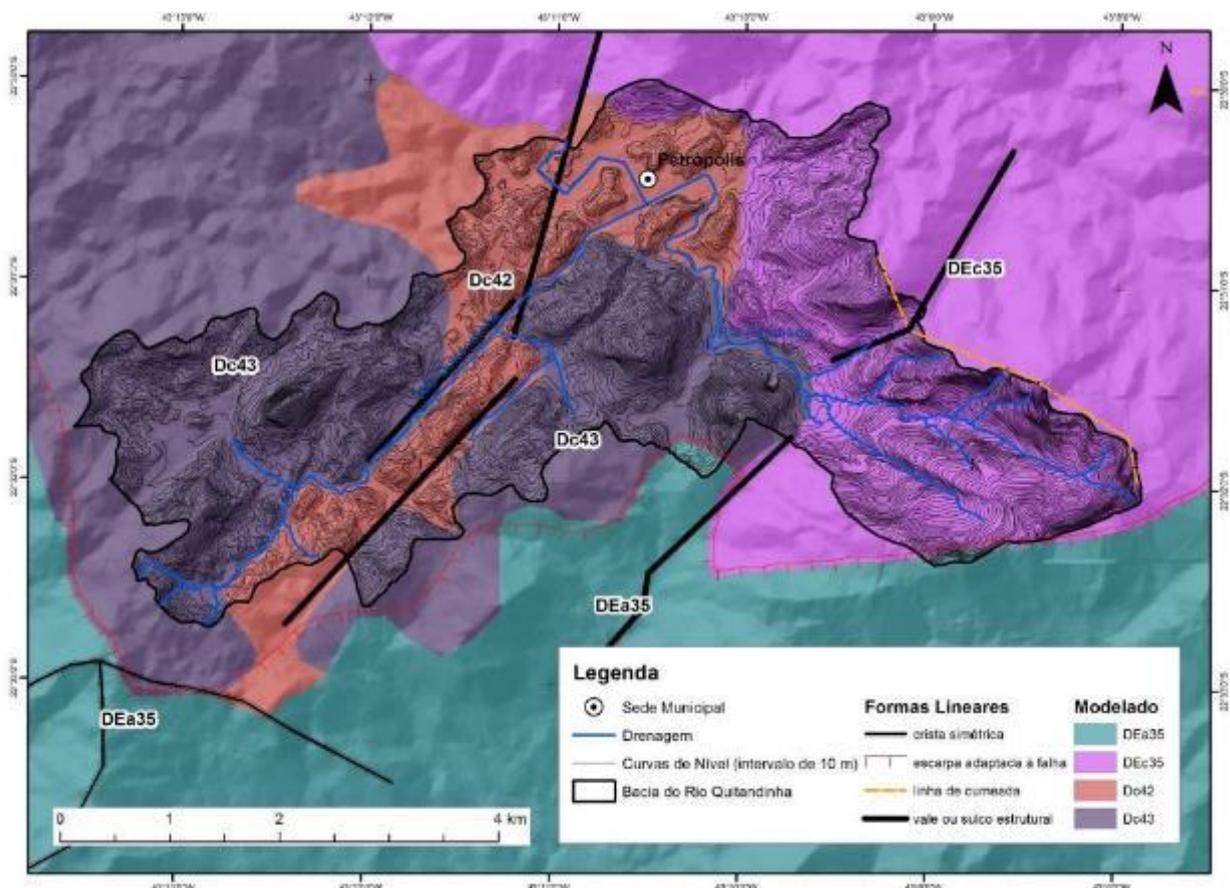


Figura 5: Modelados (padrões de forma de relevo) do mapeamento geomorfológico realizado por IBGE (2016) na escala 1:250.000. *DEa35*: dissecação estrutural de topo aguçado, densidade de drenagem (*dd*) média e aprofundamento das incisões (*ai*) muito forte; *DEc35*: dissecação estrutural de topo convexo, *dd* média e *ai* muito forte; *Dc42*: dissecação homogênea de topo convexo, *dd* fina e *ai* fraco; *Dc43*: dissecação homogênea de topo convexo, *dd* fina e *ai* médio.

Modificações com o processo de ocupação e expansão urbana são documentadas desde meados do século XIX em grande parte dos canais fluviais desta área (Figura 6). A configuração da “cidade imperial”, o estímulo ao assentamento de descendentes europeus no local, e o posterior crescimento industrial fizeram com que a cidade, mesmo apresentando o traçado dos lotes das ruas na área de entorno da confluência dos rios Quitandinha e Palanado (ou Palatino), acompanhando os eixos dos vales fluviais, reduzisse significativamente as áreas necessárias para a atuação dinâmica dos rios nos canais e planícies de inundação (Figura 7), como atestam os trabalhos de Santos et al. (2019) e Lima et al. (2020).

Atualmente verifica-se o predomínio de áreas edificadas isolando fragmentos florestais situados nos topos de morros e montanhas em todo o setor central e sudoeste da bacia (Figura 8), sendo nas cabeceiras do rio Palanado, onde as altitudes são mais elevadas, como já destacado, que ocorre a maior extensão da cobertura florestal presente na bacia, associada também às maiores extensões das áreas de afloramentos rochosos e dos campos de altitude. Nas áreas edificadas, observa-se que os rios apresentam variados graus de modificação das suas margens e/ou leitos devido às estradas e instalação de equipamentos urbanos.



Figura 6: **A**: Retificação dos rios Quitandinha e Palanado (Palatino), no centro da cidade de Petrópolis (RJ), já no século XIX (ilustração de REIMARUS, 1859); **B**: Impermeabilização do terreno pela pavimentação das ruas e edificações, observada na imagem do mesmo local pelo Google Street View (fotografia de 2017).



Figura 7: Planta da “Imperial Colônia de Petrópolis” elaborada por Otto Reimarus (REIMARUS, 1854).

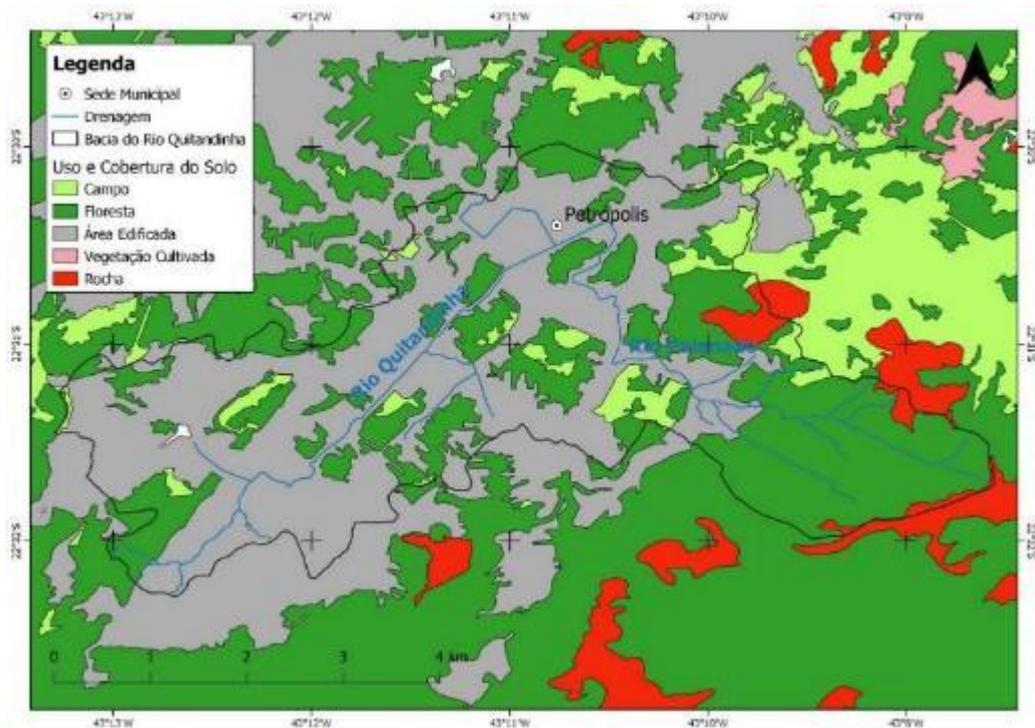


Figura 8: Recorte do mapa de uso e cobertura do solo produzido pelo IBGE (2018), para a área que abrange a bacia hidrográfica do Rio Quitandinha.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### MAPEAMENTO DE FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS FLUVIAIS

O mapeamento de feições geomorfológicas fluviais possui natureza multiescalar, abrangendo a identificação e interpretação de diferentes elementos, a depender da escala que dá visibilidade ao fenômeno observado. Para o presente estudo, utilizamos três importantes fontes de dados, que estão associadas a escalas cartográficas específicas: (a) a base cartográfica na escala 1:25.000 do estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2018), escolhida por constituir a melhor resolução espacial disponível que cobre todo o estado fluminense; (b) imagens de satélite dos aplicativos Google Earth e Google Maps; e (c) fotografias do aplicativo Google Street View. O mapeamento realizado com estes insumos seguiu as orientações apresentadas em Wheaton et al. (2015) para a identificação das feições geomorfológicas fluviais, assim como a metodologia de Brierley e Fryirs (2000; 2005) para identificação de estilos fluviais ou estilos de rios (River Styles).

Na estrutura de mapeamento de morfologias fluviais apresentada por Wheaton et al. (2015), a primeira etapa abrange a identificação dos tipos de margens fluviais. Segundo estes autores, uma margem representa uma borda ou limite entre áreas distintas dentro de uma configuração de vale em uma paisagem fluvial. As margens podem ser uma expressão da forma do rio e também restringir o seu comportamento. Há três tipos de margens fluviais naturais, segundo Wheaton et al. (2015): margem do canal; margem do fundo de vale; e margem do vale (Figura 9). As margens do canal são definidas pelo nível de margens cheias do rio que corresponde ao nível máximo da água na calha fluvial, que limita a condição de extravasamento do fluxo para a planície de inundação (este nível corresponde à linha tracejada '=BF' na Figura 9). As margens do fundo de vale são definidas pelo limite da planície de inundação. As margens do vale correspondem ao limite do vale fluvial com a encosta, estando nele incluídos a planície, os terraços fluviais, os leques e outras unidades geomórficas. É importante salientar que os termos "fundo de vale" e "vale", definidos por Wheaton et al. (2015), correspondem à planície aluvial e ao vale fluvial, respectivamente, segundo definições de Stevaux e Latrubesse (2017).

Já as margens fluviais antropogênicas tendem a modificar as características e o comportamento dos canais fluviais, sendo, portanto, tão relevantes quanto as margens naturais, principalmente em ambientes urbanos. No presente estudo, as margens fluviais antropogênicas constituídas por aterros, diques construídos, muros, rodovias, ferrovias ou outros tipos de edificações foram identificadas através do Modelo Digital de Elevação (MDE) que consta na base cartográfica na escala 1:25.000 mencionada (IBGE, 2018), e das imagens de satélite dos aplicativos Google Earth e Google Maps.

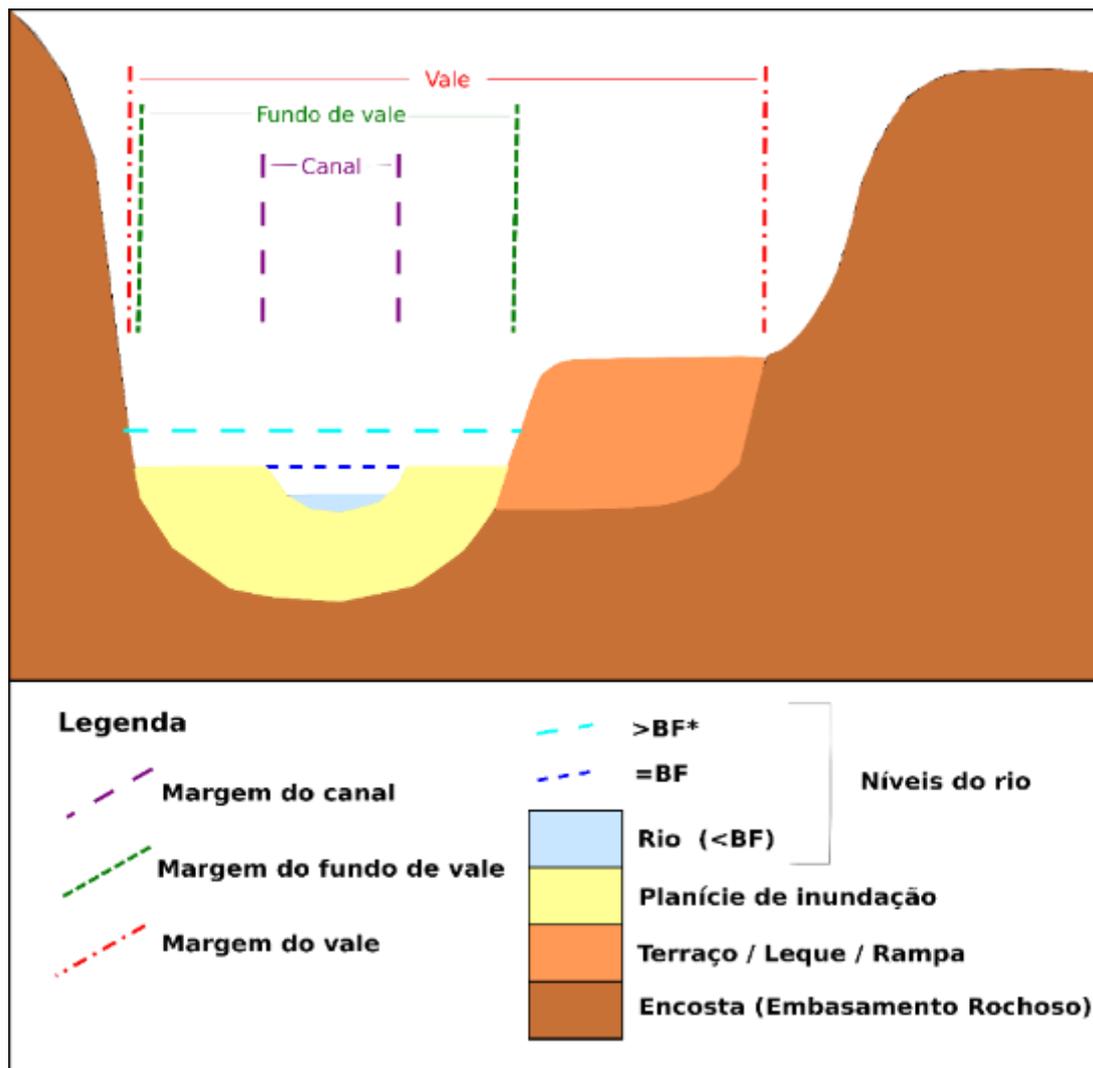


Figura 9: Desenho esquemático e hipotético de perfil transversal de um rio mostrando os diferentes tipos de margens fluviais naturais e algumas unidades geomorfológicas (correspondentes ao 1º nível classificatório exposto no Quadro 1), conforme orientações de Wheaton et al. (2015). \*BF - *Bankfull stage* (nível do canal com margens cheias ou “plenas”). Explicações ao longo do texto.

A metodologia abarca, em seguida, a identificação de elementos estruturais, isto é, objetos discretos que influenciam diretamente a hidráulica fluvial e, secundariamente, podem condicionar a existência e as características das unidades geomórficas (*geomorphic units*) (Wheaton et al. 2015). Elementos estruturais podem ter origem natural (tais como matacões, afloramento rochoso ou detritos grandes de madeira, como troncos de árvores) ou ter origem antropogênica (como pilares de ponte e revestimento de margens). Para a proposta do presente trabalho, os elementos estruturais não foram objeto de representação por configurarem feições de grande detalhe que requerem detalhada varredura ao longo dos rios, assim como bases cartográficas compatíveis, e por não influenciarem na definição dos estilos fluviais (como será explicado posteriormente).

Para a identificação das unidades geomórficas (*geomorphic units*), que na metodologia adotada são concebidas como “blocos” ou “unidades elementares” de construção da morfologia e do funcionamento dos rios, representando uma associação específica de formas e processos de

erosão e sedimentação ocorridos ou em operação (FRYIRS e BRIERLEY, 2013), Wheaton et al. (2015) apresentam uma taxonomia com quatro níveis distintos (da maior feição para a menor, respectivamente): posição vertical; forma; morfologia específica; e subcategorias morfológicas (ver Quadro 1 e Figura 10).

Nesta identificação, o nível 1 (posição vertical) trata das maiores feições dentro do escopo das unidades geomórficas, tais como planícies, terraços e leques. A identificação destas feições está ligada ao nível de margens cheias do rio e às margens fluviais, conforme apresentado na figura 9. No que se refere às posições verticais, reconhece-se, do mais baixo ao mais alto: o próprio canal (abaixo do nível de margens cheias); a planície de inundação ativa (acima do nível das margens cheias); as feições intermediárias (terraços, leques, rampas de colúvio, etc.), situadas acima da margem do fundo de vale; e a encosta (área acima da margem do vale). No presente trabalho o nível 1 foi mapeado utilizando-se o MDE de IBGE (2018) e as imagens de satélite dos aplicativos Google Earth e Google Maps.

Já para o nível 2 (forma) seria necessário identificar se a unidade é plana, côncava ou convexa, não tendo sido considerado neste estudo devido à intensa modificação da superfície do terreno em razão das edificações e equipamentos urbanos e à inexistência de um MDE compatível com a escala das categorias deste nível de análise.

O nível 3 (morfologia específica) trata das unidades menores que correspondem a formas fluviais específicas ligadas a processos reconhecidos e que podem estar localizadas dentro ou fora do canal. Alguns exemplos de feições reconhecidas no nível 3 são ilhas, barras, rápidos (*rapids*) e cascatas (*cascades*), dentre outras (Quadro 1; Figura 10). Fryirs e Brierley (2013) apresentam estas unidades geomórficas intracanaís em um contínuo longitudinal (acompanhando o perfil longitudinal dos rios), distinguindo-as em grupos que levam em consideração a energia, a declividade, a granulometria, o suprimento sedimentar e algumas características específicas (Quadro 2): unidades de embasamento rochoso e matações erodidos e entalhados (*sculpted, erosional bedrock and boulder units*); unidades deposicionais de meio de canal (*mid-channel, depositional units*); unidades deposicionais anexadas à margem (*bank-attached, depositional units*); e unidades de granulometria fina erodidas e entalhadas (*sculpted, erosional fine-grained units*). Para a identificação das unidades neste nível, utilizou-se o software Google Street View, que apresenta fotografias obtidas em percursos por estradas e rodovias, em diferentes datas, além de reconhecimentos de campo.

Quadro 1: Unidades geomórficas reconhecidas na área externa e dentro do canal fluvial, tendo como referência o nível do fluxo de margens cheias ou margens plenas, identificado como BF (*Bankfull Flow/stage*, segundo Wheaton et al., 2015). (Traduzido e modificado de WHEATON et al., 2015).

Localização	Níveis Taxonômicos		
	Nível 1 (Situação Vertical)	Nível 2 (Forma)	Nível 3 (Morfologia específica)
Fora do Canal (>BF*)	Encosta (Hillslope or Upland)	Côncava	
		Convexa	
		Plana	
	Terraço	Côncava	Paleocanal
		Plana	Terraço aluvial Terraço de erosão (strath terrace)
	Leque	Côncava	Canal de leque Leque aluvial
		Convexa	Leque de detritos (debris fan)
			Encosta de tálus
	Rampa	Variada	Rampa de colúvio Tálus
	Planície de inundação ativa	Côncava	Área úmida de planície / Pântano (Backswamp)
			Corte de calha de retrabalhamento (Chute cutoff)
			Canal de inundação (Flood channel)
			Meandro abandonado (Meander cutoff)
			Paleocanal
			Canal secundário
		Convexa	Vala (Swale)
			Leque de arrombamento (Crevasse splay)
			Lobos de inundação (Floodout)
			Ilha
		Plana	Dique (Levee)
			Crista (Ridge)
			Planície de inundação
			Lençol (Sheet)
Preenchimento de vale (Valley fill)			
Dentro do canal (<BF*)	Canal	Barra de matacões	
		Barra composta	
		Barra de confluência	
		Barra diagonal	
		Barra de expansão	
		Barra lateral	
		Barra longitudinal	
		Barra em pontal	
		Barra em espiral (Scroll bar)	
		Crista (Ridge)	
		Banco raso (Riffle)	
		Degrau (step)	
		Plana	Degrau deposicional de margem (Bench)
			Degrau erosivo de margem (Ledge)
			Lençol arenoso (Sand sheet)
			Corrida (Run)
			Rápido (Rapid)
		Côncava	Cascata (Cascade)
	Degrau (step)		
	Poço		
	Remanso (Backwater)		
	Poço forçado por barra (Bar-forced pool)		
		Calha de retrabalhamento (Chute)	
Poço de confluência (Confluence pool)			
Poço represado (Dammed pool)			
Poço de queda d'água (Plunge pool)			

Nota: A manutenção de alguns termos em inglês visa a remissão aos significados originais, tendo em vista a variedade de traduções presentes atualmente na literatura nacional.

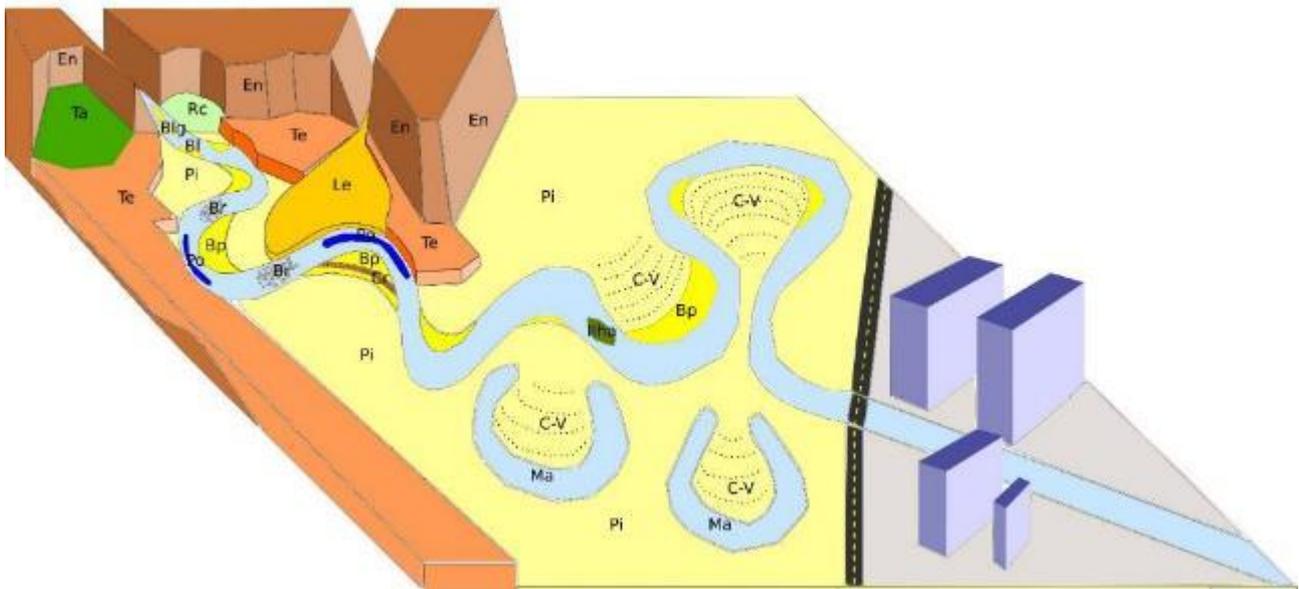


Figura 10: Bloco esquemático com exemplos de unidades geomórficas dos níveis 1 e 3 (ver Quadro 1) da metodologia apresentada por Wheaton et al. (2015). Observar que está sendo utilizado o mesmo padrão de cores empregado na Figura 9 para identificar áreas delimitadas pelos diferentes tipos de margens. Legenda: 1º nível : En - encosta; Pi – planície de inundação; Te – terraço; Le – leque Rc – rampa de colúvio; Ta – tálus; 3º nível: Blg – barra longitudinal; Bl – barra lateral; Bp – barra em pontal; Br – banco raso (*riffle*); Po – poço; Cr – calha de retrabalhamento (*chute*); ilha – ilha fluvial; C-V – crista e vala (*ridge and swale*). As unidades geomórficas do nível 3 podem ser analisadas através de uma gradação do ambiente de alta energia para baixa energia em um sistema fluvial (ver Quadro 2). No trecho à direita do bloco esquemático, estão indicadas modificações frequentes nos canais e planícies de inundação, em áreas urbanas.

Quadro 2: Diferenciação longitudinal das unidades geomórficas intracanalais, refletindo características locais de energia, declividade, granulometria predominante do leito, suprimento sedimentar e presença de obstruções ao fluxo (*forcing features*). No quadro, estas variáveis tendem a decrescer, do ambiente de alta energia para os de baixa energia. (Traduzido de FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

Característica do ambiente	Unidade Geomórfica (Intracanal)	Grupo
Alta energia; Forte declividade; Embasamento rochoso, matacão, bloco.	Queda d'água (cachoeira)	Unidades de embasamento rochoso e matacões erodidos e entalhados
	Degrau-poço	
	Cascata	
	Rápido	
	Banco raso	
	Corrida	
Canais de competência e capacidade limitadas; Média energia; Moderada declividade; Cascalho e areia.	Massa de blocos (boulder mound)	Unidades deposicionais de meio de canal
	Barra longitudinal	
	Barra diagonal	
	Barra transversal	
Baixa carga sedimentar; Baixa energia; Baixa declividade; Cascalho e areia.	Barra lateral	Unidades deposicionais anexas à margem
	Barra em pontal	
Carga suspensa; Baixa energia; Baixa declividade; Silte e argila	Poço de lavagem (scour pool)	Unidades de granulometria fina erodidas e entalhadas
	Barra lateral	
	Degrau erosivo de margem	

Considerando a grande expressividade das feições de rampas de colúvio no Sudeste brasileiro (com ampla bibliografia sobre sua formação e mapeamento, como por exemplo Moura e Silva, 1998) esta terminologia foi incorporada ao mapeamento das unidades geomórficas (Quadro 1). A nomenclatura e alguns padrões de cores também foram orientados pelo Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009).

O nível 4 (subcategorias morfológicas) se baseia nas características sedimentológicas e nas vegetações associadas. Segundo Wheaton et al. (2015), estes atributos não definem uma unidade geomórfica, mas às vezes são úteis para distinguir que tais morfologias ocorrem sob variadas condições de fluxo de energia e frequências de inundação. O método proposto pelos autores exige levantamento de campo mais profundo, além de obtenção de dados espaciais com melhor resolução espacial. Assim, o presente estudo não abordou este nível taxonômico. Contudo, ressalta-se que uma descrição genérica da granulometria do leito do rio foi realizada para a definição dos estilos fluviais, conforme exposto no próximo item.

## IDENTIFICAÇÃO DOS ESTILOS FLUVIAIS

A definição dos estilos fluviais seguiu os procedimentos apresentados em Brierley e Fryirs (2005) e Fryirs e Brierley (2018). A metodologia *River Styles*<sup>®</sup> compreende conjuntos estruturados de procedimentos com a finalidade integrar o entendimento geomorfológico, na escala da bacia hidrográfica, das formas fluviais, processos e associações (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). A definição dos estilos fluviais consiste na primeira etapa desta metodologia, e engloba a obtenção de informações sobre o grau e o tipo de confinamento do rio; a forma do rio em planta (número de canais, sinuosidade, restrição e estabilidade lateral), a identificação e mapeamento das unidades geomórficas internas ao canal e externas, e identificação da granulometria predominante dos materiais do leito do canal fluvial (Figura 11).

O grau de confinamento do rio, conforme orientações Fryirs e Brierley (2005), Wheaton et al. (2015) e Fryirs et al. (2016), avalia a proporção em que a margem do canal atinge as margens do vale ou do fundo do vale (Figura 9), definindo-se assim vales confinados, vales parcialmente confinados (controlados pela margem ou controlados pela forma em planta) e lateralmente não-confinados (Figuras 11 e 12). O grau de confinamento do rio é o primeiro parâmetro para identificação do estilo fluvial, sendo verificados em seguida os tipos de controle de margem, a forma em planta dos canais, as assembleias de unidades geomórficas e a granulometria dos materiais do leito fluvial.

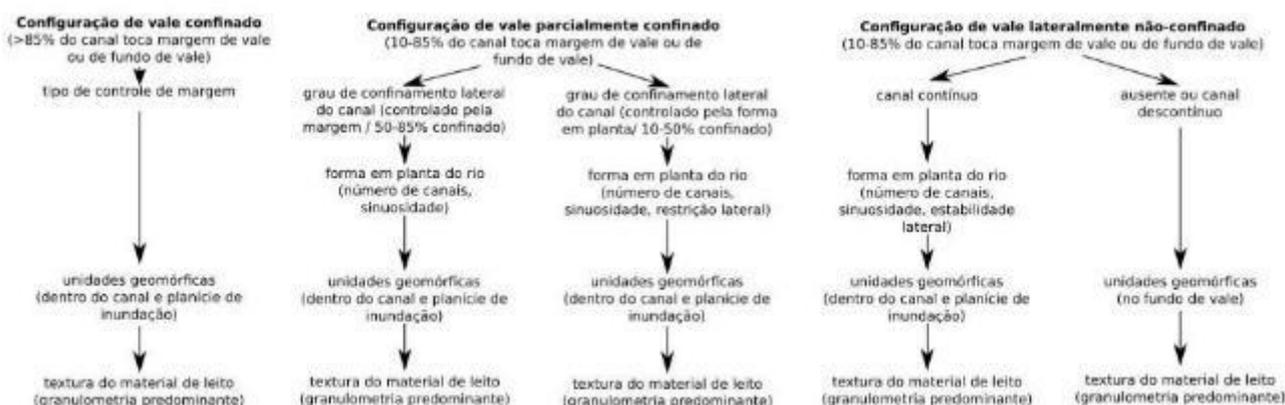


Figura 11: Estrutura de identificação dos diferentes estilos de rios dentro do espectro da diversidade fluvial (Traduzido e modificado de FRYIRS e BRIERLEY, 2018).

Como a bacia do Rio Quitandinha possui um caráter predominantemente urbano, foram consideradas também aquelas feições de origem antropogênica para a qualificação dos tipos de margem. Deste modo, consegue-se representar as margens antropogênicas como feições que podem condicionar o comportamento do rio (Figura 12), conforme procedimentos encontrados em Fryirs e Brierley (2018).

Todas estas etapas de estudo utilizam como insumos o MDE na escala 1:25.000 (IBGE, 2018), imagens de satélite do *software* Google Earth e as fotografias do aplicativo Google Street View, bem como informações obtidas em reconhecimentos de campo.

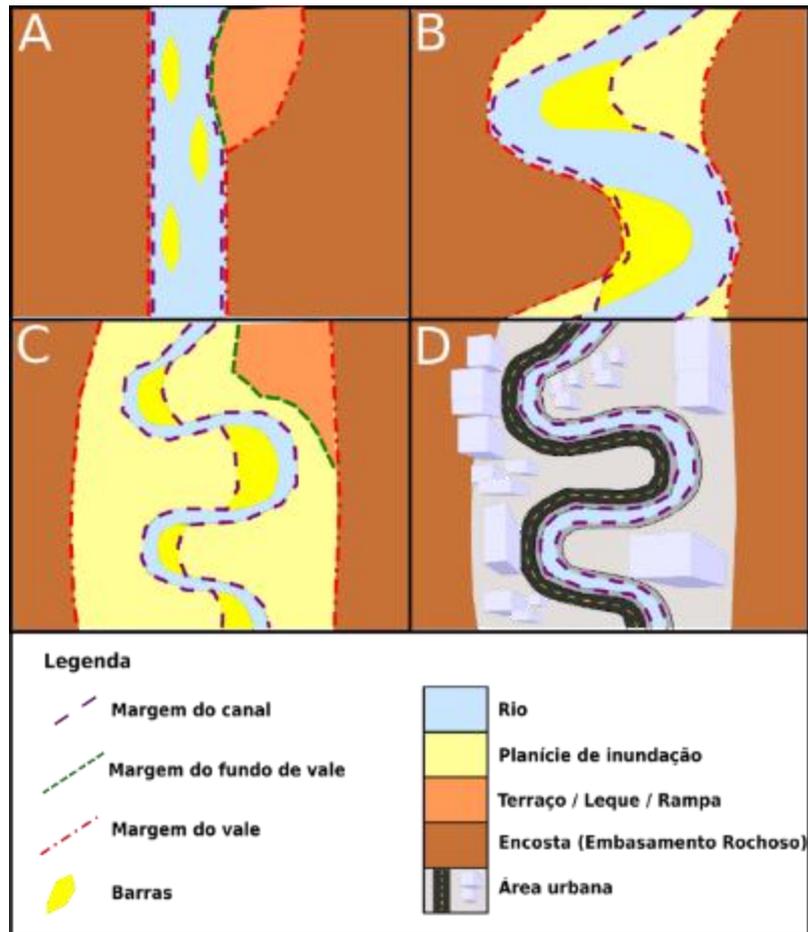


Figura 12: Tipos de confinamento do rio em relação ao seu vale (ver também Figura 10). A: rio confinado; B: rio parcialmente confinado; C: rio lateralmente não confinado; D: rio confinado por margens antropogênicas. Para atribuição do grau de confinamento é fundamental que se identifique todas as margens fluviais naturais (Figura 9) e antropogênicas para, em seguida, avaliar a proporção em que a margem do canal atinge as margens do vale ou do fundo do vale (ver Figura 11). É importante ressaltar que as unidades geomórficas intracanaís (como as barras fluviais) fazem parte do canal fluvial (ver Quadro 1).

## AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS GEOMORFOLÓGICAS

Para avaliação das mudanças geomorfológicas ocorridas na bacia foi realizada uma análise qualitativa subjetiva com base na interpretação da modificação dos canais, diante da expansão urbana histórica. Para isso, elaborou-se uma estimativa confinamento original (anterior à ocupação urbana) com base no tamanho das planícies de inundação existentes (assume-se que quanto maior a largura das planícies, maior a possibilidade do rio não estar confinado em seu vale), com base na metodologia Brierley e Fryirs (2005) e Fryirs e Brierley (2018), descrita no item anterior.

Posteriormente, realizou-se uma análise das condições geomorfológicas e ecológicas da bacia, a partir da interpretação das mudanças ocorridas nos canais (estimados pelas mudanças de estilos fluviais) relacionadas aos principais problemas ambientais da bacia, decorrentes do processo de urbanização.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### UNIDADES GEOMÓRFICAS DE VALE FLUVIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO QUITANDINHA

As unidades geomórficas relacionadas ao nível 1 da taxonomia de mapeamento de formas fluviais - prevista em Wheaton et al. (2015) (ver Quadro 1) - identificadas na bacia hidrográfica do rio Quitandinha foram: planície de inundação, rampa de colúvio e tálus (Figura 13). Este último se apresenta consorciado a trechos colúviais.

O canal fluvial e a planície de inundação ativa configuram o fundo de vale, conforme Wheaton et al. (2015) e Fryirs et al. (2016), sendo as rampas e tálus importantes feições geomorfológicas presentes nos vales que exercem frequentemente papel de confinamento do canal (Figuras 14 e 15).

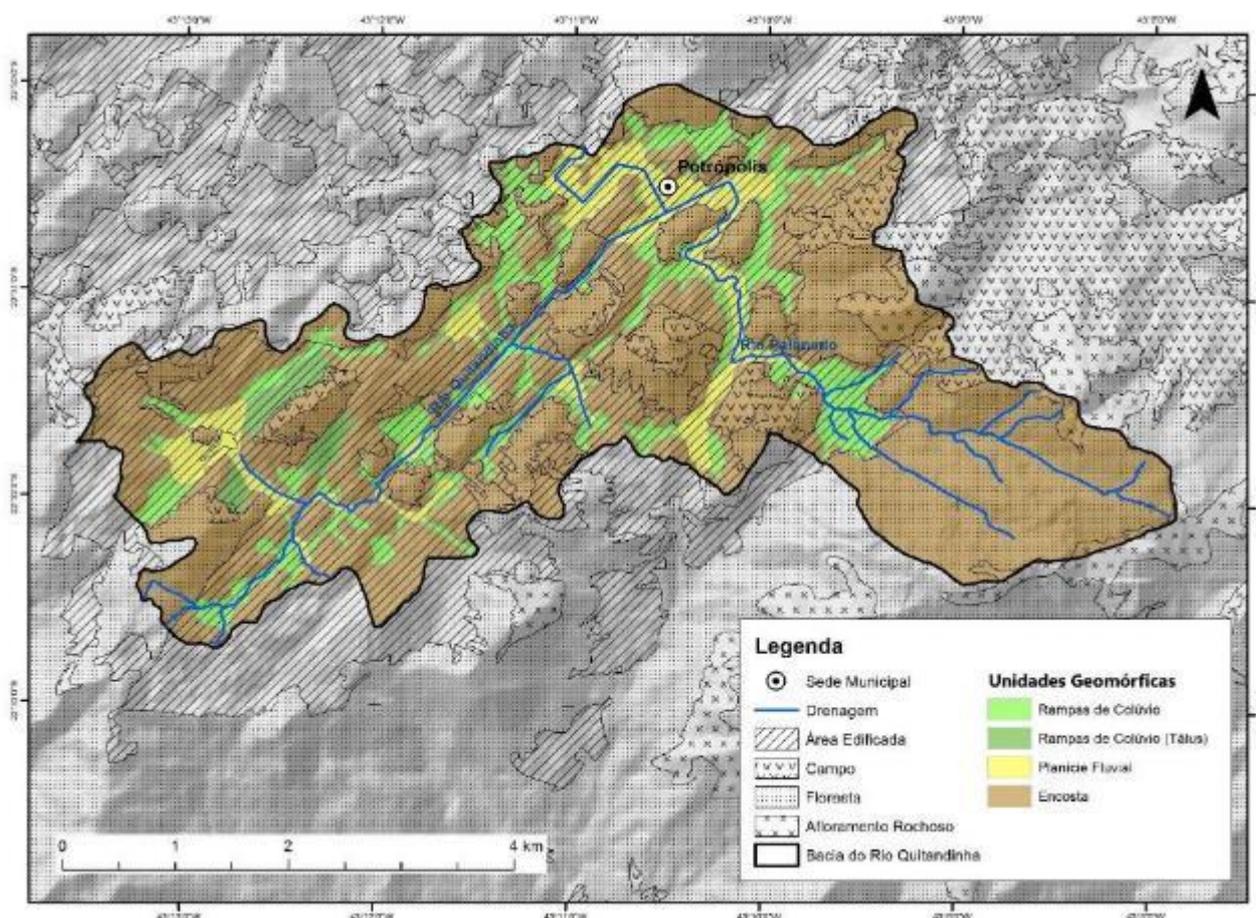


Figura 13: Mapa de unidades geomórficas de vale fluvial (nível 1; ver Quadro 1) identificadas na bacia hidrográfica do rio Quitandinha, Petrópolis (RJ). Os canais fluviais e a planície de inundação compõem o fundo de vale (ver Figura 9). As rampas de colúvio e os tálus são encontrados em situação topográfica superior à da planície de inundação, mas ainda no ambiente de vale. Os tálus são feições deposicionais de origem colúviais que contém frações granulométricas grosseiras e costumam ocorrer em áreas mais declivosas, porém associados às rampas de colúvio. Nota-se que boa parte da bacia apresenta áreas edificadas, conforme as classes de cobertura e uso da terra do IBGE (2018).



Figura 14: Transições entre encosta, tálus e planície de inundação em localidade próxima ao Palácio Quitandinha. Neste trecho a planície de inundação e o tálus estão ocupados por edificações e estradas pavimentadas, e a encosta apresenta afloramentos rochosos na forma de escarpa. O limite entre a planície de inundação e o tálus é a margem do fundo de vale, enquanto o limite entre o tálus e a encosta é margem do vale. Fotografia do Google Street View (abril de 2019).



Figura 15 – Trecho que mostra transição entre encosta, rampa de colúvio (Rc) e planície de inundação (Pi). A rampa de colúvio ocorre em áreas com menor declividade que as de tálus. Nota-se que a feição de rampa mergulha em direção à planície de inundação (em trecho da Rua Coronel Veiga, por onde passa o Rio Quitandinha). As edificações urbanas dominam grande parte do vale, ocupando planícies e rampas, e também trechos significativos das encostas, que localizadamente apresentam áreas florestadas. M.v.: margem do vale; M.f.v.: margem do fundo de vale. Fotografia do Google Street View (abril 2019).

As feições deposicionais planícies e rampas, devido à sua conformação geométrica e menor gradiente, estão dispostas com frequência em clara ruptura de declive com as encostas (margem do vale). Nota-se que as áreas edificadas (Figuras 14 e 15), apesar de também estarem situadas em áreas de encosta, privilegiaram historicamente o vale fluvial. Destaca-se que a sede municipal (centro) da cidade de Petrópolis está assentada, por exemplo, sobre a mais extensa feição de planície da bacia. A maioria dos remanescentes florestais e áreas de afloramentos rochosos se encontram nas porções mais elevadas das áreas de encosta.

É possível observar, também, pelos mapeamentos executados, que as planícies de inundação estão ausentes ou pouco desenvolvidas nas áreas com presença mais expressiva dos sistemas de fraturas do embasamento rochoso (ver Figura 4). No extremo leste da bacia, nas cabeceiras do rio Palanado, fortes declividades e desníveis altimétricos resultam na ausência de feições deposicionais como planícies ou rampas.

Foram reconhecidas treze unidades geomórficas compatíveis com o nível 3 (ver Quadro 1) relacionadas aos grupos 'Unidades de embasamento rochoso e matacões erodidos e entalhados', 'Unidades deposicionais de meio de canal' e 'Unidades deposicionais anexadas à margem', conforme Fryirs e Brierley (2013) (Quadro 3). Levando-se em consideração o contexto urbano da bacia, chama a atenção esta diversidade fluvial no ambiente intracanal. A análise das assembleias de unidades geomórficas é importante para a determinação do estilo fluvial, conforme se verá no próximo item. Não foram identificadas unidades geomórficas externas ao canal fluvial (isto é, na planície de inundação), devido à intensa modificação promovida pela ocupação urbana, reconhecendo-se o tecido urbano (e sua própria complexidade morfológica) sobre a morfologia das planícies.

Quadro 3: Unidades geomórficas intracanaís da bacia hidrográfica do Rio Quitandinha (ver Quadro 2 para comparações). Estas feições são condicionadas pela disponibilidade local de energia, declividade, granulometria e suprimento sedimentar (que apresentam tendência de decréscimo de cima para baixo no quadro).

<b>Unidade Geomórfica Intracanal</b>	<b>Grupo</b>
Degrau-poço	Unidades de embasamento rochoso e matacões erodidos e entalhados
Cascata	
Rápido	
Banco raso - poço ( <i>Riffle - pool</i> )	
Corrida	
Barra longitudinal	Unidades deposicionais de meio de canal
Lençol arenoso	
Calha de retrabalhamento ( <i>Chute</i> )	
Barra lateral	Unidades deposicionais anexadas à margem
Barra em espiral ( <i>Scroll bar</i> )	
barra em pontal composta	
barra em pontal	
Barra de confluência	

Nota-se que existe uma grande diferença na declividade (logo, também na energia do rio) nas regiões de cabeceira dos rios Quitandinha e Palanado (Figura 16). O perfil do Rio Palanado, na área de suas cabeceiras, favorece a existência de unidades geomórficas fluviais de ambientes de alta energia, tais como degrau - poço, cascatas e rápidos. Na transição das escarpas serranas para

o relevo de caráter planáltico (onde encontram-se morros, colinas, rampas e planícies) da área urbana de Petrópolis, verifica-se a diminuição da declividade do canal, influenciando no aparecimento de unidades geomórficas de meio do canal e anexadas à margem (ver Quadro 3).

Assim, tal qual o “continuum longitudinal” de unidades geomórficas intracanaís (Fryirs e Brierley, 2013), os resultados permitem observar uma nítida correspondência de variação da declividade do leito com a variação das unidades geomórficas e da composição granulométrica do leito, ou seja: em declividades altas os ambientes de alta energia propiciam o estabelecimento de unidades geomórficas intracanaís de granulometria grossa (rápidos, cascatas, corridas, etc.), e conforme a declividade se atenua, as unidades geomórficas passam a se anexar às margens (e.g., formando barras em pontal, barras laterais) e a granulometria diminui.

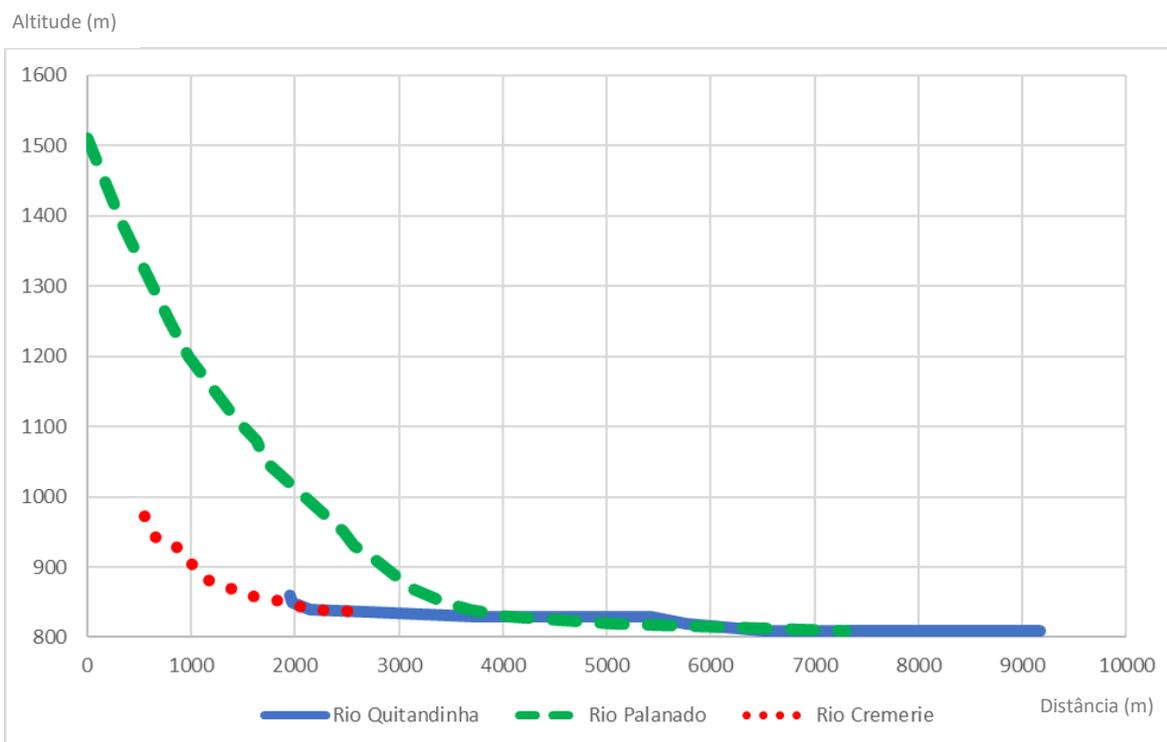


Figura 16: Perfis longitudinais dos rios Quitandinha, Palanado e Cremerie da Bacia Hidrográfica do Rio Quitandinha. Dados altimétricos de IBGE (2018). A declividade do canal associada à descarga fluvial compõe a energia da drenagem (*stream power*), que condiciona, em conjunto com a granulometria e o suprimento sedimentar, as unidades geomórficas encontradas ao longo de um rio (ver Quadro 3). As áreas de cabeceira dos rios Cremerie e Palanado apresentam forte declividade e ainda mantêm boa parte da cobertura florestal presente.

### Estilos Fluviais da Bacia Hidrográfica do rio Quitandinha

Foram reconhecidos oito estilos fluviais na bacia hidrográfica do rio Quitandinha, por meio da aplicação da metodologia de Brierley e Fryirs (2005) e Fryirs e Brierley (2018) (Figuras 17; Quadro 4): 1) *Confinado, controlado por margem em rampa de colúvio, cascata*; 2) *Confinado, controlado por margem de embasamento rochoso, garganta*; 3) *Confinado, controlado por margem*

de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito cascalhoso; 4) Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito de blocos; 5) Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito de matacões; 6) Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito arenoso; 7) Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito cascalhoso; 8) Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito de matacões.

A análise das assembleias de unidades geomórficas intracanaís (apresentadas no item anterior) em conjunto com o registro da granulometria predominante do leito em diferentes trechos de canal, possibilitaram a identificação e detalhamento dos estilos fluviais (Quadro 4).

Todos os rios analisados da bacia foram considerados confinados, tanto por margem antropogênica (rodovias), como por margem de rampas de colúvio e margem de embasamento rochoso. Estes dois últimos tipos (*Confinado, controlado por margem em rampa de colúvio, cascata* e *Confinado, controlado por margem de embasamento rochoso, garganta*) não estão inseridos na área urbana de Petrópolis, situando-se nas cabeceiras de drenagem e apresentando altas declividades e preservação da cobertura vegetal.

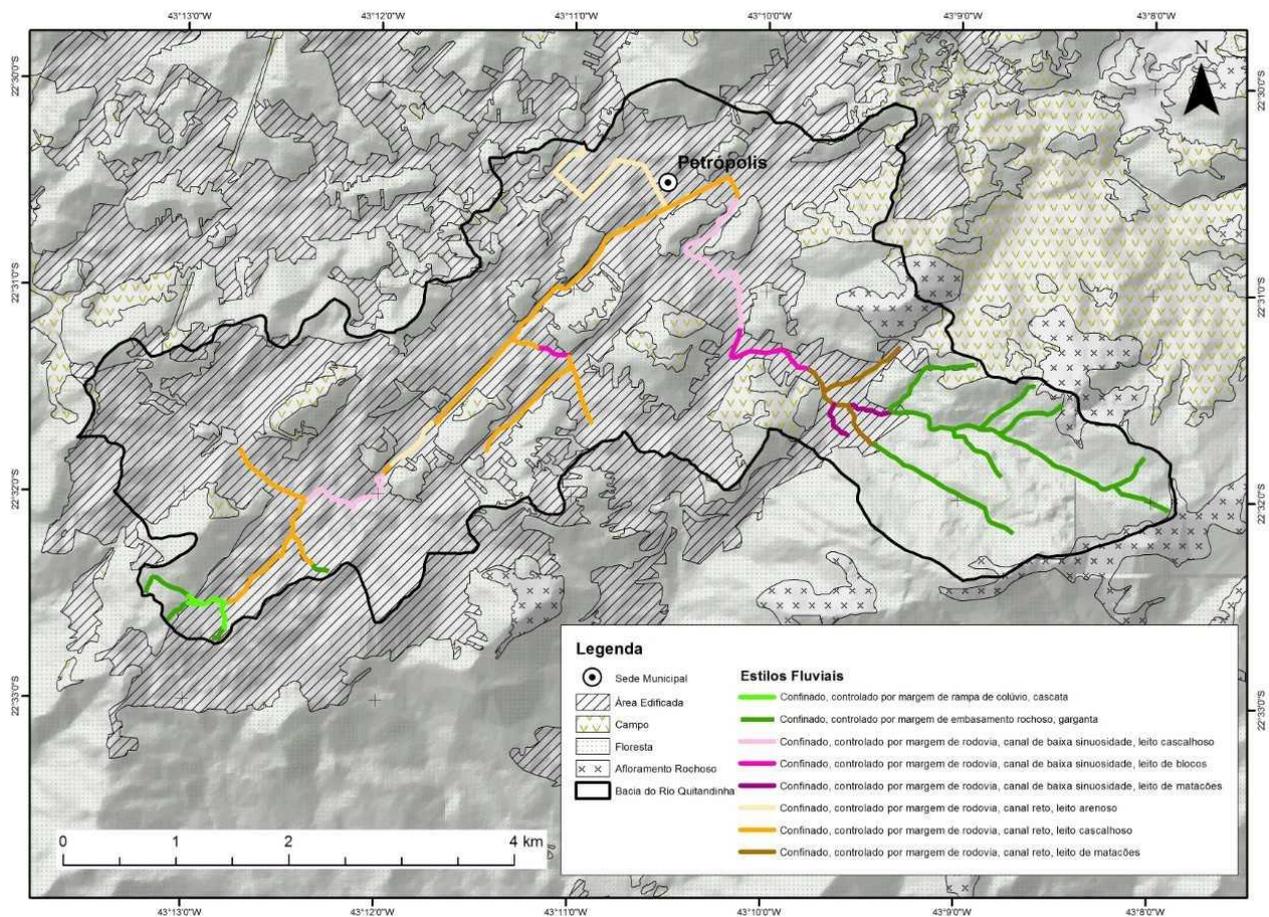


Figura 17: Estilos Fluviais identificados na bacia hidrográfica do rio Quitandinha, Petrópolis (RJ). As classes de cobertura e uso da terra são do IBGE (2018). As cores escuras representam estilos fluviais com leito fluvial de granulometria mais grosseira, enquanto as cores mais claras representam aqueles de granulometria mais fina. Tons de verde representam canais sem presença de ocupação urbana, com vegetação preservada. Tons de rosa/roxo representam canais de baixa sinuosidade e tons de marrom/laranja representam canais retos.

Quadro 4: Estilos fluviais e unidades geomórficas intracanaís (morfologia específica) identificadas na bacia do rio Quitandinha, Petrópolis (RJ).

Confinamento	CÓNFINADO							
	RÂMPA DE COLÚVIO*	EMBASAMENTO ROCHOSO*	RODOVIA (ANTROPOGÉNICO)					
Tipo de controle de margem			BAIXA SINUOSIDADE			CANAL RETO		
Sinuosidade			CASCALHO	BLOCOS	MATAÇÕES	AREIA	CASCALHO	MATAÇÕES
Textura do leito								
Unidades geomórficas intracanaís			banco raso - poço; barra em pontal; barra lateral; barra em pontal composta; barra longitudinal; corrida; crista; calha de retrabalhamento	rápido; corrida; cascata; poço	cascata; rápido; degrau - poço	Lençol arenoso; barra lateral; barra longitudinal; barra em pontal; barra de confluência	banco raso - poço; corrida; rápido; barra lateral	cascata; rápido; degrau - poço;

\*Não foram avaliadas as texturas do leito e as feições geomorfológicas intracanaís destes estilos fluviais e, portanto, não foi possível o detalhamento destes estilos fluviais.

Dentro das áreas urbanas da bacia, pode-se generalizar que os canais fluviais são confinados, controlados por margem antropogênica (rodovias) e com sinuosidade e granulometria que dependem da declividade predominante nos trechos de canal (Figura 18).

As margens antropogênicas apresentam uma elevada diversidade de características, porém, para a escala de análise, observou-se que a característica mais relevante constitui a presença de rodovias (incluídos nesta classe os diferentes tipos de estradas e ruas pavimentadas, além de muros e pontes que sustentam estas estruturas). Nos estilos fluviais que se apresentam confinados por margem antropogênica em áreas de planície fluvial, esta condição implica em uma desconectividade lateral entre o rio e a planície, afetando as interações hidrossedimentológicas e ecológicas (Figura 19; Figuras 18A; 18B; 18D; 18E). Já nos trechos de canal que não apresentam planície fluvial, as áreas urbanas promoveram a substituição do tipo de confinamento, que passou de confinado e controlado por embasamento rochoso ou coluvial, para confinado e controlado por margem de rodovia (Figuras 18C; 18F).



Figura 18: Exemplos dos seis estilos fluviais do tipo 'confinado' com controle de margens antropogênicas (predominantemente rodovias) na Bacia Hidrográfica do rio Quitandinha. A: Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito cascalhoso. Observa-se uma barra longitudinal vegetada e feições de corrida e banco raso (*riffle*). B: Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito de blocos. Identifica-se uma barra lateral vegetada e uma sequência de banco raso e corrida; C: Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito de matacões. Constata-se um leito de matacões com reduzido fluxo de água (é provável que estes matacões funcionem como feições de degrau-poço sob condições de descarga maior). D: Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito arenoso. Observa-se uma barra lateral vegetada e lençóis arenosos sob o fluxo de água. E: Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito cascalhoso. Identifica-se feições de corrida (*run*). F: Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito de matacões. É possível observar o leito de matacões formando uma feição de cascata.



Figura 19: Diferentes momentos de um trecho de canal classificado como 'Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito cascalhoso', localizado no Rio Quitandinha (Rua Coronel Veiga (sentido do fluxo para baixo e para direita)). Nota-se que a planície fluvial está ocupada pela rodovia e pelas edificações. Em 2010, é possível observar uma barra lateral cascalhosa anexa à margem (muro da rodovia). Em 2017, constata-se o crescimento de vegetação na mesma barra (janeiro/2017) e uma possível poda realizada (novembro/2017). Em 2019, observa-se novamente a instalação da vegetação e o crescimento da barra à montante, onde verifica-se também uma calha de retrabalhamento (*chute channel*) sobre a barra. Em condições originais (sem rodovia e edificações), o rio se conectaria lateralmente à planície de inundação, e o desenvolvimento da barra lateral influenciaria o desenvolvimento da planície. Fotografias do Google Street View.

De modo geral, constata-se que apesar do confinamento antropogênico ser dominante na bacia, ainda existe uma diversidade de unidades geomórficas intracanaís, principalmente daquelas construídas em ambientes de alta energia, associadas à alta declividade, com leitos de granulometria grosseira (Figura 20). Por outro lado, nos trechos de canais associados à presença de planície de inundação (logo, uma declividade menor) verifica-se uma mudança brusca de comportamento dos canais fluviais, pois estes não podem mais se movimentar pela planície de inundação, devido às modificações realizadas no canal e na planície. Assim, é possível observar que principalmente nos estilos '*Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito arenoso*' e '*Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito cascalhoso*' as feições geomorfológicas intracanaís são impostas ou forçadas pelos caminhos da retificação realizada (Figura 21).



Figura 20: Unidades geomórficas intracanaís em um estilo fluvial 'Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito de blocos' no Rio Palanado. Na foto é possível visualizar uma sequência de cascatas e poços. Apesar da configuração predominantemente urbana ao seu redor, estilos fluviais com unidades geomórficas de alta energia e granulometria, tendem a não sofrer modificações bruscas. Fotografia do Google Street View (abril de 2019).



Figura 21: Barra em pontal forçada pela configuração antropogênica do rio Quitandinha, em um trecho de canal 'Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito arenoso', nos arredores da Praça da Liberdade, no centro de Petrópolis. O centro da cidade está sobre a feição de planície mais extensa da bacia, e os canais fluviais se apresentam retificados e com margens antropogênicas. A barra em pontal observada é uma unidade geomórfica imposta pela curva artificialmente construída. A tendência é que a barra permaneça no mesmo local, visto que não há mais possibilidade de migração lateral do canal na planície de inundação.

A análise da sequência de estilos fluviais ao longo de um rio, associada ao perfil longitudinal (ver figura 16), se mostra importante para entender as características e o comportamento da rede de drenagem como um todo. Mudanças em um determinado trecho de canal (*reach*) podem influenciar os trechos à montante e à jusante. A sequência de estilos fluviais dos trechos de canais dos principais rios da bacia hidrográfica do Rio Quitandinha é mostrada na Figura 22 e explicada a seguir.

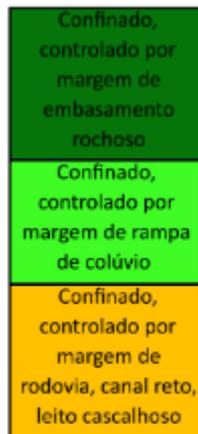
O Rio Cremerie tem suas nascentes em uma altitude próxima a 1000m, com declividades, em geral, superiores a 20° graus, em um ambiente com vegetação melhor preservada. Estas características permitem o estabelecimento de estilos confinados e controlados por margens do embasamento rochoso, nas áreas de maior declividade, e de rampas de colúvio, nas áreas de sopé das encostas (menos declivosas). Ao adentrar na área urbana de Petrópolis, o rio flui em declividades inferiores a 20° e, assim, diminui a granulometria predominante do leito fluvial. Nestas condições de leito cascalhoso, o Rio Cremerie encontra seu coletor, o Rio Quitandinha.

A confluência do Rio Cremerie com o Rio Quitandinha ocorre ainda numa região próxima a cabeceira deste último, que apresenta suas margens controladas por rodovias e um leito cascalhoso. Já o Rio Quitandinha apresenta altitudes que variam de 860 m, em sua nascente cartografada, e 810 m, em sua foz, onde deságua no Rio Piabanha. Esta pequena amplitude altimétrica condiciona uma declividade suave ao longo do seu percurso, em geral menor que 10°. Desta maneira, o rio apresenta variações de sinuosidade (entre baixa sinuosidade e canais retos) e de composição do leito (intercalação de trechos cascalhosos e arenosos), conforme a ocorrência de pequenas variações de declividade.

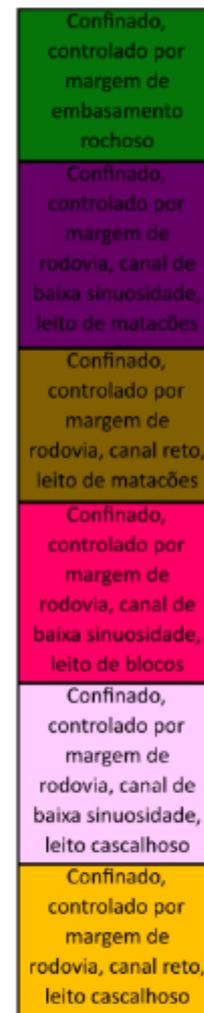
O Rio Palanado possui as cabeceiras mais altas da bacia (acima de 1500m) em áreas montanhosas relacionadas à escarpa reversa da Serra dos Órgãos. Entre 1500 e 1100m de altitude, aproximadamente, os trechos de canal se apresentam com forte declive, frequentemente superiores a 30°. Estas condições permitem a configuração de estilos fluviais confinados e controlados por embasamento rochoso. Entre 1100 e 850m se estabelece uma zona de sopé de escarpa, menos declivosa e com presença de rampas de colúvio, onde são encontradas edificações urbanas pouco adensadas. Nesta zona, os canais fluviais de alta energia, vindos de montante, começam a depositar sedimentos grosseiros (matacões e blocos) nos leitos fluviais. Assim, são identificados trechos de canal com estilos confinados, controlados por margem de rodovia, com pequenas variações de sinuosidade (retos e baixa sinuosidade) e com leitos fluviais de granulometria grossa. Abaixo de cota 850m, o Rio Palanado encontra terrenos suaves, de baixa declividade, onde a malha urbana está plenamente estabelecida. Neste trecho, o rio apresenta estilos com leitos fluviais de granulometria mais fina (cascalho), até sua confluência com o Rio Quitandinha.

Assim, de maneira geral, os resultados permitem observar a diversidade fluvial, tanto referente à tipologia fluvial, quanto às assembleias de unidade geomórficas presentes, mesmo condicionada ao ambiente urbano. O reconhecimento desta diversidade vai de encontro ao princípio da metodologia dos Estilos Fluviais que, ao defender a “parceria com a natureza”, preza o respeito à diversidade inerente aos processos e formas fluviais (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; BRIERLEY et al., 2019). Além disso, a tipologia fluvial identificada no contexto urbano demonstra que a metodologia de Estilos Fluviais permite a incorporação de elementos antropogênicos (Terrenos Tecnogênicos) à estrutura de classificação geomorfológica de rios de maneira adequada, conforme sugerido por Pelech e Peixoto (2020).

## Rio Cremerie



## Rio Palanado



## Rio Quitandinha

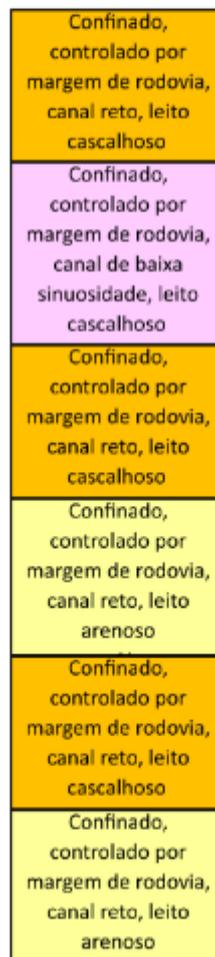


Figura 22: Sequências de estilos fluviais dos trechos de canal (*reach*) dos principais rios da bacia hidrográfica do Rio Quitandinha. As cores seguem o padrão da Figura 17. Os rios Cremerie e Palanado (principalmente este último) têm suas cabeceiras em compartimentos montanhosos com alta declividade, proporcionando o aparecimento de estilos fluviais confinados em embasamentos rochosos ou com leitos de granulometria grossa (matacões e blocos). O rio Quitandinha, inserido inteiramente na área urbana, possui declividades mais suaves e apresenta carga de leito mais fina (cascalhos e areias). As sequências se apresentam de montante para jusante. As setas indicam as confluências com o Rio Quitandinha.

## *AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS GEOMORFOLÓGICAS NOS CANAIS FLUVIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO QUITANDINHA*

De acordo com Wohl (2020), sob um contexto norte-americano, contudo pertinente à realidade brasileira, geomorfólogos têm observado uma aceleração substancial de alterações humanas nos rios refletidos na dinâmica fluvial, produção de sedimentos, regulação de fluxos, engenharia de canal, dentre outros aspectos, que tem resultado em efeitos cumulativos de escala global, incluindo significativas alterações de fluxo de água, sedimento, nitrogênio e carbono, além de uma profunda transformação da rede de canais em boa parte do planeta. Goudie (2020) aponta que estudos recentes têm demonstrado que, nas últimas cinco ou seis décadas, a humanidade tem se tornado cada vez mais um importante agente responsável por mudanças geomorfológicas.

Nesse sentido, podemos apontar que, de maneira geral, as principais mudanças ocorridas na bacia hidrográfica do Rio Quitandinha decorrentes do processo de expansão urbana da cidade de Petrópolis, desde os meados do século XIX, e que alteraram e alteram os processos geomorfológicos são: (a) desmatamento da floresta nativa (floresta ombrófila densa); (b) aumento do escoamento superficial; (c) desconexão do canal fluvial com a planície (desconectividade lateral); e (d) lançamento de esgoto doméstico e outros poluentes. Cada item será analisado a seguir.

Para auxiliar a observação do impacto de tais mudanças nas características e comportamentos dos canais fluviais, foi elaborada uma estimativa visual do grau de confinamento original dos canais fluviais, isto é, anterior ao período de urbanização da cidade de Petrópolis (Figura 23).

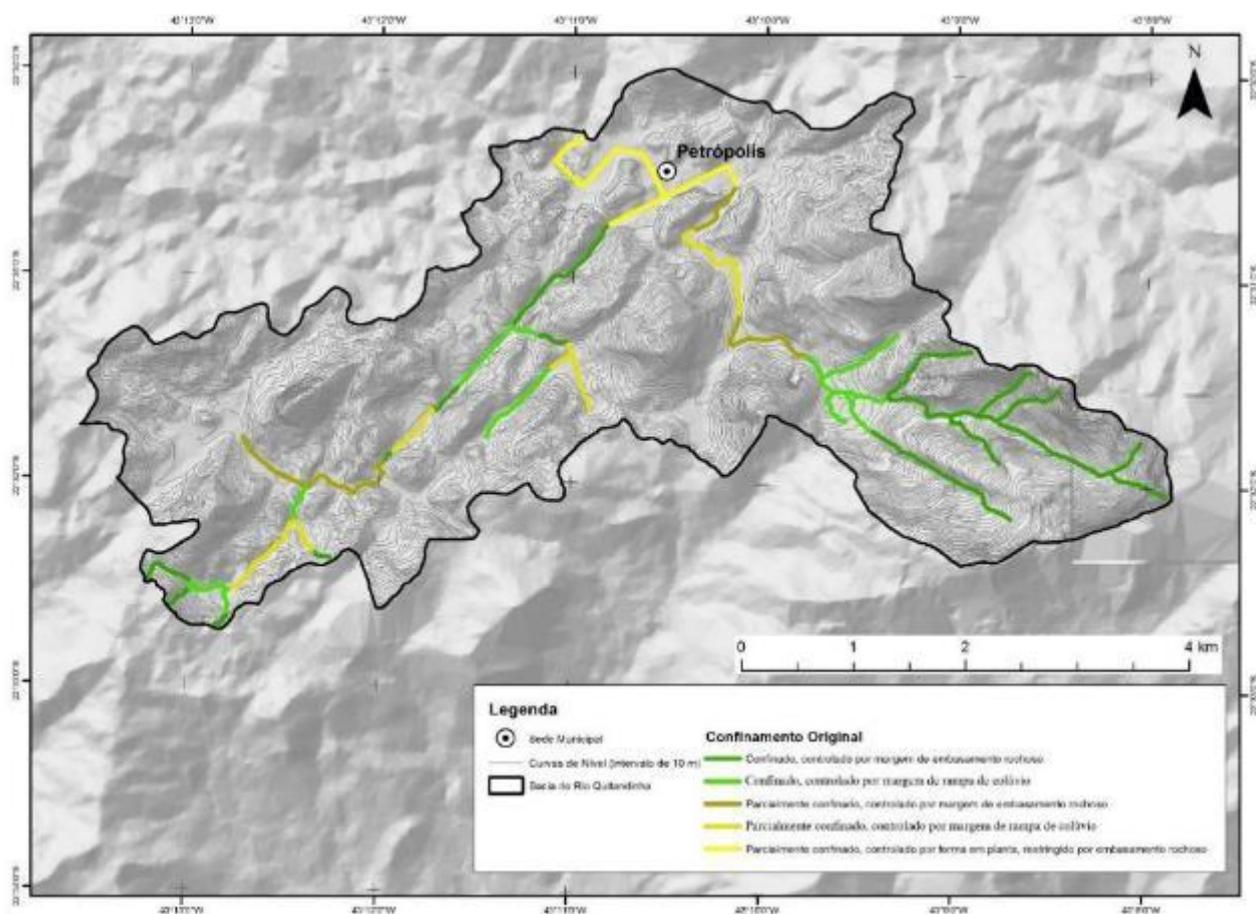


Figura 23: Estimativa do confinamento original dos canais fluviais da bacia hidrográfica do rio Quitandinha. De modo diverso da situação exposta na Figura 17, esta estimativa indica que provavelmente havia trechos de rio não confinados antes da instalação da malha urbana na área da bacia. Quanto maiores as extensões das planícies mapeadas (ver Figura 13), menores os confinamentos estimados para os trechos de canal.

Para esta estimativa, utilizou-se como princípio a relação entre a largura da planície de inundação e a do canal fluvial, considerando-se que quanto mais largas as planícies, possivelmente menor o confinamento estimado. Desta forma, chegou-se a cinco tipos de confinamento originais, sendo dois confinados (*'controlado por margem de embasamento rochoso'* e *'controlado por rampa de colúvio'*) e três parcialmente confinados (*'controlado por margem de embasamento rochoso'*; *'controlado por rampa de colúvio'*; e *'controlado por forma em planta, restringido por embasamento rochoso'*).

A primeira mudança mencionada, o desmatamento da floresta nativa, possivelmente impactou quase todos os canais fluviais da bacia, sob o ponto de vista geomorfológico e ecológico, com exceção aos estilos fluviais que se mantêm preservados até os dias atuais (*'Confinado, controlado por margem de rampa de colúvio'* e *'Confinado, controlado por margem de embasamento rochoso'*). Os danos ambientais estão diretamente ligados à perda de biodiversidade e diminuição

da infiltração de água no solo, além da mudança ou adaptação das espécies existentes, com a retirada da floresta, devido à maior entrada da luz solar nos trechos desmatados.

O aumento do escoamento superficial (segundo item mencionado) ocorre em razão da retirada da floresta e da impermeabilização das superfícies pela pavimentação das vias e construção das edificações (asfaltos, concretos, paralelepípedos, etc.), conforme aponta a literatura sobre o tema (e.g., GUERRA, 2011; BOTELHO, 2011; MILLER et al., 2014; CHEN et al., 2017) e proporciona, em geral, uma maior entrada de sedimentos e poluentes urbanos nos canais fluviais. Contudo, o impacto foi possivelmente maior nos canais fluviais associados a planícies de inundação (do tipo *Parcialmente confinado* da Figura 23), uma vez que sendo as planícies áreas relativamente planas, que naturalmente favorecem a infiltração das águas pluviais (excluindo-se, as condições de lençol freático elevado ou camadas de sedimentos finos que reduzam ou impeçam o fluxo vertical), a partir do momento em que seus terrenos se tornam impermeáveis, a água escoará rápida e diretamente para o canal (pelas ruas ou pelas galerias pluviais). Por outro lado, nas áreas de encostas íngremes, como nos casos dos estilos '*Confinado, controlado por margem de rampa de colúvio*' e '*Confinado, controlado por margem de embasamento rochoso*' (Figura 17), estima-se também ter ocorrido aumento nas taxas de escoamento superficial, porém, proporcionalmente não tão marcante como no caso das planícies. Nota-se nos estilos fluviais do tipo '*Confinado, controlado por margem de rodovia*', de leitos fluviais de frações grosseiras (blocos e matacões), que as unidades geomórficas intracanaís atualmente existentes são compatíveis com os prováveis estilos fluviais do período anterior às fases mais recentes de crescimento urbano da cidade. Assim, cascatas, rápidos, corridas, bancos rasos (*riffle*) e poços, dentre outras feições, são unidades geomórficas intracanaís herdadas que hoje continuam exercendo funções geomorfológicas e ecológicas no ambiente em que se inserem. As unidades geomórficas (morfologias específicas) relacionadas aos rios identificados originalmente como '*Parcialmente confinados*' (situados em áreas onde existe planície de inundação) sofreram modificações profundas, pois atualmente as feições intracanaís são impostas ou forçadas e as feições associadas às planícies de inundação estão encobertas pelas edificações urbanas. Em outras palavras, a assembleia de unidades geomórficas hoje encontradas nestes trechos onde existe planície de inundação é provavelmente bem menos diversa do que aquela existente no período anterior à ocupação urbana e modificação dos canais.

Cabe ressaltar que o aumento do escoamento superficial promovido pela impermeabilização dos terrenos e pela retificação dos canais fluviais torna o fluxo de água e o transporte de sedimentos mais eficientes, podendo sinalizar um provável aumento da transmissão de sedimentos (*sediment delivery ratio*), visto que chegam ao coletor mais rapidamente (rio Piabanha).

Em estudos de cartografia histórica realizados na cidade de Petrópolis, Santos et al. (2019) e Lima et al. (2020) constataram a diminuição da sinuosidade e da largura dos canais fluviais, provenientes das intervenções de retificação, no período entre 1846 e 1999, através da comparação entre a Planta Koeler (planta de planejamento da cidade Petrópolis de 1846) e imagens de satélite recentes. Os autores apontam que o Rio Quitandinha sofreu um decréscimo de 2,5% do grau de sinuosidade, uma diminuição de 19 e 4 m da largura (máxima e mínima, respectivamente) do canal e ainda a perdas de ilhas fluviais. É importante ressaltar que no presente estudo não foram identificadas unidades geomórficas do tipo 'ilhas fluviais' (ver Quadro 3), o que pode sugerir uma mudança significativa das características dos canais fluviais. Porém, deve ser considerada, nesta

análise, a variabilidade natural do rio, visto que variações de sinuosidade desta ordem de grandeza são comuns em períodos curtos. Segundo Brieley e Fryirs (2005), trechos de canal (reaches) podem levar de 10 a 100 anos para realizar ajustes morfológicos, enquanto unidades geomórficas (morfologias específicas) podem levar de 1 a 10 anos para se reajustarem aos eventos e processos dominantes. A diminuição da largura apontada por Santos et al. (2019) é significativa e parece ser um elemento indicativo de uma efetiva mudança de característica do canal fluvial. As ilhas fluviais identificadas pelos autores em 1846 indicam a supressão de unidades geomórficas intracanaís de caráter estável em trechos de canal onde, atualmente, não existem feições do tipo, o que indica uma alteração nas características do rio. Contudo, deve-se atentar que, tratando-se de um documento de cunho cartográfico (e não geomorfológico), ilhas podem ser confundidas com barras longitudinais, que pressupõem um ambiente menos estável e, portanto, similar ao atualmente existente.

A terceira mudança mencionada trata-se da desconexão do rio com a planície devido à retificação dos canais fluviais, que promove o aumento da velocidade de fluxo do rio e da sua vazão. Planícies de inundação podem agir como retardadores (*buffers*) da movimentação dos sedimentos ao longo de uma bacia, pois armazenam sedimentos por períodos que podem alcançar milhares de anos (FRYIRS e BRIERLEY, 2007). Como estas retificações modificam os canais para escoar rapidamente e eficientemente a água (e, por consequência, os sedimentos), o rio passa a ter menos contato com as áreas ribeirinhas e a planície de inundação. Quando o fluxo de água ultrapassa o nível de margens cheias (*bankfull stage*) e a água e os sedimentos se espraíam sobre a planície de inundação, não há morfogênese mais, tampouco interação ecológica, mas somente o escoamento destes na superfície impermeabilizada até retornar ao canal fluvial (ou ser removido artificialmente). Assim, a função retardadora exercida pela planície de inundação, em relação ao fluxo de água e sedimentos se torna comprometida. Além disso, ressalta-se que se por um lado o tecido urbano tende a aumentar o escoamento superficial em razão da impermeabilização das superfícies, por outro lado, após o processo de urbanização, que tende a aumentar as taxas de erosão, os solos cobertos pelas áreas urbanas consolidadas dotadas de boa infraestrutura podem sofrer menos erosão, devido a essa proteção da camada superficial do solo (e.g., GUERRA, 2011; ZHOU et al., 2019).

O lançamento de esgoto doméstico, último item abordado, é um problema ainda visível na bacia do Rio Quitandinha, podendo ser observado tanto os odores como as cores características destes efluentes em alguns trechos. Ressalta-se que o município de Petrópolis possuía aproximadamente 82% dos domicílios com esgotamento sanitário adequado em 2010 (IBGE, 2020b). Aqueles estilos fluviais de ambientes de alta energia (*Confinado, controlado por rampa de colúvio; Confinado, controlado por margem de embasamento rochoso; Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito de blocos; Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito de matacões; Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito cascalhoso; e Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito de matacões*) conseguem decompor mais eficientemente a matéria orgânica, pois apresentam melhores condições de oxigenação das águas, devido à aeração decorrente do turbilhamento que ocorre em feições geomorfológicas como cascatas, rápidos, degraus – poços, etc. (Figura 20).

Desta forma, acredita-se que quanto menor o grau de urbanização e maior presença destas feições geomorfológicas de ambientes de alta energia, melhores serão as condições do rio, sob o

ponto de vista geomorfológico e, possivelmente, ecológico (Figura 24). É importante ressaltar que quanto maior a granulometria predominante de uma unidade geomórfica, maior será a estabilidade desta feição, visto que necessitam de fluxos de alta energia (grande magnitude; baixa frequência) para sua remobilização. Por outro lado, os estilos fluviais que apresentam condições mais degradadas são, em geral, aqueles trechos urbanizados que não possuem estes tipos de feições geomorfológicas, estando associados à ocorrência de planícies de inundação: *Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito cascalhoso* e *Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito arenoso*.

Tendo em vista que, em geral, os canais originalmente confinados (que já tinham essa condição de confinamento antes da expansão urbana) preservam a maioria de suas unidades geomórficas intracanaís de alta energia, espera-se que eles tenham maior potencial de recuperação geomorfológica (e ecológica). Por outro lado, as planícies de inundação foram tão intensamente modificadas e edificadas, que os custos da recuperação dos estilos fluviais associados (que vise um retorno a condições semelhantes às do período anterior, por exemplo) seriam provavelmente muito altos e pouco efetivos.

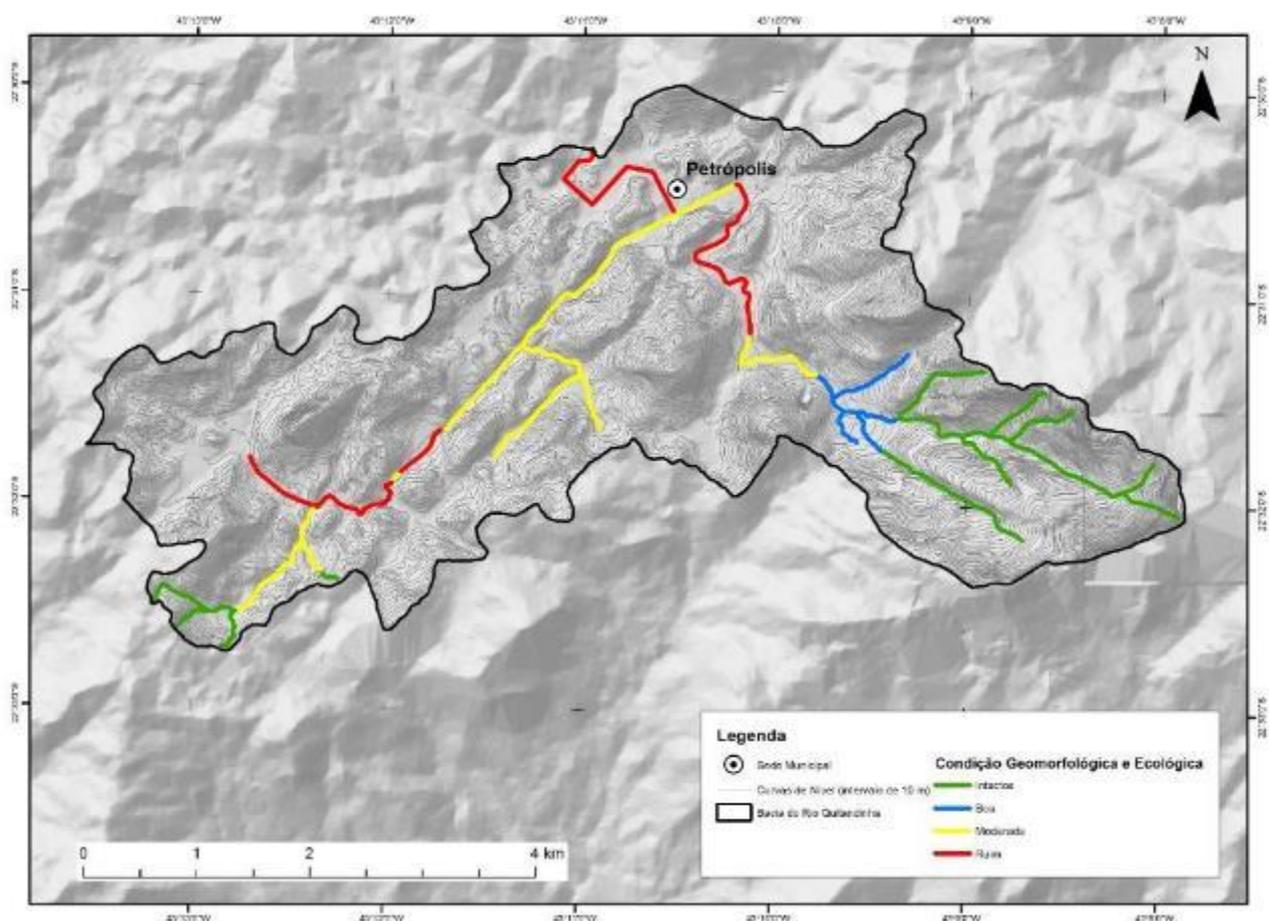


Figura 24: Estimativa da condição geomorfológica e ecológica dos principais canais fluviais da Bacia Hidrográfica do rio Quitandinha (ver explicação ao longo do texto).

## CONCLUSÕES

A Bacia Hidrográfica do Rio Quitandinha se encontra em um relevo, em geral, bastante acidentado, com expressiva presença de fraturamentos e reduzida extensão de planícies de inundação, localizadas especialmente em alvéolos de sedimentação em terrenos mais rebaixados pelos processos de denudação. Estas condições geológico-geomorfológicas condicionam a forma dos rios da bacia, que acompanham as estruturas do embasamento. Os resultados mostram uma compatibilidade das características das unidades geomórficas intracanaís e da tipologia fluvial com a variação da declividade e – consequentemente – da energia do canal, de acordo com o “continuum longitudinal” de Fryirs e Brierley (2013).

A bacia apresenta estilos fluviais do tipo ‘confinado’, predominantemente, seja por controle do embasamento rochoso, das rampas de colúvio ou das margens antropogênicas (rodovias). Tal fato implica na presença de canais fluviais que não apresentam mobilidade, visto que as planícies de inundação estão intensamente urbanizadas. Ademais, destaca-se que as características do relevo discutidas ao longo do presente trabalho somadas a altos índices de precipitação de chuva na bacia fazem com que os rios confinados por margens antropogênicas tenham elevado potencial de inundação e destruição da malha urbana e, por consequência, de provocar tragédias com perdas de vidas humanas.

Os trechos de rio que eram originalmente confinados e controlados por margens de rampa de colúvio ou do embasamento rochoso, antes da instalação e expansão urbana de Petrópolis, apresentam atualmente unidades geomórficas intracanaís como cascatas, rápidos, corridas, degraus-poços, etc., o que indica a manutenção destas unidades, mesmo com o processo avançado de urbanização. Assim, o presente estudo sustenta a hipótese de que as unidades geomórficas intracanaís compostas por sedimentos grosseiros (matacões e blocos) tendem a ser mais estáveis e menos suscetíveis às intervenções antropogênicas e às mudanças decorrentes da própria dinâmica fluvial, por se tratarem de feições de maior resistência. Ressalta-se também que o fluxo de água de alta energia formador e característico destas unidades geomórficas favorecem o turbilhonamento e consequente oxigenação da água, propiciando melhores condições ecológicas de maneira geral.

Em geral, constata-se que há uma boa diversidade de unidades geomórficas intracanaís na maioria dos estilos fluviais identificados. De certa maneira, pode-se assumir que quanto maior a diversidade destas unidades (geodiversidade), maior será a diversidade potencial de habitats do ambiente fluvial. Sob um contexto de canais fluviais degradados associados a áreas urbanas, a existência de uma variedade de formas – mesmo imposta ou forçada por intervenções antropogênicas – tende a ser um melhor cenário do que a ausência destas feições.

Tendo em vista que a preservação da zona ribeirinha (*riparian zone*) é importante não só para a integridade biológica, mas também para a manutenção dos processos fluviais (erosão de margens; inundação das planícies, etc.), constata-se que a maioria das áreas de planícies da cidade de Petrópolis apresenta edificações consolidadas, impedindo ou dificultando severamente ações de recuperação ambiental nos estilos fluviais associados e aumentando a suscetibilidade a eventos de inundação. Contudo, ações de recuperação voltadas para as zonas ribeirinhas dos trechos de canais com condição geomorfológica e ecológica Moderada (ver Figura 24) podem ser mais

efetivas, já que os estilos fluviais encontrados nesta situação (*Confinado, controlado por margem de rodovia, canal de baixa sinuosidade, leito de blocos e Confinado, controlado por margem de rodovia, canal reto, leito cascalhoso*) ainda preservam diversas unidades geomórficas intracanaís, o que pode facilitar a recuperação ecológica.

Futuras investigações que deem maior ênfase às margens dos canais podem vir a proporcionar o reconhecimento mais fidedigno das condições geomorfológicas e ecológicas da bacia, visto que rios controlados por margens antropogênicas podem apresentar uma tipologia com características bem distintas (ver Figuras 18, 19, 20 e 21). Nesse sentido destaca-se a importância do Google Street View e seu acervo de imagens, que se apresenta como uma fonte acessível e confiável de informações. No presente estudo, por exemplo, em uma localidade do Rio Quitandinha, pôde-se constatar a evolução de uma barra lateral anexada a uma margem antropogênica (ver Figura 19), graças a este acervo de imagens.

Por fim, salienta-se que o lançamento de esgoto sem tratamento permanece como um dos principais problemas de diversas cidades brasileiras, no que se refere à saúde de seus rios. Assim, acredita-se que o tratamento de esgotos e outros efluentes deve ser prioritário para o manejo de bacias hidrográficas urbanas, pois traz possivelmente os resultados mais rápidos e efetivos do ponto de vista ecológico. No entanto, destacamos, com os resultados do presente trabalho, que estudos e intervenções que visem qualquer tipo de recuperação, restauração ou reabilitação fluvial devem necessariamente levar em consideração as variáveis geomorfológicas que condicionam o funcionamento de um rio, tendo em vista que configuram um arcabouço estruturante dos processos e dos desdobramentos das modificações nos sistemas fluviais e suas áreas de contribuição.

---

*Submetido em 30/09/2021*

*Aceito para publicação em 18/04/2022*

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e ao NEQUAT-IGEO/UFRJ pelo suporte institucional e financeiro na realização desta pesquisa. Agradecemos também aos revisores por suas críticas e sugestões que contribuíram significativamente para a melhoria do artigo.

## **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, J. D. M.; SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. **Dinâmica e caracterização fluvial da bacia do Riacho Grande, Serra Talhada – PE: Abordagem da conectividade da paisagem.** Geo UERJ, n. 28, p. 308-331, 2016.

BEECHIE, T.; IMAKI, H. **Predicting natural channel patterns based on landscape and geomorphic controls in the Columbia River basin, USA.** Water Resources Research, v. 50, p. 39-57, 2014.

- BOTELHO, R. G. M. **Bacias Hidrográficas Urbanas**. In: GUERRA, A. J. T. (org). *Geomorfologia Urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 71-115, 2011.
- BOTELHO, R. G. M.; PELECH, A. S. **Do Mapeamento Geomorfológico do IBGE a um Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo**. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 64, n. 1, p. 183-201, 2019.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. **River Styles, a Geomorphic Approach to Catchment Characterization: Implications for River Rehabilitation in Bega Catchment, New South Wales, Australia**. *Environmental Management*, v. 25, n. 6, p. 661-679, 2000.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Blackwell Publishing, 2005. 398 p.
- BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; MARÇAL, M.; LIMA, R. **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*, v. 20, n. 4, p. 751-771, 2019.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Levantamento da geodiversidade: projeto atlas pluviométrico do Brasil: isoietas anuais médias: período 1977 a 2006**. Mapa, escala 1:5.000.000. CPRM, 2011. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/22220>. Acesso em: jun. 2021.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico da Folha Baía de Guanabara SF23-Z-B-IV**. Escala 1:100.000, CPRM, 2009. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: mai. 2020.
- DEAN, W. **A ferro e fogo: A história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. Companhia das Letras, 1996. 484 p.
- FRISSELL, C. A.; LISS, W. J.; WARREN, C. E.; HURLEY, M. D. **A Hierarchical Framework for Stream Habitat Classification: Viewing Streams in a Watershed Context**. *Environmental Management*, v. 10, n. 2, p. 199-214, 1986.
- FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J.; PRESTON, N. J. **Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades**. *Catena*, v. 70, p. 49-67, 2007.
- FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape**. Wiley-Blackwell, 2013 (edição eletrônica). 906 p.
- FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **What's in a name? A naming convention for geomorphic river types using the River Styles Framework**. *PLoS ONE*. v. 13, n. 9, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201909>
- FRYIRS, K.; BRIERLEY, G.; MARÇAL, M.; PEIXOTO, M. N.; LIMA, R. **Learning, doing and professional development – The River Styles Framework as a tool to support the development of coherent and strategic approaches for land and water management in Brazil**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 20, n.4, p. 773-794, 2019.
- FRYIRS, K.; MCNAB, K. **Using the Rivers Styles Framework as a physical template upon which an anthropophysical layer can be developed for urban streams**. Report. Department of Physical Geography, Division of Environmental and Life Sciences, Macquarie University, 2001. 22 p.

- FRYIRS, K. A.; WHEATON, J. M.; BRIERLEY, G. J. **An approach for measuring confinement and assessing the influence of valley setting on river forms and processes.** Earth Surface Processes and Landforms, v. 41, p. 701-710, 2016
- GIBLING, M. R. **River Systems and the Anthropocene: A Late Pleistocene and Holocene Timeline for Human Influence.** Quaternary, v. 1, n. 3, 21, 2018.
- GOUDIE, A. **The human impact in geomorphology – 50 years of change.** Geomorphology, v. 366, 106601, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.12.002>.
- GUERRA, A. J. T. **Encostas Urbanas.** In: GUERRA, A. J. T. (org). Geomorfologia Urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 11-42, 2011.
- GURNELL, A.; LEE, M.; SOUCH, C. **Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology, Ecology and Opportunities for Change.** Geography Compass, v. 1, n. 5, p. 1118-1137, 2007.
- HALAJOVA, D.; HALAJ, P.; MACURA, V.; SKRINAR, A. **Urban River Design: A River Restoration Case Study.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 471, 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Mapa de Clima do Brasil.** Mapa, escala 1:5.000.000. IBGE, 2002. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map\\_BR\\_clima\\_2002.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf). Acesso em: jun. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Manual Técnico de Geomorfologia.** Segunda edição. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5). Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Mapa de Geomorfologia da Folha SF.23** - Rio de Janeiro. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Diretoria de Geociências, 2016. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geomorfologia/vetores/escala\\_250\\_mil/recorte\\_mil\\_ionesimo](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/vetores/escala_250_mil/recorte_mil_ionesimo). Acesso em: jul. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Base Cartográfica na escala 1:25.000 do Estado do Rio de Janeiro.** Coordenação de Cartografia, Diretoria de Geociências, 2018. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/bases\\_cartograficas\\_continuas/bc25/rj/versao2018/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/versao2018/). Acesso em: jul. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Banco de Dados e Informações Ambientais.** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Diretoria de Geociências. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br>. Acesso em: mai. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Relatório Técnico: 1º Workshop sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Relevô.** Rio de Janeiro: IBGE, 2020a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Portal Cidades@.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/petropolis/panorama>. Acesso em: set. 2020b.

- CHEN, J.; THELLER, L.; GITAU, M. W.; ENGEL, B. A.; HARBOR, J. M. **Urbanization impacts on surface runoff of the contiguous United States.** *Journal of Environmental Management*, v. 187, p. 470-481, 2017.
- KLEINA, M.; PAULA, E. V.; SANTOS, L. J. C. **Análise comparativa dos estilos fluviais do rio Sagrado (Morretes/PR) para os anos de 2006 e 2011.** *Revista Geografar*, v. 9, n. 1, p. 27-44, 2014.
- LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. **Defining Anthropocene.** *Nature*, v. 519, p. 171 – 180, 2015.
- LIMA, R. N. S.; MARÇAL, M. S. **Avaliação da condição geomorfológica da bacia do rio Macaé – RJ a partir da metodologia de classificação dos estilos fluviais.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, n. 2, p. 171-179, 2013.
- LIMA, U. B. S.; SANTOS, K. S.; FERNANDES, M. C. **Cartografia histórica e SIG na análise das modificações da paisagem: cursos d'água na área gênese da cidade de Petrópolis/RJ.** *Revista Continentes*, v. 9, p. 330-348, 2020.
- MACKLIN, M. G.; LEWIN, J. **The Rivers of Humankind.** In: MYERS, S.; HEMSTOCK, S.; HANNA, E. (eds) *Science, Faith and the Climate Crisis.* Emerald Publishing Limited, p. 29-46, 2020. doi: <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-984-020201005>.
- MARÇAL, M. S.; LIMA, R. N. S. **Abordagens Conceituais Contemporâneas na Geomorfologia Fluvial.** *Espaço Aberto*, v. 40, n. 1, p. 17-33, 2016.
- MENEZES, C. R.; SALGADO, C. M. **Classificação de estilos fluviais na bacia do rio Bananeiras (alto vale do Rio São João, Silva Jardim – RJ): base para análise da condição geomorfológica.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 3, p. 895-912, 2019.
- MILLER, J. D.; KIM, H.; KJELDSEN, T. R.; PACKMAN, J.; GREBBY, S.; DEARDEN, R. **Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover.** *Journal of Hydrology*, v. 515, p. 59-70, 2014.
- MONTGOMERY, D. R.; BUFFINGTON, J. M. **Channel-reach morphology in mountain drainage basins.** *GSA Bulletin*, v. 109, n. 5; p. 596-611, 1997.
- MOURA, J. R. S.; SILVA, T. M. **Complexo de Rampas de Colúvio.** In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (orgs) *Geomorfologia do Brasil.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 392 p.
- NEWSON, M. D.; NEWSON, C. L. **Geomorphology, ecology and river channel habitat: mesoescale approaches to basin-scale challenges.** *Progress in Physical Geography*, v. 24, p. 195-217, 2000.
- OLIVEIRA, B. R. G.; SILVA, T. M.; ROSSO, T. C. A. **Estilos fluviais nas bacias hidrográficas da Vila Dois Rios, Ilha Grande (RJ).** *Revista Geonorte, edição especial 4*, v. 10, n. 1, p. 281-285, 2014.
- PEIXOTO, M. N. O.; CESÁRIO, F. V.; PIMENTEL, M. L.; MELLO, E. V.; OLIVEIRA, D. F. P. **Identificação de estilos de rios em bacias de drenagem inseridas em compartimentos de colinas – Médio Vale do rio Paraíba do Sul.** *Revista de Geografia*, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, 2010.

- PELECH, A. S.; PEIXOTO, M. N. O. **Rios Urbanos: contribuições da Antropogeomorfologia e dos estudos sobre os Terrenos Tecnogênicos**. Revista Brasileira de Geografia, v. 65, n. 1, p. 2-22, 2020.
- REIMARUS, O. **Planta da Imperial colonia de Petrópolis [Cartográfico]: reduzida para guia dos visitantes. Acervo da Biblioteca Nacional, 1854.** Disponível em: [http://objdigital.bn.br/objdigital2/acervo\\_digital/div\\_cartografia/cart176710/cart176710.jpg](http://objdigital.bn.br/objdigital2/acervo_digital/div_cartografia/cart176710/cart176710.jpg) Acesso em: jun. 2019.
- REIMARUS, O. **Perspectiva de huma parte de Petropolis tomada da Rua do Imperador em frente a confluência dos Rios Quitandinha e Palatino [Iconográfico]**. Acervo da Biblioteca Nacional, 1859. Disponível em: [http://objdigital.bn.br/objdigital2/acervo\\_digital/div\\_iconografia/icon530223/icon530223.pdf](http://objdigital.bn.br/objdigital2/acervo_digital/div_iconografia/icon530223/icon530223.pdf). Acesso em: jun. 2019.
- ROSGEN, D. L. **A classification of natural rivers**. Catena, v. 22, p. 169-199, 1994.
- SANTANA, C. I.; MARÇAL, M. S. **Identificação de Estilos Fluviais na Bacia do Rio Macabu (RJ) a Serem Aplicados na Gestão dos Recursos Hídricos**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 4, p. 1886-1903, 2020.
- SANTOS, K. S.; ANTUNES, F. S.; FERNANDES, M. C. **Os rios, a cidade e o mapa como objeto de análise da dinâmica da paisagem**. Mercator, Fortaleza, v. 19, e18021, 2019.
- SILVA, A. C.; SILVA, O. G. **Análises dos padrões e estilos de canais a partir da paisagem geomorfológica fluvial na Bacia do Rio Una/PE**. Revista Cerrados, v. 14, n. 2, p. 71-92, 2016.
- SILVA, W. F.; ALMEIDA, J. D. M.; SANTOS, L. D. J.; SOUSA, S. G.; LISTO, F. L. R.; GIRÃO, O. **A proposta de estilos fluviais na análise da morfodinâmica em rio semiárido: Rio Ipanema, Pernambuco**. Revista OKARA: Geografia em debate, v. 13, n. 1, p. 252-272, 2019.
- SOUZA, J. O. P.; BARROS, A. C. M.; CORREA, A. C. B. **Estilos fluviais num ambiente semiárido, Bacia do Riacho do Saco, Pernambuco**. Finisterra, v. 102, p. 3-23, 2016.
- STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. (Coleção Geografia; v. 3; organização Francisco de Assis Mendonça). 336 p.
- URBAN, M. A. **In Defense of Crappy Landscapes (Core tenet #1)**. In: LAVE, R.; BIERMANN, C.; LANE, S. N. (eds) The Palgrave Handbook of Critical Physical Geography, Palgrave Macmillan, Cham, 2018. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71461-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71461-5_3)
- WHEATON, J. M.; FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G.; BANGEN, S. G.; BOUWES, N.; O'BRIEN, G. **Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms**. Geomorphology, v. 248, p. 273-295, 2015.
- WOHL, E. **Rivers in the Anthropocene: The U.S. perspective**. Geomorphology, v. 366, p. 1-10, 106600, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.12.001>.
- ZHOU, M.; DENG, J.; LIN, Y.; BELETE, M.; WANG, K.; COMBER, A.; HUANG, L.; GAN, M. **Identifying the effects of land use change on sediment export: Integrating sediment source and sediment delivery in the Qiantang River Basin, China**. Science of the Total Environment, v. 686, p. 38-49, 2019.