

## CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E DE INTERVENÇÕES URBANAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IMBOAÇU (SÃO GONÇALO, RJ): CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE INUNDAÇÕES<sup>1</sup>

MENEZES, Carolina Ramos<sup>2</sup>; SALGADO, Carla Maciel<sup>3</sup>

Recebido (*Received*): 05/06/2016 Aceito (*Accepted*): 08/01/2018

### Resumo

A Bacia Hidrográfica do rio Imboaçú, inserida no município de São Gonçalo (Leste Metropolitano do Rio de Janeiro), se encontra descaracterizada devido à intensa ocupação urbana, tanto nas planícies fluviais e flúvio-marinhas como nas encostas, registrando também muitas ocorrências de inundações. O presente trabalho tem como objetivo analisar características geomorfológicas da referida bacia hidrográfica e as transformações em sua rede de drenagem derivadas da urbanização. Para tanto, foram comparadas as redes hidrográficas de bases cartográficas de períodos distintos (1974 e 1994), além do mapeamento da drenagem considerando a extensão dos canais até as cabeceiras de drenagem, sendo calculada a densidade de drenagem para cada situação. Foram produzidos e analisados mapas hipsométrico e de declividade da bacia. A densidade da urbanização foi visualizada por meio da imagem do satélite QuickBird (2007). Os resultados apontam que a bacia possui predomínio de relevo suave, pontuado por locais com elevada declividade. Considerando a extensão dos rios até as cabeceiras de drenagem, a bacia apresenta alta densidade de drenagem, que proporciona o aumento da vazão no canal principal rapidamente durante a precipitação. A ocupação urbana avança pelas encostas, alterando as linhas de drenagem, inclusive extinguindo canais de primeira ordem, certamente contribuindo para intensificar a ocorrência de inundações.

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica. Densidade de drenagem. Declividade. Ocupação Urbana. Rio Imboaçú.

## CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICO E INTERVENCIÓN URBANA DE CUENCA IMBOAÇU (SAO GONÇALO, RJ): CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE INUNDACIÓN

### Resumen

La cuenca del río Imboaçú, localizada en el municipio de São Gonçalo (en el Este de la Región Metropolitana de Río de Janeiro), posee un estado de alteración debido a la intensa ocupación urbana, tanto en las llanuras fluviales y fluvio-costera y en las vertientes, con registros frecuentes de inundación. Este estudio tiene como objetivo analizar las características geomorfológicas de dicha cuenca y los cambios ocasionados en su red de drenaje debidos a la urbanización. Con ese propósito, fue comparada la hidrografía de dos bases cartográficas de años diferentes (1974 y 1994), acrecentadas del levantamiento de los canales de drenaje teniendo en cuenta su extensión hasta las nacientes topográficas. Para fines comparativos entre ambos momentos temporales, fueron calculadas las densidades de drenaje de la cuenca. Además, fueron creados un mapa hipsométrico y un mapa de las pendientes de la cuenca. La densidad de la urbanización fue analizada a través de imágenes de satélite QuickBird (2007). Los resultados indican que en la cuenca predomina un relieve suave, interrumpido en algunos lugares con pendientes pronunciadas. Teniendo en cuenta la extensión de los ríos hasta las cabeceras, la cuenca tiene una alta densidad de drenaje, que proporciona un aumento rápido del flujo en el canal principal en caso de lluvia. Los asentamientos urbanos avanzan por las pendientes alterando las líneas de drenaje, causando inclusive la extinción de los canales de primer orden, lo cual sin duda contribuirá para aumentar la incidencia de inundaciones.

**Palabras clave:** Cuencas Hidrográficas. Densidad De Drenaje. Declividad. Ocupación Urbana. Río Imboaçú.

## MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION AND URBAN INTERVENTION IN RIVER BASIN IMBOAÇU (SAO GONÇALO, RJ): CONTRIBUTION TO FLOOD STUDY

<sup>1</sup> O presente artigo é parte dos resultados do projeto de pesquisa “Análise espaço-temporal da precipitação no leste metropolitano do Rio de Janeiro (São Gonçalo e Niterói) e suas consequências em encostas e vales fluviais”, Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

<sup>2</sup> Mestranda em Geografia da Universidade Federal Fluminense.

<sup>3</sup> Professora Doutora, do Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense.

**Abstract**

The river Imboáçu basin, located in São Gonçalo (East of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro), presents mischaracterization due to intense urban occupation, in the river and fluvial-marine plains and on the slopes, also recording many instances of flooding. This study aims to analyze geomorphological characteristics of these basin and the changes in its drainage network derived from urbanization. Therefore, the drainage network of cartographic databases of different periods (1974 and 1994) and the drainage mapping considering the extent of the channels to the watersheds were compared, it was calculated drainage density for each situation. Hypsometric and slope maps were produced and analyzed. The density of urbanization was viewed by QuickBird satellite image (2007). The results indicate that the basin has a predominance of gentle relief, punctuated by places with steep slopes. Considering the extent of rivers by drainage headboards, the basin has a high density drainage, which provides increased flow in the main channel quickly during precipitation. The urban settlement advances the slopes, changing the drainage lines, including extinguishing first-order channels certainly contribute to enhance the occurrence of flooding.

**Keywords:** River Basin. Drainage Density. Declivity. Urban Occupation, Imboáçu River.

**1. Introdução**

A bacia hidrográfica destaca-se como unidade ambiental integradora, possibilitando a análise de seus diversos componentes e processos dentro de uma perspectiva sistêmica. Esta pode ser reconhecida como uma unidade de referência espacial para estudos de diversos fenômenos, com destaque para geomorfológicos e hidrológicos. Tais concepções reforçam a função essencial recentemente atribuída à bacia: unidade básica de planejamento e gestão ambiental e territorial (ROSS e DEL PRETTE, 1998).

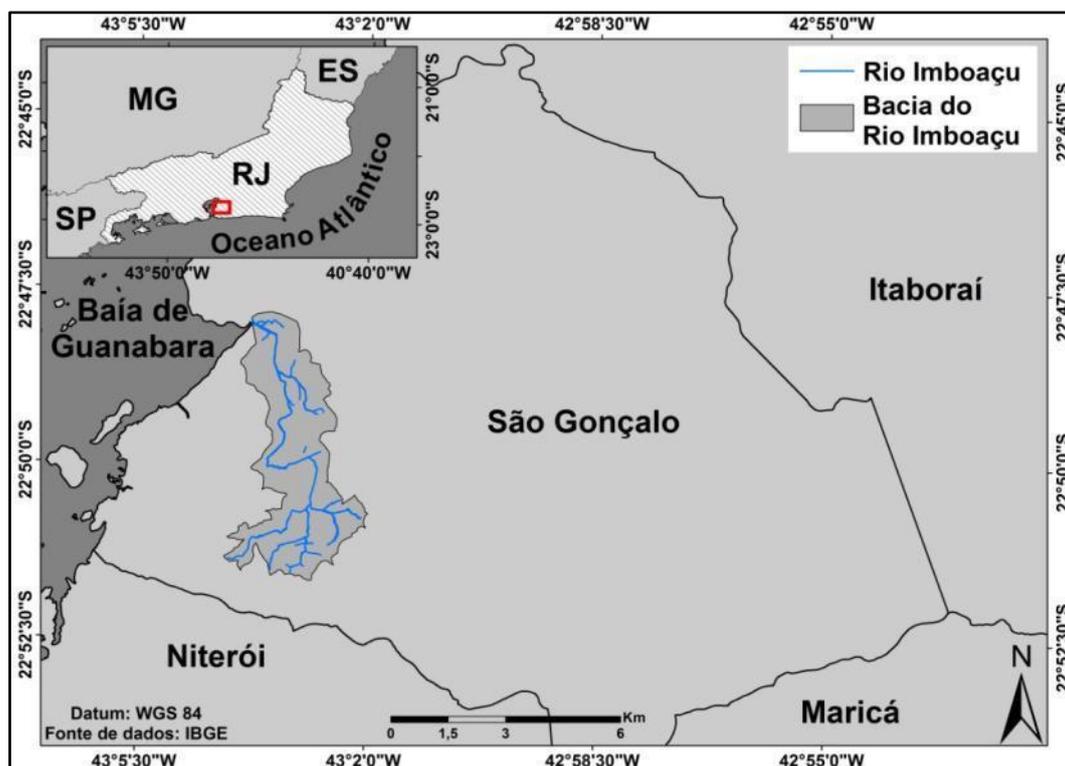
A bacia hidrográfica é definida por Cunha (1994) como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, cuja delimitação é constituída por pontos de maior altitude denominados divisores topográficos. Por outro lado, esta pode ser entendida, não só como um sistema constituído por uma área superficial de drenagem, mas também por limites internos relacionados a processos de circulação, armazenamento e saídas da água e do material por ela transportado (RODRIGUES e ADAMI, 2005). Deste modo, a bacia funciona como um sistema aberto, integrando tanto elementos naturais (encostas, maciços rochosos, solos, vegetação etc.), mas também elementos humanos (residências, arruamentos etc.), compreendendo processos geomorfológicos, biogeográficos, socioambientais, além do processo hidrológico propriamente dito.

Com o intenso processo de urbanização desenvolvido nos municípios brasileiros, a partir da segunda metade do século XX, são observadas ocupações desordenadas e sem a implantação de políticas públicas eficientes de planejamento urbano que atinjam a cidade como um todo, privilegiando áreas de classes média e alta (MOURA, 2004). Nesse contexto, as mudanças no uso da terra expandem os desafios no entendimento da dinâmica socioambiental imposta por tais transformações, pois além da desigualdade socioeconômica na cidade, as características e condições naturais do sítio urbano são desconsideradas no processo de construção dos espaços urbanos.

Assim, o desenvolvimento de áreas urbanas proporciona profundas alterações à paisagem natural, com desmatamento, impermeabilização do solo, canalização de rios etc., criando impactos negativos ao ambiente. Estas alterações contribuem para o desequilíbrio do sistema bacia hidrográfica, ocasionando profundas modificações às suas características físicas e intensificando os eventos de inundações. Tais eventos têm se tornado um dos problemas mais comuns nas grandes cidades, acarretando em uma série de danos à sociedade (AMARAL e RIBEIRO, 2009; CHEN *et al.*, 2009).

Nesse sentido, torna-se essencial a adoção de medidas visando um melhor planejamento territorial e ambiental nas cidades brasileiras, onde as bacias hidrográficas assumam o papel de unidade básica para tal finalidade. Os avanços em relação ao entendimento da estrutura e dinâmica de uma bacia hidrográfica, compreendendo sua rede de drenagem, contribuem para a sua aplicação como unidade de planejamento territorial e ambiental (ROSS e DEL PRETTE, 1998). Junto ao entendimento de outros sistemas ambientais, tais estudos têm sido de grande importância para o planejamento e gestão de uma cidade atualmente.

Mediante ao que foi exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a análise de algumas características morfométricas de uma bacia hidrográfica e das transformações em sua rede de drenagem derivadas da urbanização, visando contribuir para o melhor entendimento de episódios de inundação. Para o desenvolvimento deste trabalho foi selecionada a Bacia Hidrográfica do rio Imboaçú, inserida no município de São Gonçalo, Leste Metropolitano do Rio de Janeiro (Figura 1), totalmente descaracterizada em sua aparência e funções. As características físicas (morfologia, morfometria etc.) da bacia devem ser consideradas visto que podem conformar um quadro natural de suscetibilidade a inundações (VILLELA e MATTOS, 1975; SOUZA, 2005). Por outro lado, existem ainda as modificações na drenagem que contribuem para acentuar a ocorrência de inundações (FUJIMOTO, 2005). Deste modo, a análise contempla os aspectos principais observados na bacia que podem influenciar no acontecimento de inundações, ressaltando, no entanto, que o trabalho não se propõe a fazer um estudo sobre as inundações no município.



**Figura 1:** Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do rio Imboáçu, no município de São Gonçalo, Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RJ). Fonte: Autoria própria.

## 2. Área de Estudo

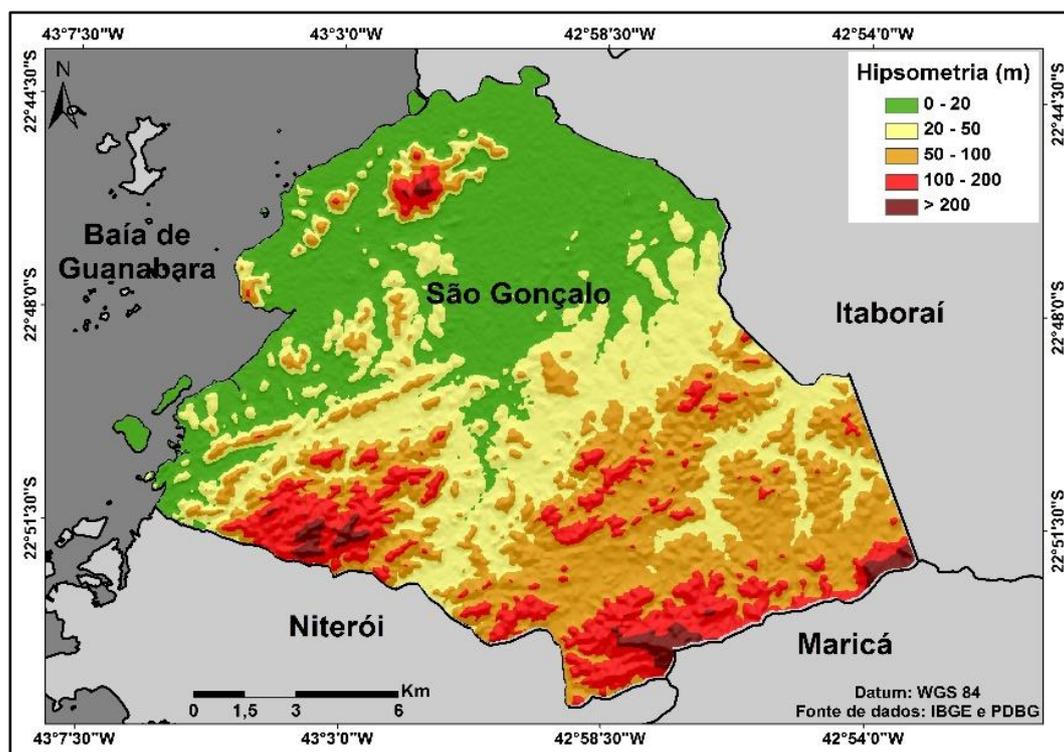
O município de São Gonçalo, localizado no Leste Metropolitano do Rio de Janeiro, possui 999.728 habitantes, conforme o censo realizado em 2010 (IBGE). A partir de 1940, seu perfil rural começou a se transformar com a instalação de alguns empreendimentos industriais e com o loteamento de fazendas (FERNANDES, 2012). Entretanto, Silva (2012) ressalta que a contínua urbanização ficou fortemente calcada em loteamentos clandestinos desprovidos de serviços públicos (saneamento básico, rede elétrica precária, transporte coletivo etc.), enquanto a população aumentava intensamente. A referida autora também destaca que outro marco para o município de São Gonçalo foi a inauguração da Ponte Presidente Costa e Silva (Ponte Rio-Niterói), em 1974, agilizando a mobilidade da população gonçalense que trabalhava no Rio de Janeiro e atraindo novos moradores em busca de terrenos mais baratos do que na capital.

Com o grande crescimento populacional de São Gonçalo nas últimas décadas do século XX, houve a necessidade de disponibilizar áreas para novas construções. O crescimento urbano desordenado estimulou a construção de moradias (incluindo autoconstruções segundo SILVA, 2012) nos segmentos de encostas e nas planícies fluviais. Esta série de intervenções urbanas (arruamentos, canalização e/ou supressão de rios,

construções de residências etc.) nas bacias do município contribuiu para sua ampla descaracterização, tanto na aparência como em seu funcionamento. Tais intervenções alteram a dinâmica hidrogeomorfológica das bacias hidrográficas, potencializando a ocorrência de desastres naturais em função de chuvas intensas (AFONSO *et al.*, 2008).

Com relação aos aspectos físicos, o município de São Gonçalo intercala terrenos de altitudes pouco elevadas (entre 50 e 300m) com planícies fluviais, flúvio-marinhas e alguns terraços fluviais (entre 0 e 50m de altitude) (Figura 2). Dantas (2000) identificou no município de São Gonçalo quatro unidades geomorfológicas principais: planície flúvio-marinha, planície costeira, colinas isoladas e colinas dissecadas/morrotes/morros baixos.

As unidades de planície estão relacionadas a sedimentos principalmente do Quaternário, tanto de origem fluvial (areias mal selecionadas associadas a argila e silte) como marinha (areias quatzosas melhor selecionadas, podendo ter traços de argila). A principal faixa altimétrica que caracteriza estas unidades é a 0-20m (Figura 2), embora algumas planícies fluviais possam alcançar maiores altitudes (faixa 20-50m). As unidades geomorfológicas de colinas, morrotes e morros baixos associam-se a rochas cristalinas do pré-cambriano, principalmente gnaisse, além de cobertura coluvial, segundo o referido autor. A unidade de colinas isoladas geralmente associa-se à faixa altimétrica de 20-50m e 50-100m, enquanto a de colinas dissecadas/morrotes/morros baixos corresponde às áreas de maior altitude (acima de 100m), localizadas ao sul do município de São Gonçalo (Figura 2).



**Figura 2:** Mapa hipsométrico de São Gonçalo (RJ). Fonte: Autoria própria.

De acordo com Carvalho Filho *et al.* (2001), nas áreas de relevo colinoso do município (porção sul) há um predomínio de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, podendo ser encontrado em associação ao Neossolo Litólico Distrófico, em áreas com relevo mais acidentado (forte ondulado ou montanhoso, altitudes acima de 100m), e ao Argissolo Amarelo Coeso, em áreas com relevo mais suave (compreendendo altitudes entre 20 e 100m). Ao longo do litoral, especialmente no segmento ao norte, onde predomina a faixa de altitude 0 a 20m, verifica-se a presença de Gleissolo Tiomórfico Húmico, abrangendo o baixo curso da Bacia Hidrográfica do rio Imboaçú aqui estudada. Além disso, a faixa litorânea foi aterrada com materiais de desmonte de colinas suaves próximo à costa, havendo a incorporação de ilhotas ao continente e diferentes tipos de construções, incluindo um trecho da BR-101.

O município de São Gonçalo tem uma área de 249 km<sup>2</sup>, onde se encontram 10 bacias hidrográficas. Oito destas têm suas nascentes principais no próprio município, e apresentam entre 0,7 e 14 km<sup>2</sup> de área. Os rios principais deságuam na Baía de Guanabara, encontrando-se sujeitos à oscilação de maré de até 140 cm.

Gomes (2014) analisou dados pluviométricos da estação meteorológica situada em São Gonçalo (Estação Meteorológica da Faculdade de Formação de Professores da UERJ) e de postos em bairros do Rio de Janeiro bem próximos ao município gonçalense (Ilha do Governador, Penha e Saúde). Foi verificado um acumulado anual por volta de 1.120mm, destacando-se os meses de janeiro e dezembro como os mais chuvosos. No entanto,

episódios de chuvas intensas podem ocorrer também em outras estações do ano, como o registrado em abril de 2010. A média do mês de abril registrada na Estação FFP/UERJ foi de 84,9mm, enquanto o acumulado entre os dias 6 e 9 de abril/2010 foi de 201,8mm. Só no dia 7 de abril foi registrada uma precipitação de 126,4mm.

Em um contexto de degradação e com episódios frequentes de inundações está a Bacia Hidrográfica do rio Imboáçu, totalmente inserida no município de São Gonçalo. A bacia, cuja área de drenagem é de 12,6 km<sup>2</sup>, estende-se por diversos bairros de São Gonçalo até desaguar na Baía de Guanabara. É classificada como de 3<sup>a</sup> ordem, segundo metodologia de Strahler (1952, *apud* CHRISTOFOLETTI, 1980), em base cartográfica 1:10.000.

### 3. Materiais e Métodos

Para a execução do trabalho, as atividades de gabinete foram realizadas por meio do *software* ArcGIS<sup>4</sup> (9.3, 10 e 10.1), utilizando os materiais explicitados no Quadro 1.

**QUADRO 1:** Materiais utilizados no presente trabalho.

MATERIAL	FONTE	ANO	ESCALA	DADOS OBTIDOS
Carta topográfica	Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (FUNDREM)	1976	1:10.000	Linhas de drenagem
Base cartográfica digital	Plano de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG)	1994	1:10.000	Linhas de drenagem e curvas de nível
Imagem de satélite	QuickBird	2007	1:10.000*	Urbanização

\*Escala atendida pela resolução do sensor. Fonte: Autoria própria.

A carta topográfica da FUNDREM foi digitalizada com a finalidade de vetorizar as linhas de drenagem e criar um *shapefile*<sup>5</sup> da drenagem do rio Imboáçu no período de conclusão da Ponte Rio-Niterói (1974). A utilização das bases cartográficas da FUNDREM (1976) e do PDBG (1994) permitiram a classificação hierárquica da bacia. Além disso, foi realizada uma comparação das drenagens fluviais por meio de identificação visual e medição da extensão total dos canais fluviais para detectar possíveis alterações na rede de drenagem, considerando o intervalo de tempo entre a elaboração das duas bases cartográficas.

Através das curvas de nível mapeadas pelo PDBG (equidistância de 10m), foram demarcadas todas as vertentes côncavas da bacia. A drenagem foi estendida até as

<sup>4</sup>O ArcGIS é o *software* para Sistemas de Informações Geográficas (SIG), produzido pela empresa ESRI (ESRI on-line).

<sup>5</sup>O *shapefile* é um formato de armazenagem de dados como a posição, formato e atributos de feições geográficas no ArcGIS (ESRI on-line).

concauidades, que em um momento de precipitação mais intensa podem condicionar a convergência de fluxos de água que aumentam a vazão do canal fluvial adjacente. Os procedimentos relacionados ao tracejar linhas (vetorização) foram realizados através do *Editor* do ArcGIS.

A densidade de drenagem (comprimento total da rede de canais dividido pela área da bacia, em quilômetros) foi calculada para as bases da FUNDREM, do PDBG e no mapeamento elaborado a partir da topografia, chamado no presente trabalho de drenagem estendida (ou drenagem adensada). Os resultados obtidos proporcionaram uma análise comparativa entre a densidade de drenagem das três bases. Nesse aspecto a análise utilizou os parâmetros presentes no trabalho de Villela e Mattos (1975), onde as bacias com o índice de densidade de drenagem menor que 0,5 km/km<sup>2</sup> possuem drenagem pouco densa, aquelas em que o índice esteja entre 0,5 e 3,0 km/km<sup>2</sup> são bacias mediantemente drenadas, e, se o índice for maior que 3,0 km/km<sup>2</sup>, a bacia é classificada como bem drenada.

A fim de realizar uma caracterização morfométrica da bacia hidrográfica foi elaborado modelo digital de elevação (MDE) para a confecção dos mapas de hipsometria e de declividade. Para tanto, foram utilizados as curvas de nível (equidistância de 10m) provenientes do levantamento do PDBG para gerar um TIN, através da ferramenta *Create TIN* do *ArcGis*. Posteriormente, este foi corrigido para gerar o mapa de declividade do terreno por meio da ferramenta *Slope*. O mapa hipsométrico evidencia as faixas altimétricas cujo intervalo de valores se aproximam das feições de relevo definidas por Dantas (2000). O mapa de declividade considerou as classes estabelecidas pelo IBGE (2009) (Quadro2).

**QUADRO 2:** Classes de hipsometria e de declividade.

HIPSOMETRIA		DECLIVIDADE		
m	RELEVO	%	CLASSES	RELEVO
0-20	Planícies	0 - 3	Muito fraca	Plano
20-50	Colinas Suaves	3 - 8	Fraca	Suave ondulado
50-100	Colinas	8 - 20	Moderada	Ondulado
100-200	Morros	20 - 45	Forte	Montanhoso
>200	Morros Dissecados	Acima de 45	Muito forte	Escarpado

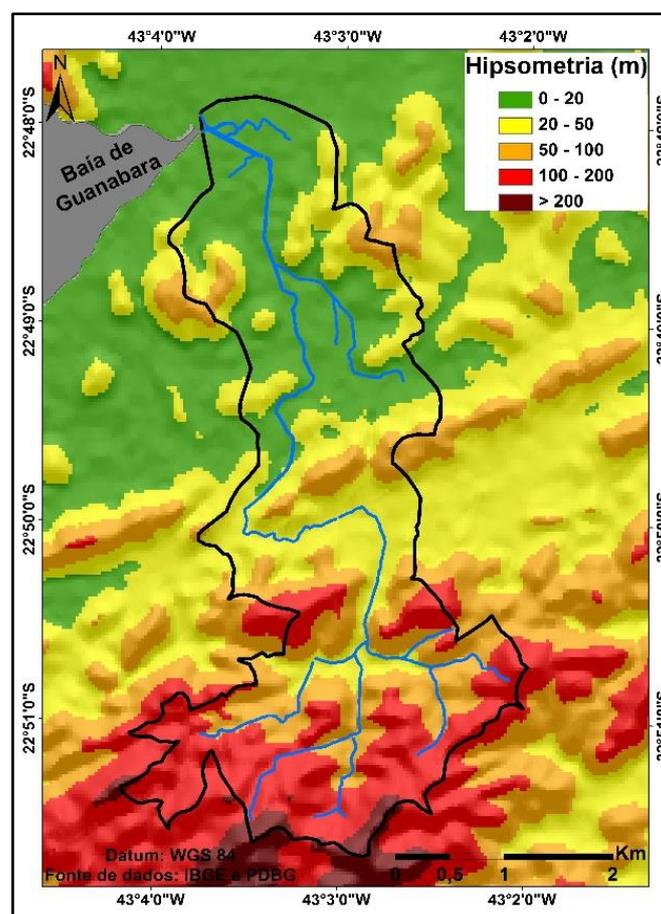
Fonte: Autoria própria.

A imagem do satélite QuickBird (2007) foi utilizada para observar a impermeabilização dos solos na bacia hidrográfica, como consequência da urbanização. Deste modo, a impermeabilização dos solos na bacia presente na imagem digital foi confrontada visualmente com a hipsometria e declividade. Além disso, foram realizados trabalhos de campo com o intuito de observar pontos predefinidos, onde a drenagem fluvial

sofreu algum tipo de interferência, conforme visto nas bases cartográficas. Cabe destacar ainda o emprego do *software* ArcGis na elaboração de mapas.

#### 4. Resultados e Discussões

A bacia do rio Imboáçu apresenta altitudes que raramente ultrapassam 200m (Figura 3). No alto curso da bacia encontram-se altitudes mais elevadas, com cotas altimétricas variando de 50m a 200m, relacionando-se a unidades de relevo de colinas dissecadas e morrotes e morros baixos, identificados por Dantas (2000). Neste setor sul se encontram as principais nascentes do rio Imboáçu.



**Figura 3:** Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Imboáçu. Fonte: Autoria própria.

O médio vale da bacia é caracterizado por pontos onde a altitude pode alcançar 200m, caso da Pedreira Carioca, caracterizada na figura 3 por duas elevações, alinhadas lado a lado, e cortada pelo rio Imboáçu. Neste ponto há um estreitamento do vale, onde a altitude do seu fundo é entre 21m e 50m, faixa altimétrica que predomina em direção jusante até o desvio do rio Imboáçu devido à presença do “morro” Menino de Deus. Esta faixa altimétrica

relaciona-se à planícies e terraços fluviais, às vezes pontuados por colinas isoladas (faixa 51m-100m).

No baixo curso da bacia a faixa altimétrica predominante é 0-20m, relacionando-se às feições de planície fluvial e flúvio-marinha. A foz do rio Imboáçu é na Baía de Guanabara, estando sujeita, portanto, a oscilação de maré com altura de até 140cm, segundo o Centro de Hidrografia da Marinha<sup>6</sup>. A combinação de maré alta com fortes precipitações causa intensas inundações, que abrangem especialmente as referidas áreas de planície (ROSA *et al.*, 2010).

Os gradientes observados na área da bacia também são variados (Figura 4). No alto curso da bacia (ao sul) há predominância de classe de declividade forte, variando de 20% a 45%, ocorrendo ainda alguns pontos com declividade forte (>45%). Neste setor os fundos de vale são estreitos e apresentam declividades nas classes muito fraca (0-3%) e fraca (3-8%).

O médio curso da bacia é o mais variado por reunir as cinco classes de declividade. No referido setor há predomínio das classes de declividade moderada (8-20%) e forte (20-45%). Na região da Pedreira Carioca (identificado na Figura 4 por um retângulo) observa-se, ainda, declividade muito forte (acima de 45%). Até então, o fundo de vale, embora apresente declividade entre 0 e 8%, é muito estreito e contrasta com o elevado gradiente do entorno (maciço rochoso explorado pela Pedreira Carioca). Num evento de precipitação intensa, esta morfologia pode causar rápido aumento de vazão do rio, que leva à ocorrência de inundação.

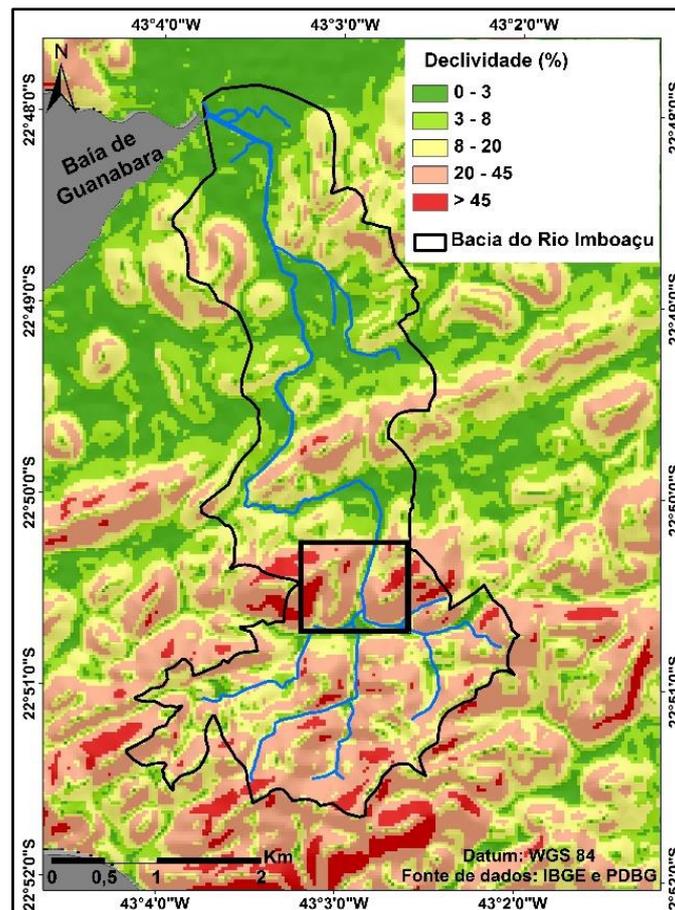
Por outro lado, no baixo vale do rio Imboáçu há predomínio de declividade muito fraca (0-3%) e fraca (3-8%), relacionando-se às planícies fluvial e flúvio-marinha mais largas. Os divisores da bacia neste setor também apresentam declividades mais suaves, caracterizadas principalmente pela classe moderada (8-20%), ocorrendo a classe forte (20-45%) somente nos topos das colinas.

Segundo Villela e Mattos (1975), a declividade influencia principalmente na velocidade do escoamento superficial de uma bacia hidrográfica. Mediante ao que foi exposto, o alto declive das encostas no alto vale da Bacia Hidrográfica do rio Imboáçu favorece o escoamento superficial dos fluxos de água mais rapidamente, possivelmente ocasionando picos de inundação nos terrenos mais planos, encontrados no baixo vale. Além disso, tal situação também pode ser aplicada à Pedreira Carioca, no médio curso do rio Imboáçu (trecho com estreitamento da área da bacia, identificado na Figura 4 por um retângulo), onde a presença de afloramentos rochosos, com baixíssima permeabilidade e vertentes íngremes, contribuem para o escoamento rápido das águas pluviais diretamente

---

<sup>6</sup> <http://www.tabuademares.com/br/rio-de-janeiro/rio-de-janeiro>

para o canal principal, que passa exatamente dentro do terreno da pedra. Cabe lembrar, que ao escoar pelas encostas da pedra, a água mobiliza partículas provenientes da atividade extrativista, que chegando ao canal favorecem o seu assoreamento. Assim, a declividade influencia ainda nos processos de erosão e transporte de sedimentos, contribuindo para o assoreamento do leito do rio Imboáçu, situação encontrada em alguns trechos a jusante do rio em trabalhos de campo.



**Figura 4:** Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Imboáçu. O retângulo no médio curso identifica um estreitamento na bacia onde fica a Pedreira Carioca, que explora as rochas do maciço rochoso dos dois lados do rio Imboáçu. Fonte: Autoria própria.

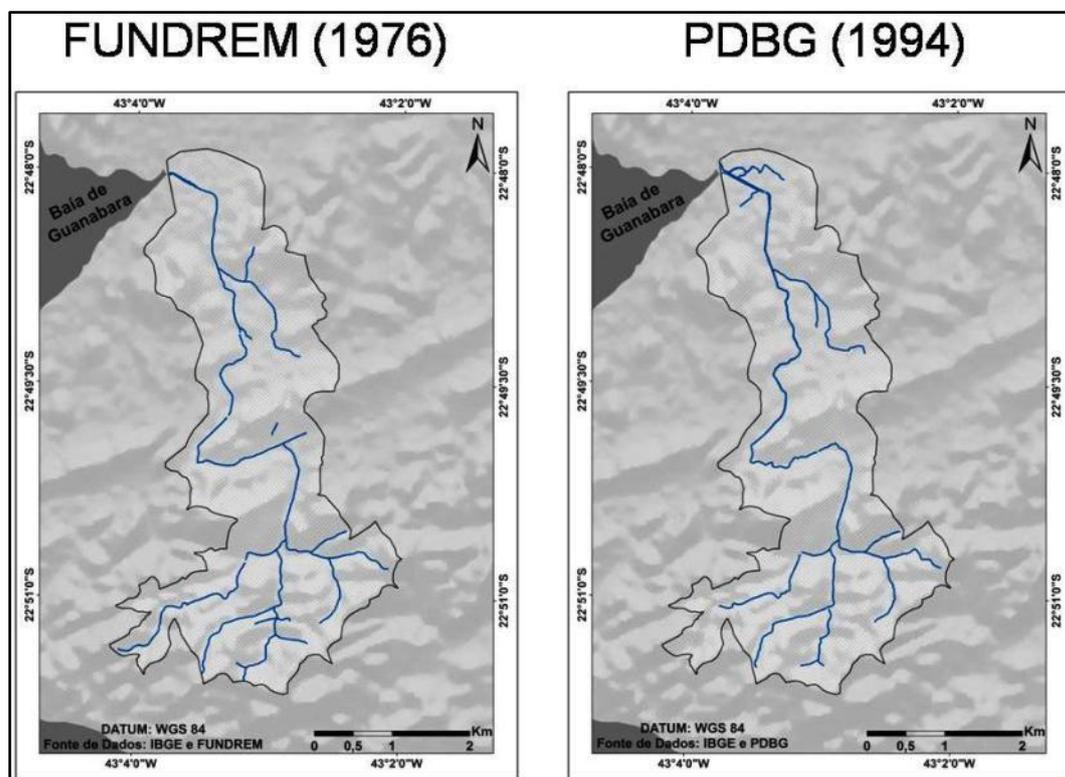
A bacia do rio Imboáçu é classificada como de 3ª ordem (segundo metodologia de Strahler), com área de 12,6 km<sup>2</sup> e um leito principal de cerca de 10 km de extensão, alimentado por suas nascentes localizadas na APA do Engenho Pequeno (ao sul do município). A referida bacia é pouco extensa, mas representativa no desenvolvimento do município de São Gonçalo, drenando uma das áreas com maior adensamento populacional do município.

Como apontado por Chen *et al.* (2009), bacias de dimensões reduzidas são muito sensíveis à intensidade da precipitação devido ao pequeno tempo de concentração dos fluxos

superficiais. Esta sensibilidade pode ser agravada em função da impermeabilização do solo causada pela urbanização pouco planejada. Neste sentido, as condições impostas pela urbanização (pavimentação de ruas e praças, construção de edificações) proporcionam às bacias hidrográficas determinadas especificidades, alterando seu funcionamento hidrogeomorfológico.

No caso da bacia do rio Imboaçú, a urbanização tem promovido intensa impermeabilização do solo, incluindo os setores côncavos das encostas, contribuindo para o desaparecimento de canais de primeira ordem. Estes se mostram segmentos de drenagem mais frágeis ambientalmente, sendo afetados por qualquer alteração na dinâmica de funcionamento da bacia hidrográfica (FARIA e MARQUES, 1999). Ao analisar as linhas de drenagem em diferentes épocas, é possível perceber que a base cartográfica da FUNDREM (1976) apresenta 15 canais de primeira ordem, enquanto a base do PDBG (1994) apresenta 4 segmentos a menos (Figura 5).

Embora as diferenças possam ser atribuídas à origem dos dados, formas de confecção, recursos tecnológicos e interesse no nível de precisão ao confeccionar ambas as bases cartográficas, em trabalhos de campo verificou-se a supressão de alguns rios da paisagem, podendo estes terem sido extintos ou canalizados por meio de manilhas. Neste último caso, a identificação é extremamente difícil, pois há inúmeras edificações, além de arruamentos, que impedem a identificação em campo.

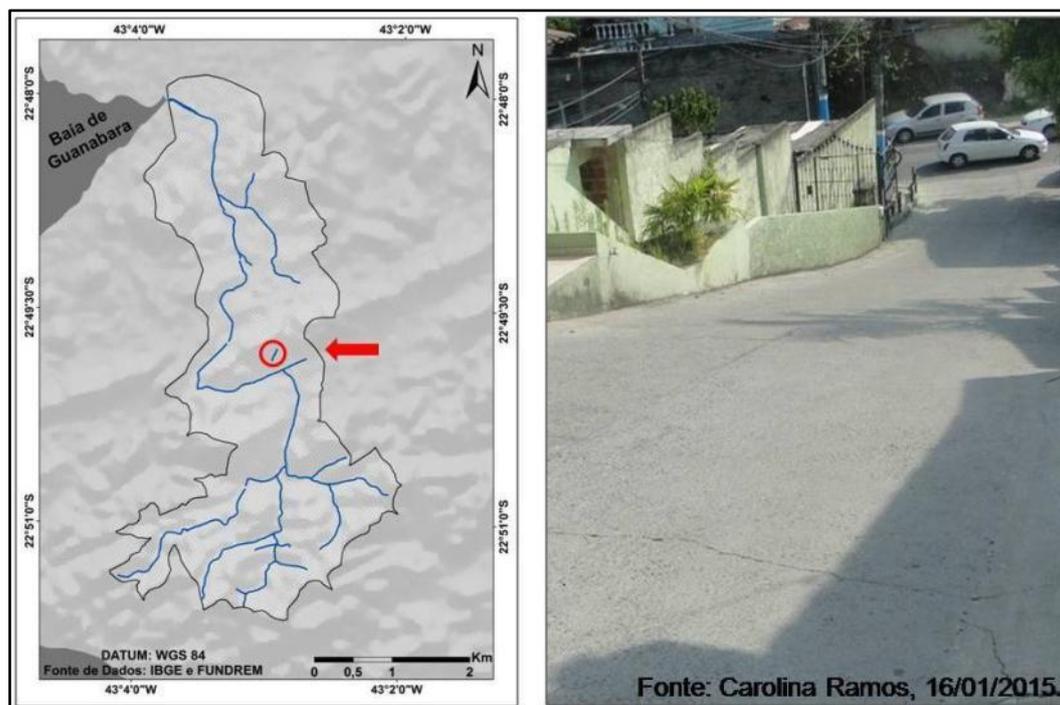


**Figura 5:** Comparação das linhas de drenagem em períodos diferentes, em 1976 (FUNDREM) e 1994 (PDBG). Fonte: Autoria própria.

No caso de extinção de rios, existem várias razões que contribuem para o desaparecimento de canais de primeira ordem. O enfraquecimento da vazão próximo às nascentes favorece a deposição de sedimentos erodidos das encostas ao longo dos pequenos canais, extinguindo-os (FARIA e MARQUES, 1999). No entanto, em localidades urbanizadas, como a bacia do rio Imboáçu, é muito comum a impermeabilização do solo, que durante a precipitação acelera a chegada da água pluvial aos leitos principais, aumentando seu volume e causando inundações (VIEIRA e CUNHA, 2001; BOTELHO e SILVA, 2004). Na bacia do rio Imboáçu a extinção dos canais de primeira ordem está ligada principalmente à eliminação da cobertura vegetal, seguida pela impermeabilização de áreas para a implementação de moradias e arruamentos. Tal ação promove a supressão desses pequenos canais.

O médio vale da bacia apresenta um canal de primeira ordem mapeado pela FUNDREM, onde atualmente encontra-se o condomínio residencial Village Zé Garoto, cuja rua principal respeita a topografia natural (Figura 6). De acordo com Fujimoto (2005), os cortes e aterros para determinadas construções modificam a geometria das vertentes. No entanto, mesmo as pavimentações que respeitam a topografia natural redirecionam os fluxos hídricos, transformando as ruas em leitos pluviais durante a precipitação (FARIA e MARQUES, 1999; FUJIMOTO, 2005).

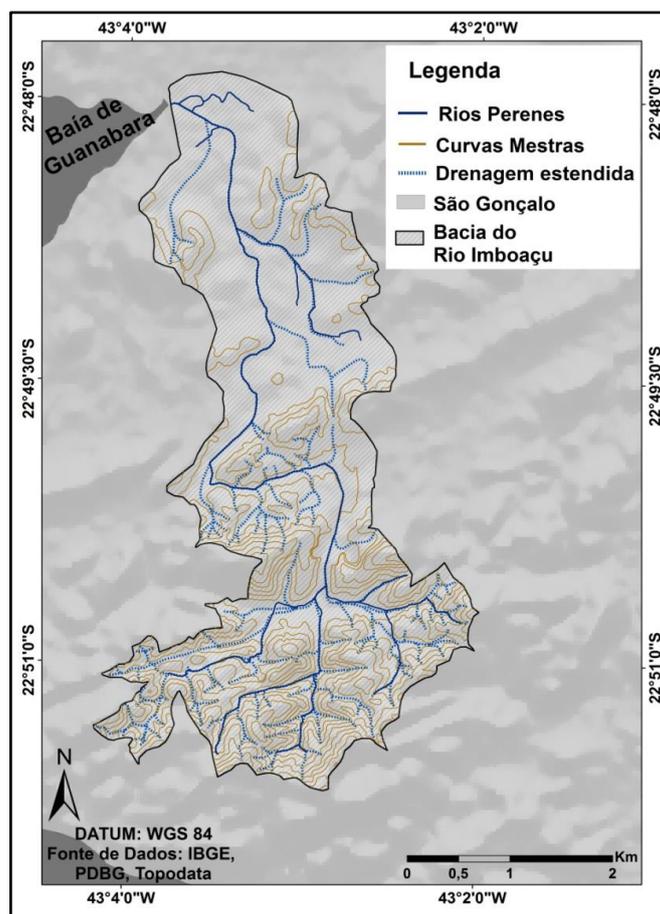
No alto vale da bacia também se observa que alguns canais presentes na base cartográfica do FUNDREM (1976) não estão presentes na base do PDBG (1994), possivelmente por estes eixos de drenagem estarem sendo ocupados por construções urbanas mais recentes (vide Figura 8) ou não terem sido interpretados como rios no mapeamento do PDBG. Por outro lado, este mapeamento registrou a abertura de canais próximos à foz que foram abertos para drenar água de terrenos constituídos por sedimentos finos, siltico-argilosos ou argilo-sílticos.



**Figura 6:** Canal de primeira ordem (1976) substituído por arruamento (2015). Fonte: Autoria própria.

Em muitos estudos sobre inundações as vertentes côncavas são desconsideradas no cálculo da densidade de drenagem numa bacia. Entretanto, em eventos de precipitação intensa observa-se como estas contribuem para a convergência mais rápida de fluxos de água até os rios adjacentes, especialmente em áreas impermeabilizadas pela urbanização. Esta situação causa um pico elevado e rápido de vazão levando a inundações bruscas, que podem se extinguir em questões de horas, mas sempre causam prejuízos e, às vezes, mortes.

Neste sentido, foi realizado o mapeamento de drenagem estendida até as vertentes côncavas na bacia do rio Imboaçú (Figura 7) e calculada a densidade de drenagem. O valor da densidade de drenagem do mapa de drenagem estendida foi comparado aos valores encontrados nas bases cartográficas da FUNDREM e do PDBG. Deste modo, na base cartográfica da FUNDREM a bacia hidrográfica do rio Imboaçú possui 20,8 km de comprimento total de canais. Por outro lado, na base cartográfica do PDBG os canais apresentam extensão total de 19,8 km. Por fim, no mapeamento de drenagem estendida foi encontrado um valor de 55,1 km de canais disponíveis ao escoamento. Tais extensões foram divididas pela área total da bacia em km<sup>2</sup> e originaram a densidade de drenagem (Tabela 1).



**Figura 7:** Mapa de drenagem estendida da bacia do rio Imboaçú. Fonte: Autoria própria.

**TABELA 1:** Densidade de drenagem da bacia hidrográfica do rio Imboaçú em três mapeamentos distintos.

Mapeamentos	Área da bacia (Km <sup>2</sup> )	Extensão do canal (Km)	Densidade de Drenagem
FUNDREM	12,6	20,8	1,6
PDBG	12,6	19,8	1,5
DRENAGEM ESTENDIDA	12,6	55,1	4,4

Fonte: Autoria própria, 2016.

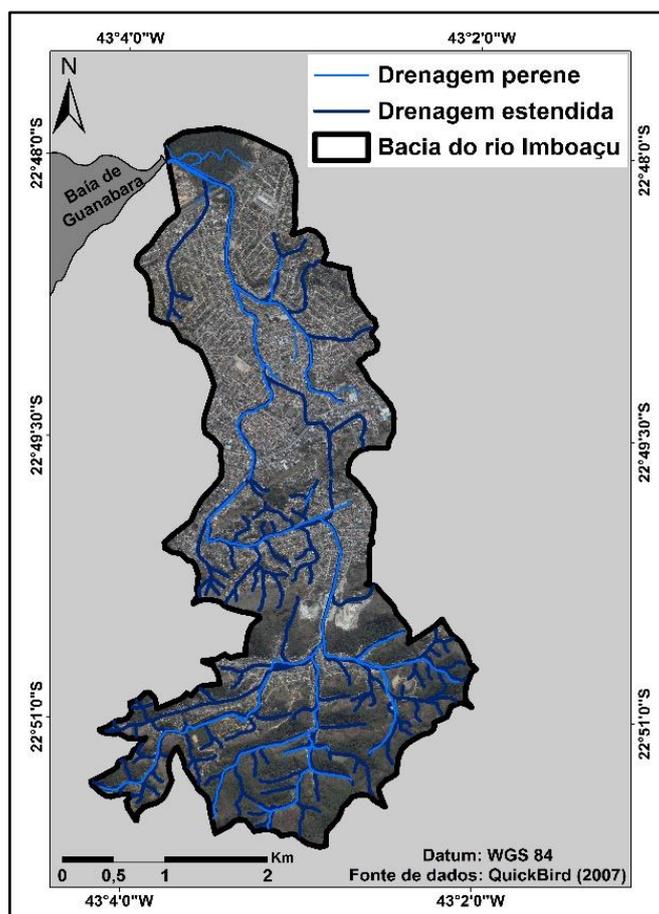
Na base cartográfica da FUNDREM a densidade de drenagem encontrada foi 1,6 km/km<sup>2</sup>, enquanto no PDBG foi encontrado o valor de 1,5 km/km<sup>2</sup>. Com base nesses valores, a bacia hidrográfica do rio Imboaçú seria classificada como uma bacia mediantemente drenada (VILLELA e MATTOS, 1975). Contudo, se considerarmos todas as concavidades (áreas de convergência de fluxos na encosta), a densidade de drenagem da bacia chega a 4,4 km/km<sup>2</sup>. Assim, a bacia seria classificada como bem drenada (VILLELA e MATTOS, 1975).

A densidade de drenagem influencia diretamente no escoamento, pois quanto maior a densidade de drenagem, maior é a velocidade com que a água atinge o canal principal favorecendo assim a ocorrência de inundações à jusante (FRANCISCO, 1993; SOUZA, 2005). Segundo Francisco (1993), o fluxo de água se dirige com rapidez pelas encostas da

bacia, proporcionando o acúmulo das águas nas planícies. Deste modo, a alta densidade de drenagem na bacia do rio Imboaçú atrelada às características do relevo, que intercala terrenos com altitude elevada (alto curso) e superfícies de baixa altitude e pequena declividade (baixo curso), corroboram os eventos de inundação na bacia.

A bacia do rio Imboaçú ocupa predominantemente o centro da cidade, área de maior densidade populacional e de serviços. Dessa forma, episódios de inundação geram prejuízos significativos, tanto às famílias residentes como ao comércio instalado ali. Conforme demonstra a imagem do satélite QuickBird do ano de 2007, a referida bacia encontra-se majoritariamente impermeabilizada devido à ocupação urbana, com exceção de um trecho de mangue em sua foz, parte integrante da APA de Guapimirim, e às encostas com maior declividade presentes na APA do Engenho Pequeno (Figura 8).

O alto curso da bacia (ao sul) é aquele que apresenta menor impermeabilização devido à menor densidade de ocupação urbana, embora verifique-se o avanço desta ao longo de eixos de drenagem, onde a declividade é menor (3% a 20%). Apesar desta área fazer parte da Área de Proteção Ambiental do Engenho Pequeno, nos últimos anos nota-se o aumento de construções. Em contrapartida, o médio curso da bacia apresenta urbanização mais densa, sendo possível perceber o avanço das construções residenciais sobre as encostas de um maciço localizado próximo ao Centro da cidade (Morro Menino de Deus), que não ultrapassa 50m de altitude. O morro alterna encostas fortemente onduladas e montanhosas, cujos valores de declividades variam de 20% a 75%, no entanto, encontra-se quase totalmente tomado por moradias.



**FIGURA 8:** Imagem do satélite QuickBird (2007) evidenciando a densidade de urbanização na maior parte da bacia do rio Imboaçú. Fonte: Autoria própria.

A crescente urbanização acontece no médio curso da bacia devido à proximidade com o centro da cidade de São Gonçalo (Figura 9, fotografias B e C), situado no baixo curso. Neste, por sua vez, a urbanização apresenta-se ainda mais densa. Além de abarcar o centro da cidade e uma importante via que corta o município (BR-101), o baixo curso da bacia possui cotas altimétricas que não ultrapassam 50m (Figura 9, fotografia D). Os terrenos nesta região variam de planos a suavemente ondulados, onde a inclinação não ultrapassa 8%. Tais características do relevo favorecem o estabelecimento da população nessa porção da bacia. No entanto, é uma das áreas mais atingidas por inundações causando grandes transtornos à população.



**Figura 9:** Fotografias ilustrando as diferentes características geomorfológicas e de uso urbano presentes na Bacia Hidrográfica do rio Imboaçú. A) Relevo de morros no alto vale da bacia; B e C) Relevo colinoso e de morros no médio vale, no C há destaque para a Pedreira Carioca; D) Relevo de planície na foz do rio Imboaçú (Fonte: saogonçalo.rj.gov.br).

## 5. Considerações Finais

O município de São Gonçalo (Leste metropolitano do Rio de Janeiro) possui pequenas bacias hidrográficas bastante descaracterizadas, tanto em sua aparência (rios assoreados com diversos tipos de resíduos sólidos urbanos, outros canalizados com manilhas etc.) como em seu funcionamento, devido à intensa ocupação urbana. Nas últimas décadas, a cidade tem vivenciado uma série de transformações que interferem diretamente nas funções desempenhadas pelos sistemas ambientais ali presentes. Construções urbanas (morarias, prédios, ruas e grandes avenidas) ocuparam as planícies fluviais e encostas das bacias hidrográficas, desconsiderando suas características físicas naturais e alterando seu funcionamento dinâmico.

A Bacia Hidrográfica do rio Imboaçú, totalmente inserida no município, apresenta um representativo contexto de descaracterização, com casos frequentes de inundações. As maiores altitudes dos terrenos presentes no alto e médio vale da bacia, bem como a declividade acentuada proporcionam o escoamento superficial dos fluxos de água mais rapidamente para os terrenos planos, localizados majoritariamente no baixo vale da bacia. A pequena dimensão da referida bacia também a torna muito sensível aos episódios intensos de precipitação devido ao reduzido tempo de concentração de fluxos superficiais.

Destaca-se ainda, que a planície flúvio-marinha no baixo vale é composta por material de baixa porosidade (que deram origem a Gleissolos), facilitando assim o acúmulo de água. Além disso, esta encontra-se sujeita à oscilação de maré devido à proximidade com a Baía de Guanabara.

A realização de uma análise acerca das intervenções urbanas na bacia mostrou a extinção de alguns canais de primeira ordem. Estes nascem em colinas suaves, áreas onde a ocupação urbana tem se mostrado muito densa e com pouca infraestrutura. Na Bacia Hidrográfica do rio Imboáçu o soterramento desses pequenos canais está ligado, sobretudo, à impermeabilização dos solos para a construção de arruamentos e moradias. A substituição dos canais de primeira ordem por superfícies impermeáveis proporciona o aceleração da chegada das águas pluviais ao canal principal, que tem sua vazão aumentada rapidamente, extravasando suas margens e inundando ruas, casas etc. Relacionado a isso, tem-se ainda a alta densidade de drenagem da bacia do rio Imboáçu, se consideradas todas as concavidades onde correm fluxos de água em eventos de precipitação intensa. Quanto maior a densidade de drenagem, maior é a velocidade com que a água alcança o leito principal.

Contudo, a Bacia Hidrográfica do rio Imboáçu é beneficiada pelo fato de estar situada totalmente dentro dos limites municipais. Tal fato favoreceria o melhor planejamento e gestão da bacia visando prevenir sua degradação e mitigar os possíveis impactos negativos de ordem hidrogeomorfológica, como as inundações.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Iniciação Científica e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro à pesquisa.

### Referências

AFONSO, A. E. RODRIGUES, F. S.; ARMOND, N. B.; BRANDÃO, R. P.; MORELLI, R. C. Análises da Dinâmica Fluvial do Rio Imboáçu (São Gonçalo, RJ): um enfoque a partir da consciência ambiental. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2, 2008, Rio de Janeiro. *Anais...*, Rio de Janeiro: ABRH, 2008. p. 1-18.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres naturais: Conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 39-52.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (orgs). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153-192.

- CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. Os Solos do Estado do Rio de Janeiro. In: **Projeto Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2001.
- CHEN, J.; HILL, A. A.; URBANO, L. D. A GIS-based model for urban flood inundation. **Journal of Hydrology**, 2009, n. 373, p. 184–192.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2ª edição, 1980.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 211-252.
- DANTAS, M. E. Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. In: **Projeto Rio de Janeiro**. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Rio de Janeiro, 2000.
- DANTAS, M. E.; MEDINA, A. I. M. Geomorfologia. In: MEDINA, A. I. M.; DANTAS, G. M. E.; SHINZATO, E. (Orgs.) **Projeto Porto Seguro-Santa Cruz Cabralia: diagnóstico geoambiental**, 7. Salvador: CPRM/SUREG/SA, 2000. p. 9-30.
- ESRI, Environmental Systems Research Institute. Disponível em: <<http://doc.arcgis.com/pt-br/arcgis-online/>> Acesso em: 30 jun. 2015.
- FARIA, A. P.; MARQUES, J. S. O desaparecimento de pequenos rios brasileiros. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 146, 1999. p. 56-61.
- FERNANDES, R.A.N. Notas para uma história ambiental de São Gonçalo: o processo de ocupação do território gonçalense. In: GUERRA, M. (org.) **Estudos ambientais em regiões metropolitanas: São Gonçalo**. Rio de Janeiro: Eduerj, 2012.
- FRANCISCO, C. N. Análise de áreas de riscos à inundações na baixada da Guanabara: o caso da bacia do Rio Inhomirim (RJ). In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física, 2, 1993, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: Depto. de Geografia-USP, 1993.
- FUJIMOTO N. S. V. M. Considerações sobre o ambiente urbano: um estudo com ênfase na geomorfologia urbana. **Revista do Departamento de Geografia**, n.16, 2005. p. 76-80.
- GOMES, B. P. L. **Análise temporal e espacial da precipitação no Leste Metropolitano do Rio de Janeiro como subsídio à avaliação de inundações urbanas**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Geografia) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2009.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@. Disponível em: <<http://www.Ibge.gov.br/cidadesat>> Acesso em: 20 abr. 2015.
- MACHADO, R. A. S.; LOBÃO, J. S. B. ; VALE, R. M. C.; SOUZA, A. P. M. J. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBSR, 2011. p. 1441-1448.

MOURA, R. Políticas públicas urbanas: ausência e impactos. In: MENDONÇA, F. (org.) **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba: Ed. UFPR, 2004. p. 149-168.

NASA, *National Aeronautics and Space Administration*. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>> Acesso: 28 jul. 2015.

PMSG, Prefeitura Municipal de São Gonçalo. Disponível em: <<http://www.saogoncalo.rj.gov.br>> Acesso em: 30 mar. 2015.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: VENTURI, L. A. B. (Org.) **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficinas de textos, 2005. p. 147-166.

ROSA, L. C. M. CARVALHO, L. C.; CASTRO, A. C. P.; SALGADO, C. M. Precipitação e enchentes no município de São Gonçalo (RJ). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 9, 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, vol. 1, 2010. p. 1-9.

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, nº 12, 1998. p. 89-121.

SILVA, C. A. Processo de urbanização em São Gonçalo no contexto metropolitano do Rio de Janeiro e suas consequências socioambientais. In: GUERRA, M. (org.) **Estudos ambientais em regiões metropolitanas: São Gonçalo**. Rio de Janeiro: Eduerj, 2012. p. 41-56.

SOUZA, C. R. G. Suscetibilidade Morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, nº 1, 2005. pp. 45-61.

VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. Mudanças na rede de drenagem urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.) **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001. p. 111-143.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Bacia hidrográfica. In: VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. p. 6-28.