

## **IX-075 - IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO E VELOCIDADE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS COM AUXÍLIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

### **Gabriela Nogueira Ferreira da Silva<sup>(1)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação de Goiás. Geógrafa pela Universidade Federal de Goiás. Mestre em Engenharia do Meio Ambiente pela Universidade Federal de Goiás.

### **José Vicente Granato de Araújo**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Goiás. Mestre em Engenharia Civil e Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento pela Oklahoma State University. Gerente de Hidrogeologia da Diretoria de Engenharia da Saneamento de Goiás S/A. Professor Associado Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.

### **Klebber Teodomiro Martins Formiga**

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande. Doutor pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Goiás.

### **Néstor Aldo Campana**

Possui graduação em Ingeniería de Recursos Hídricos pela Universidad Nacional del Litoral – Argentina. Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é Professor Associado I da Universidade de Brasília.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Escola de Engenharia Civil - UFG - Goiânia – Goiás. Praça Universitária s/n, Setor Universitário. CEP-74605-220 – Fone: (62) 3209-6084. e-mail: gabriela.nfs@gmail.com

## **RESUMO**

Problemas urbanos provocados pelo crescimento desordenado de cidades e planejamentos inexistentes ou ineficazes quanto à impermeabilização do solo podem influenciar negativamente o escoamento superficial e as taxas de infiltração aumentando a velocidade de escoamento, os picos de cheia e o carreamento de poluentes de montante a jusante. Procurando estudar o comportamento da água da chuva em ambientes urbanos esta pesquisa buscou analisar os impactos decorrentes da impermeabilização do solo na velocidade de escoamento a partir de informações topográficas e de cobertura da terra em bacias desprovidas de consistentes séries históricas de dados hidrológicos através do uso de ferramentas de geoprocessamento. Para tornar possível a realização desse trabalho, foram utilizados os dados disponibilizados pela prefeitura municipal de Goiânia, que foram armazenados em um banco de dados geográfico. O cruzamento dessas informações em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) possibilitou a caracterização da área de estudo e a estimativa das velocidades para três cenários de uso e ocupação da terra: bacia natural sem ocupação humana; bacia antropizada com respeito à legislação ambiental vigente e bacia com situação atual de uso e ocupação. As análises dos resultados apontaram a baixa suscetibilidade a enchentes frente a condicionantes naturais da bacia do córrego Botafogo. A alta taxa de impermeabilização do solo e as diferenças de velocidade de escoamento superficial em detrimento de cada cenário de uso da terra evidenciaram a importância da manutenção de Áreas de Preservação Permanente em áreas urbanas. A análise dos dados a partir da metodologia proposta apontou uma taxa de impermeabilização do solo para o Cenário atual de 68,2% sendo que sua drenagem principal, o córrego Botafogo possui 58,8% de sua extensão canalizada. Os mapas apresentados indicaram que as maiores velocidades estão nas redes de drenagem sendo que para o caso do Cenário 3 chegaram a 5m/s (drenagem canalizada). As matas ciliares do Cenário 2 amortecem a velocidade da água que chega nas drenagens diminuindo os riscos de assoreamentos e enchentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoprocessamento, Áreas urbanas, Impermeabilização do solo, Velocidade de escoamento.

## **INTRODUÇÃO**

O constante crescimento urbano, embora positivo em alguns aspectos, uma vez que nenhum país na era industrial conseguiu atingir um desenvolvimento econômico significativo sem a urbanização, vem influenciando negativamente os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, podendo provocar uma série de mudanças no ambiente e alterar as condições hidrológicas naturais de forma qualitativa e quantitativa. Carvalho e Braga (2001) afirmam que a urbanização modifica todos os elementos da paisagem: o solo, a geomorfologia, a vegetação, a fauna, a hidrografia, o ar e o clima. De todas estas modificações, a impermeabilização do solo se destaca por influenciar negativamente o escoamento superficial e as taxas de infiltração, aumentando entre outros aspectos, a velocidade de escoamento, os picos de cheias e o carreamento de poluentes de montante a jusante ao longo da bacia.

Os problemas urbanos causados por enchentes e inundações podem provocar perdas (materiais e humanas) e o estudo do comportamento hidrológico nessas áreas é de extrema importância na mitigação desses impactos. A estimativa da velocidade de escoamento superficial em função do uso e ocupação da terra pode levar a uma melhor compreensão do impacto que a impermeabilização do solo causa no escoamento da água da chuva, podendo ser analisado também os impactos provocados por intervenções humanas, tais como criações ou extinções de parques, reflorestamento e redimensionamento de sistemas de escoamento pluvial. Estes estudos podem fornecer elementos mais precisos para o aprimoramento dos projetos de drenagem urbana e estimular a adoção de medidas, de tal forma que a impermeabilização em certas áreas não altere a vazão de pico que existia em condições naturais da bacia hidrográfica.

O recorte geográfico escolhido foi a bacia hidrográfica do córrego Botafogo, localizada na cidade de Goiânia, estado de Goiás, tendo em vista que esta área possui um córrego canalizado altas taxas de impermeabilização e verticalização e apresenta alguns problemas em detrimento do mau uso dos recursos hídricos como, por exemplo, pontos de alagamento identificados pelo Zoneamento Ecológico da cidade.

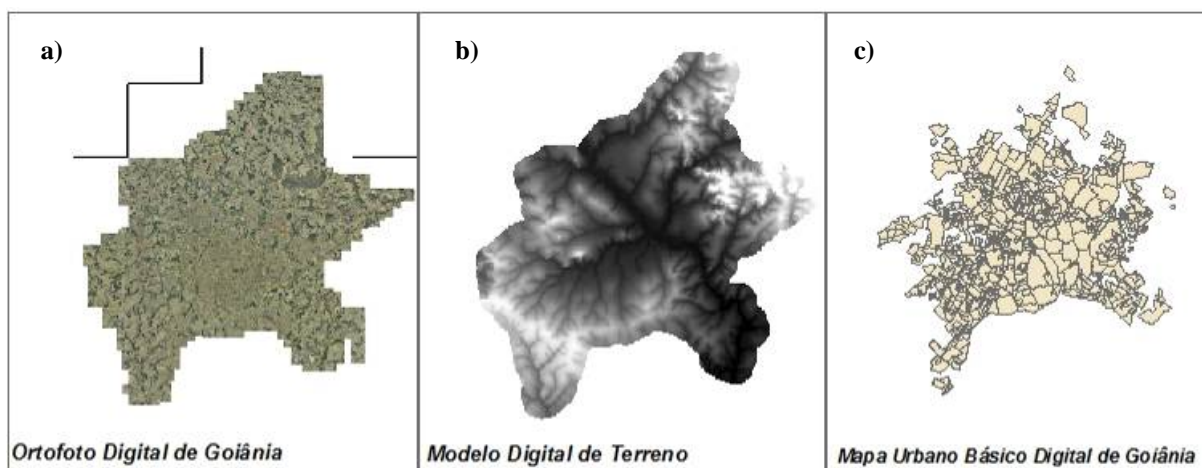
Com a proposta de estudar o comportamento da água da chuva que escoar superficialmente em áreas urbanas, esta pesquisa tem como objetivo principal analisar os impactos decorrentes da impermeabilização do solo na velocidade de escoamento a partir de informações do relevo e cobertura do solo em bacias desprovidas de consistentes séries históricas de dados hidrológicos através do uso de ferramentas de geoprocessamento.

## **METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento desta pesquisa inicialmente foram definidos os objetivos gerais e específicos e, na sequência, foi iniciada a revisão bibliográfica que se estendeu durante todo o período, quando foi realizado o inventário e análise de dados. Tal revisão buscou o levantamento das informações e resultados de pesquisas sobre o comportamento do escoamento superficial com foco na utilização de técnicas de geoprocessamento como forma de automatizar o processo, incluir dados físicos (geomorfológicos) e viabilizar estudos em áreas que ainda não possuísem séries extensas de dados hidrológicos como chuva e vazão.

Posteriormente foi realizada a montagem do banco de dados geográfico (Figura 1) utilizando procedimentos mais adequados às características da área de estudo (bacia urbana, altamente impermeabilizada e desprovida de dados hidrológicos detalhados). Os dados utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foram:

- a) Ortofoto digital de Goiânia obtida a partir do levantamento aéreo realizado no segundo semestre de 2006, pela empresa TOPOCART, com exatidão gráfica classe A para a escala de 1:5000, segundo constatação de auditoria técnica da prefeitura de Goiânia (Nazareno et al., 2007);
- b) Modelo Digital de Terreno (MDT) do mesmo município, disponibilizado pela prefeitura de Goiânia gerado a partir de informações sobre a altimetria que por sua vez foram extraídas do conjunto de Ortofotos digitais do município, com resolução espacial de 4,8 m;
- c) Base de dados contidos no Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia (MUBDG) versão 22, disponível através de aquisição junto à Companhia de Processamento de dados (Comdata) e Zoneamento Ecológico e Econômico (ZEE) de 2008.



**Figura 1 - Base de dados utilizada. Arquivos *raster*: (a) e (b) e vetoriais (c) representado pelo limite dos bairros.**

Estudos realizados por Silva e Araújo (2011), descrevem a caracterização da bacia hidrográfica do córrego Botafogo a partir de diferentes dados de entrada (SRTM disponível para *download*, com abrangência nacional, no sítio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa e do MDT do município de abrangência municipal) e seus resultados são apresentados na Tabela 1. A comparação dos dados, sobrepondo os vetores gerados à *Ortofoto* da cidade, mostrou a maior precisão do MDT em relação ao SRTM, sobretudo na visualização de vertentes e de obras de infra-estrutura urbana como ruas.

**Tabela 1 - Resumo das características morfométricas da bacia do córrego Botafogo.**

Tipo de Imagem	SRTM	MDT
Resolução Espacial	90 m	5 metros
Área da Bacia	19,1 km <sup>2</sup>	20 km <sup>2</sup>
Perímetro	23,5 km	26,6 km
Comprimento do Rio Principal	9,6 km	10,2 km
Comprimento da Bacia	10,2 km	10,9 km
Cota mais alta	842 metros	861 metros
Cota mais baixa	713 metros	696 metros
Desnível entre o exutório e a cabeceira do rio	129 metros	165 metros
Declividade do canal principal	1,34%	1,62%
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,50	1,66
Fator de forma (Kf)	0,18	0,17

Fonte: Silva e Araújo (2011).

As informações anteriormente mencionadas foram organizadas em um banco de dados georreferenciado que possibilitou a delimitação da área de estudo e extração de suas características físicas. Foram utilizadas coordenadas planas, projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum SAD\_1969 e Fuso 22 Sul. Posteriormente foram elaborados três cenários de uso e ocupação da terra que possibilitaram a criação dos diferentes mapas de velocidade de escoamento de acordo com os possíveis usos, com a finalidade de analisar o impacto da intervenção humana sobre o escoamento superficial.

Após a delimitação da área de estudo utilizando MDT, com resolução espacial de aproximadamente 4,8 metros, iniciaram-se os procedimentos metodológicos para o levantamento das características da área de estudo. Tais procedimentos seguiram a metodologia de Horton (1945) e Strahler (1957) e Villela e Mattos (1975). Os demais dados foram obtidos através do MUBDG.

O Plano Diretor da Cidade aponta a necessidade de conceituar, identificar e classificar os espaços representativos do Patrimônio Ambiental, definindo o uso e a ocupação de forma disciplinada, visando à preservação do meio ambiente e da qualidade de vida. A utilização de informações sobre o uso da terra é um item fundamental para o entendimento da dinâmica de organização do espaço e dos impactos causados pela intervenção humana.

Partindo desse pressuposto foram idealizados e construídos três cenários de uso da terra para a área de estudo em questão. O primeiro cenário considerou a área totalmente arborizada e com suas drenagens naturais; o segundo mostra como seria a bacia hidrográfica caso houvesse a preservação das Áreas de Preservação e Proteção Ambiental identificadas pelo ZEE do município e o terceiro e último cenário corresponde à condição atual de intervenção antrópica com as áreas impermeabilizadas e parte dos cursos d'água canalizados.

A elaboração dos diversos cenários teve como base a *Ortofoto* de Goiânia em escala 1:5,000. Esse arquivo possui alta resolução espacial (60 cm) e é considerado eficaz no estudo de áreas urbanas. Para a construção do Cenário 3, que corresponde a situação atual, foi realizada uma classificação no programa SPRING<sup>1</sup> versão 5.1.8. O primeiro passo foi segmentar a imagem, ou seja, dividi-la em regiões correspondentes às áreas de interesse da aplicação. Para isso foi usado o processo de crescimento de regiões, que consiste em uma técnica de agrupamento de dados, na qual somente as regiões adjacentes espacialmente podem ser agrupadas.

Essa técnica permite extrair um conjunto mais rico de atributos e seleciona amostras mais representativas de cada classe. Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada *pixel* como uma região distinta, calculando um critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente. Tal critério se baseia no valor da distância Euclidiana mínima entre as médias das regiões consideradas. Outro limiar adotado nessa técnica é o valor da área mínima dado em número de *pixels*, para que uma região seja individualizada, sendo desta forma, o tamanho mínimo que cada segmento deve possuir na operação de segmentação (NASCIMENTO E ALMEIDA FILHO, 1996).

Para a determinação desses limiares foi utilizado o método empírico que, de acordo com Zhang (1996), permite examinar e avaliar um algoritmo de forma indireta, utilizando alguns parâmetros como forma e uniformidade dos segmentos, além da diferença espectral das regiões extraídas pelo algoritmo. Neste estudo foram testados vários limiares de similaridade e áreas de *pixel* sendo que os valores de 40 para similaridade e 30 para área de *pixel* os que apresentaram maior uniformidade na detecção dos alvos.

O classificador utilizado foi o ISOSEG que, segundo Bins *et al.* (1996), é um algoritmo que procura agrupar regiões, a partir de uma medida de similaridade entre elas, e utiliza os atributos estatísticos das regiões, a matriz de covariância e a média, para estimar o valor central de cada classe. As classes selecionadas inicialmente foram: área impermeabilizada, grama, vegetação arbórea, solo exposto e água. Para a obtenção de um bom resultado com esta classificação foi necessária a escolha de um número razoavelmente elevado de *pixels* para cada amostra de treinamento da classe.

Os problemas identificados nessa etapa foram em relação à confusão de alvos em detrimento da heterogeneidade de áreas urbanas. Algumas áreas como sombras de prédios e sombras de dossel de árvores foram confundidas espectralmente com a vegetação e, áreas de telhado, foram confundidas com solo exposto. Após a classificação, processo que nem sempre é totalmente preciso (devido a confusão espectral dos alvos citadas acima), o arquivo em formato *raster* foi transformado em arquivo vetorial e exportado para o ArcGis passando posteriormente por um processo de edição visando minimizar os erros encontrados.

A etapa de edição foi feita manualmente com o auxílio da *Ortofoto* sobreposta ao arquivo vetorial classificado. A rede de drenagem, os lagos e os parques foram extraídos do MUBDG e adicionados ao arquivo que foi reclassificado em: grama, vegetação arbórea, drenagem canalizada, drenagem natural, lago e área impermeabilizada.

---

<sup>1</sup> Este SIG, desenvolvido e aprimorado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), possui funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

Após a etapa descrita anteriormente procedeu-se a correção dos erros de topologia (relacionamentos espaciais entre feições), quando foram detectados 2241 erros topológicos, dos quais 2238 correspondiam a intersecções entre os polígonos, e 3 a fendas entre os polígonos.

Com o mapa de uso do Cenário atual concluído, foi elaborado o mapa correspondente ao Cenário 2, de acordo com o Zoneamento Ecológico e Econômico (ZEE) do município que possui dados sobre as APP's (importantes na preservação dos recursos hídricos, promoção de um maior conforto ambiental e redução do escoamento superficial). O arquivo vetorial, que contém os dados de Proteção e Preservação Ambiental do ZEE, foi adicionado ao mapa de uso e ocupação da terra gerado na etapa anterior por meio do processo de edição de arquivos vetoriais. As classes deste Cenário foram: grama, vegetação arbórea, drenagem natural, lago e área impermeabilizada.

O outro cenário, Cenário 1, foi simulado classificando a bacia em vegetação arbórea, rios e lagos. A partir desses dados foi estimada para cada Cenário a taxa de impermeabilização do solo e as áreas referentes a cada classe.

Para o cálculo da velocidade de escoamento em cada *pixel* foi necessário utilizar os mapas de uso da terra, no qual foi atribuído a cada classe um valor considerado como coeficiente de aptidão de escoamento da superfície (definido nesta pesquisa como *k*) e a declividade gerada a partir do MDT. A estimativa da velocidade foi feita através de álgebra de mapas (arquivos matriciais) com a utilização da fórmula descrita na Equação 1.

$$V = k * \sqrt{S} \quad \text{equação (1)}$$

onde: *V* = velocidade de escoamento no *pixel* (m/s);  
*k* = coeficiente de aptidão de escoamento da superfície (adimensional);  
*S* = declividade dada em porcentagem (%).

Os valores do coeficiente de escoamento de aptidão da superfície foram definidos classificando o uso da terra em três categorias: solo, lago e drenagem. Para a categoria solo foi utilizada a tabela do *Soil Conservation Service*, SCS (1975) transcrita na Tabela 2.

**Tabela 2 - Valores de (k) definidos para a categoria solo.**

Uso da terra	Coeficiente ( <i>k</i> )
Floresta com muita folhagem no solo	0,076
Área com pouco cultivo, terraceamento	0,152
Pasto ou grama baixa	0,216
Áreas cultivadas	0,274
Solo quase nu sem cultivo	0,305
Caminhos de escoamentos em grama, pasto	0,457

Fonte: *Soil Conservation Service* - SCS (1975).

Para os lagos foi adotada uma velocidade de 0,01 m/s e a rede de drenagem foi dividida em duas: natural e canalizada. Neste caso, o valor de *k* foi estimado seguindo a fórmula de Manning para velocidade nos canais (Equação 2).

$$k = 1/\eta * R^{(2/3)} \quad \text{equação (2)}$$

onde: *k* = coeficiente de aptidão de escoamento da superfície;  
 $\eta$  = coeficiente de rugosidade de Manning;  
*R* = Raio hidráulico (razão entre a área molhada e o perímetro molhado).

Para este estudo foram utilizados dois valores do coeficiente de Manning de acordo com as características da rede de drenagem, ou seja:  $\eta$  igual a 0,017 para região revestida de concreto e  $\eta$  igual a 0,030 para regiões revestidas com gabião ou drenagem natural (média dos valores de  $\eta$  para gabião e drenagem natural). Para a



determinação do raio hidráulico foi considerado o enchimento até a metade da altura do canal, com uma média de área molhada de  $4,5 \text{ m}^2$  e uma média do perímetro molhado de 6 m. Os valores de  $k$  adotados para cada classe de uso do solo empregada neste trabalho são apresentados na Tabela 3.

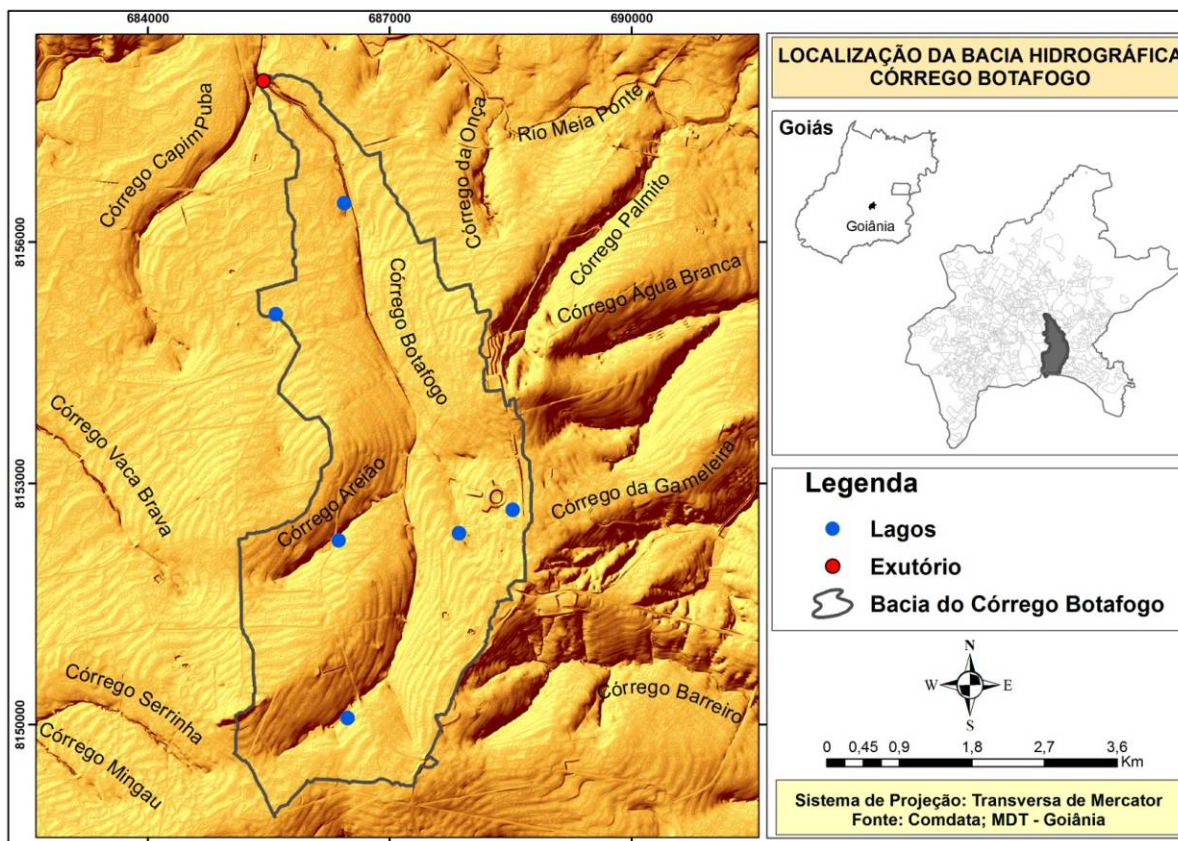
As áreas impermeáveis receberam um  $k$  igual a 10,7 que é resultado da equação de Manning modificada por Izzard. Tal equação é utilizada para cálculo do valor limite de escoamento superficial nas sarjetas e emprega como variáveis o coeficiente de rugosidade de Manning, a declividade transversal e a declividade longitudinal.

**Tabela 3 - Coeficientes ( $k$ ) utilizados na pesquisa.**

Uso do Solo/ Corpos hídricos	Coeficiente ( $k$ )
Área Impermeabilizada	10,7
Vegetação Arbórea	0,076
Grama	0,216
Drenagem canalizada	48,2
Drenagem natural	27,3

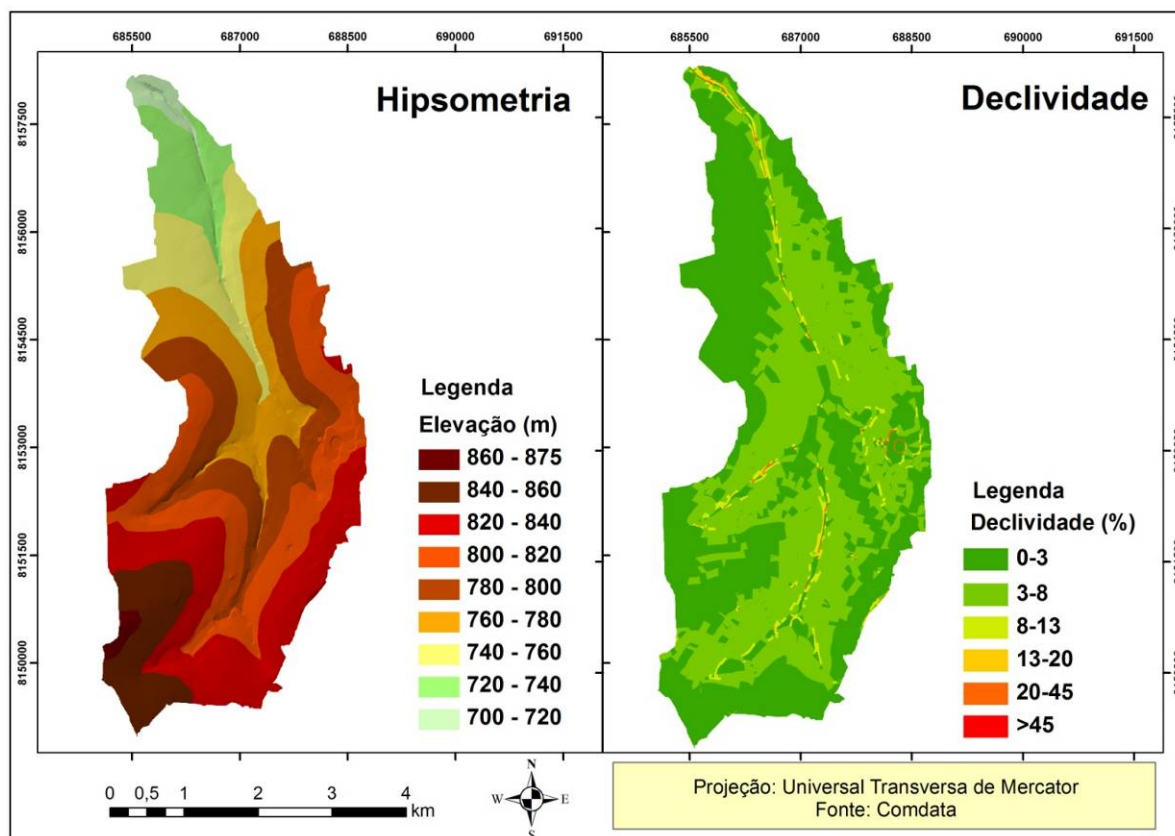
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da metodologia descrita anteriormente obteve-se o recorte da área de estudo e o levantamento de suas características físicas e a estimativa de velocidade de escoamento, proporcionado pela manipulação de dados em ambiente SIG. A área de estudo em questão, apresentada na Figura 2, é a bacia do córrego Botafogo que é uma sub-bacia do Ribeirão Anicuns e está localizada na macrozona construída do município de Goiânia, capital do estado de Goiás. Com ponto de exutório situado nas coordenadas  $16^{\circ}39'11,21''$  Sul e  $49^{\circ}39'40,71''$  Oeste, a área de estudo está inserida na zona urbana do município de Goiânia, possui uma área de aproximadamente  $20 \text{ km}^2$ , perímetro de 26,6 km e abrange 29 bairros da capital.



**Figura 2 - Mapa de localização da bacia do córrego Botafogo.**

A hidrografia da área é composta por 5 lagos e pelos córregos Botafogo e Areião. O relevo local, que é predominantemente plano, com declividade média de 2,9% e um desvio padrão de 2,4%, apresenta altitudes que variam de 696 (no exutório) a 861 metros com uma elevação média de 796 metros em relação ao nível do mar (Figura 3).



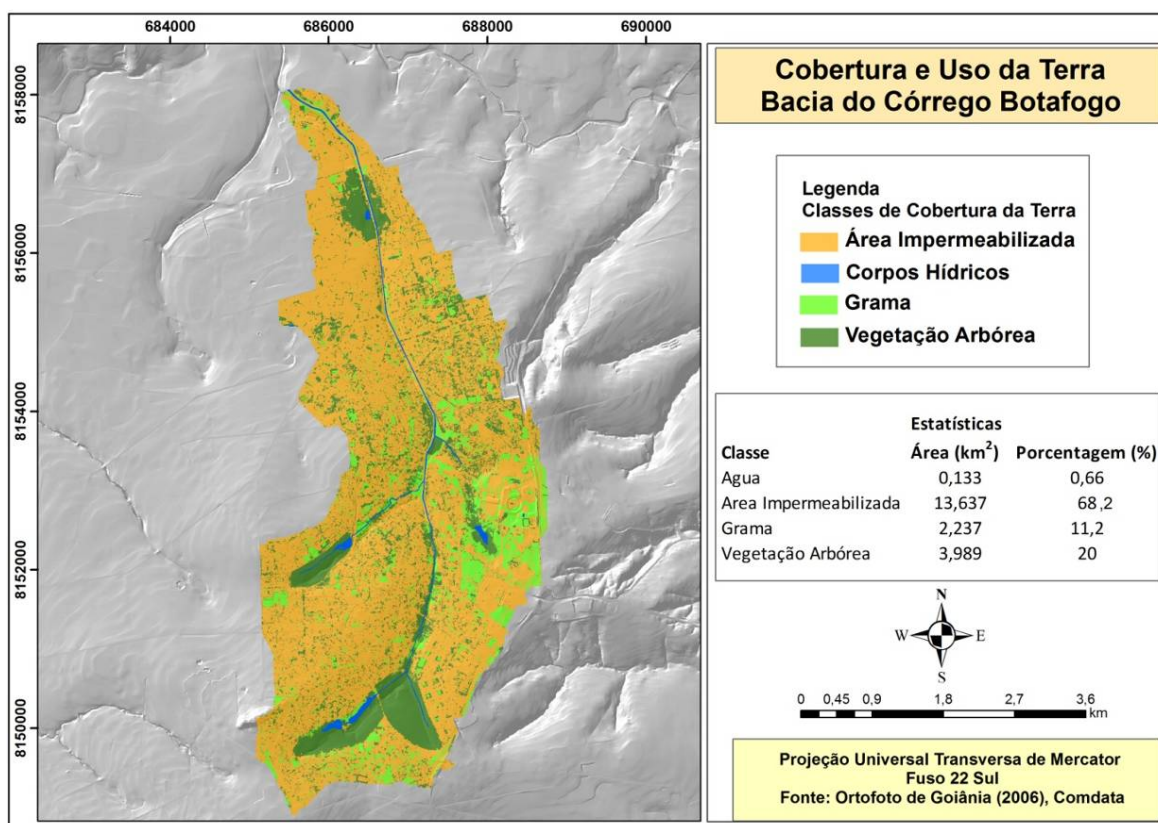
**Figura 3 - Hipsometria e declividade da bacia hidrográfica do córrego Botafogo.**

Com sua nascente no Jardim Botânico, o córrego Botafogo percorre 10,2 km até o exutório sendo que 6 km deste total encontram-se canalizados, correspondendo a 58,8% de sua extensão. O coeficiente de compacidade é 1,66 e o seu fator de forma é 0,17 o que mostra que a bacia é pouco sujeita a enchentes frente a condicionantes naturais. A densidade de drenagem da bacia é de 0,65 (valor que varia de 0,5 km/km<sup>2</sup> para bacias de drenagem pobre, a 3,5 km/km<sup>2</sup> ou mais para bacias bem drenadas). De acordo com o métodos de Strahler (1957), o córrego Botafogo, que é um córrego perene, com água durante todas as estações do ano, é classificado como sendo de ordem 2.

A partir da classificação realizada sobre a Ortofoto de Goiânia que resultou em um mapa de uso e ocupação da terra (Figura 4) pode-se observar a alta taxa de impermeabilização do solo que é de 68,2% e que as áreas permeáveis (grama e vegetação arbórea) somadas correspondem a 31,2% da área total da bacia. As áreas que correspondem à preservação de vegetação arbórea estão concentradas nos parques das cidades e circundam os lagos.

A mata ciliar que de acordo com o Plano Diretor da Cidade (2007), deveria possuir uma largura mínima de 50 metros, é praticamente inexistente principalmente na parte canalizada do córrego Botafogo. Com exceção dos corpos hídricos dentro de parques, não foi encontrado na área de estudo uma mata ciliar que possuísse no mínimo 50 metros de largura em faixa contínua.

Como descrito anteriormente, a velocidade de escoamento possui relação direta com o uso da terra e a declividade. Desta forma, quanto mais impermeável for uma área, maior será a velocidade de escoamento sobre ela. Para analisar o impacto da alta impermeabilização do solo na velocidade de escoamento da área de estudo, foram criados três cenários, numerados de forma a proporcionar uma melhor análise da influência da impermeabilização nas velocidades de escoamento.



**Figura 4: Mapa de Uso e Cobertura da Terra.**

A Tabela 4 faz uma comparação entre as classes dos Cenários 2 e 3 nos quais pode-se observar a diminuição da porcentagem de vegetação arbórea em mais de 6,6% e o aumento da área impermeabilizada (1,046%) e da porcentagem de grama (1,43%).

**Tabela 4 - Classes de uso do Cenário 2 e 3.**

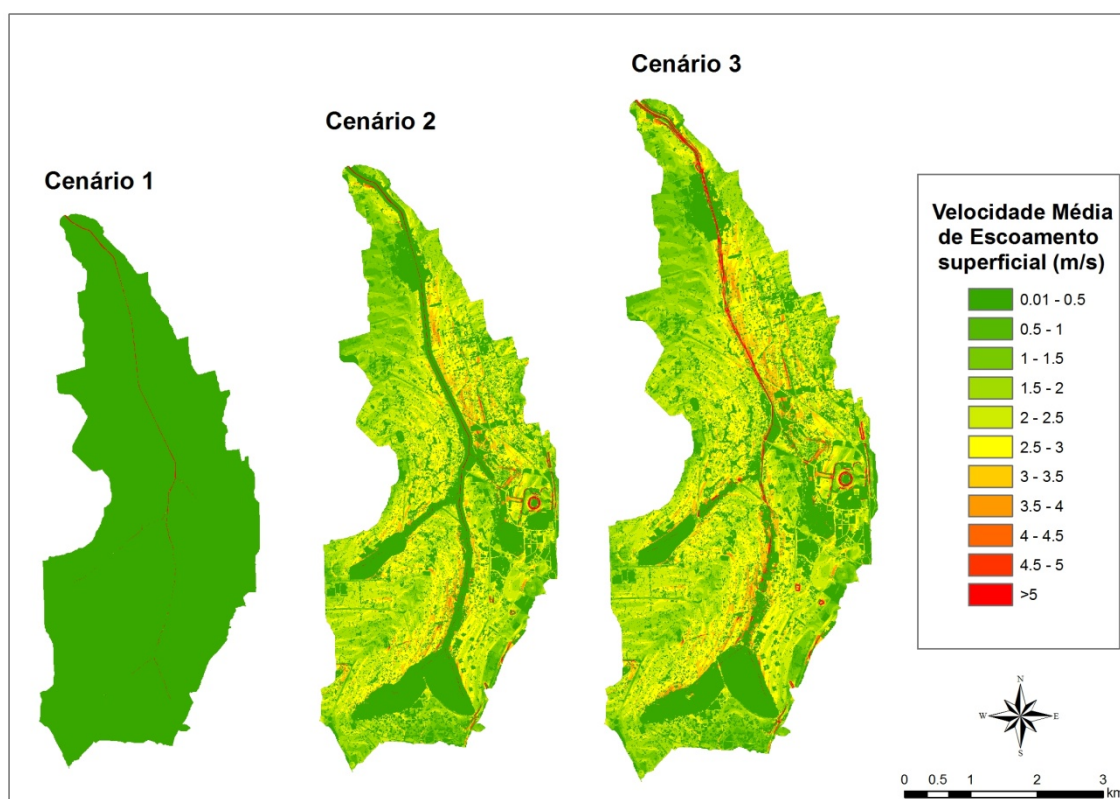
Cenário	Área Impermeabilizada		Corpos Hídricos		Grama		Vegetação Arbórea	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
2	12,59	62,95	0,13	0,66	1,95	9,77	5,32	26,59
3	13,64	68,18	0,13	0,66	2,24	11,18	3,99	19,94

Os dados mostrados acima revelam a supressão de vegetação arbórea que deveria existir na área de estudo caso fossem poupadas a preservação das APP's. A retirada dessa vegetação nativa, afeta, sobretudo os recursos hídricos uma vez que a vegetação atua como amortecedora das chuvas, evitando seu impacto direto e sua constante compactação. A vegetação, juntamente com toda a massa de raízes das plantas, permite também que o solo permaneça permeável e capaz de absorver a água da chuva, alimentando os lençóis freáticos, regulando o fluxo de água superficial e subsuperficial e evitando que o escoamento superficial excessivo de água carregue partículas de solo e cargas de poluentes vindas de fontes difusas.

A partir dos mapas de uso e ocupação da terra foram feitos, através de álgebra de mapas, os cálculos das velocidades de escoamento. A partir do mapa gerado pode-se observar que as maiores velocidades ficaram concentradas nas redes de drenagem e as menores em áreas de vegetação arbórea e lagos, como era esperado.

Os dados dos mapas apresentados na Figura 5 apresentam a mudança nos valores de velocidade por *pixel* de acordo com a mudança do uso e cobertura da terra. A partir do Cenário 2 ficou evidente o impacto da supressão da vegetação na velocidade de escoamento superficial e a importância da vegetação às margens das redes de drenagens. O desaparecimento dessa vegetação contribuiu para que a água da chuva chegasse ao rio com uma velocidade mais alta (caso do Cenário 3), proporcionando uma maior tendência a erosões e assoreamentos.





**Figura 5: Velocidade média de escoamento para os três cenários estudados.**

## CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou analisar os impactos decorrentes da impermeabilização do solo na velocidade de escoamento a partir de informações do relevo e cobertura do solo em bacias desprovidas de consistentes séries históricas de dados hidrológicos através do uso de ferramentas de geoprocessamento. A manipulação e análise desses dados em ambiente SIG possibilitaram obter informações necessárias para a criação de hidrogramas que buscam contribuir para a ampliação de conhecimentos em relação aos recursos hídricos em áreas urbanas.

Uma contribuição desse estudo foi analisar o impacto das mudanças no uso e ocupação da terra na velocidade de escoamento superficial e a importância do cumprimento da legislação vigente no que tange às Áreas de Preservação Permanente, em relação a sua contribuição no amortecimento da velocidade de escoamento superficial. Outra importante consideração refere-se à inserção da caracterização da área de estudo (relevo, declividade, geomorfologia e outros) nas análises hidrológicas.

Para tanto, foi criado um banco de dados georreferenciado com informações disponíveis junto à órgãos municipais, que possibilitou a caracterização da área de estudo, a criação de um mapa de uso e ocupação da terra e a simulação de cenários, com o objetivo de avaliar o impacto de intervenções antrópicas no escoamento superficial em áreas urbanas. Em paralelo, foi possível obter, por meio do MDT, dados de relevo que, em conjunto com os dados extraídos nos mapas de uso e ocupação da terra, permitiram a realização de cálculos que resultaram em estimativas de velocidades de escoamento para área de estudo.

Os resultados apresentados mostraram que a área de estudo consiste em uma região altamente urbanizada e impermeabilizada, na qual sua drenagem principal possui grande extensão canalizada, mostrando ainda que a área é pouco sujeita a enchentes frente a condicionantes naturais. Tal nível de impermeabilização do solo exerceu grande influência na velocidade de escoamento.

O estudo do escoamento superficial na bacia do córrego Botafogo em Goiânia-Goiás, através da metodologia mencionada neste trabalho, constitui em uma ferramenta com potencial para realizar a estimativa de parâmetros hidrológicos em bacias urbanas que ainda não possuem registros hidrológicos, visando à modelagem para

estudos de drenagem. Os resultados aqui apresentados se constituem em uma importante base para estudos hidrológicos, sobretudo em bacias com limitados dados hidrológicos de chuva e vazão. Ainda como sugestão é interessante que trabalhos futuros busquem obter as medições hidrológicas na bacia estudada visando calibrar os parâmetros adotados neste estudo e aferir os resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BINS, L.S.; FONSECA, L. M. G.; ERTHAL, G. J.; MITSUO, 1996. *Satellite imagery segmentation: a region growing approach*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, abr. 1996. Anais. São José dos Campos: INPE, 1996. Sessão de Comunicações Técnico Científicas. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2004/08.25.13.20/doc/capa.htm>. Acesso em: 18 set. 2011.
2. CARVALHO, P.F.; BRAGA, R. *Perspectiva de gestão ambiental em cidades médias*. Rio Claro: LPM-UNESP, 2001. 265 p.
3. COMDATA - Cia. de processamento de dados do município de Goiânia. MUBDG – Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia. CD-ROM Profissional Versão 22 – Parte integrante do SIGGO V22. Prefeitura de Goiânia. 2010.
4. GOIÂNIA (Município). *Lei Complementar nº 171*, de 29 de maio de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do município de Goiânia e dá outras providências. Plano diretor de Goiânia. Goiânia, 2007.
5. HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*. Boulder, v. 56, p. 275 - 370, 1945.
6. NASCIMENTO, P. S. R.; ALMEIDA FILHO R. *Utilização da técnica de segmentação em imagens TM/Landsat visando otimizar a técnica de interpretação visual*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, abr. 1996. Anais... São José dos Campos: INPE, 1996. Sessão de Comunicações Técnico Científicas. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2004/08.25.13.20/doc/capa.htm>. Acesso em: 18 set. 2011.
7. NAZARENO, N. R. X.; FERREIRA, N. C.; MACEDO, F. C. Avaliação da exatidão cartográfica da Ortofoto digital do município de Goiânia - GO. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente - SP, p. 889-896, 24-27 Julho 2007. ISSN 1981-6251.
8. SCS. Soil Conservation Service. *Hydrology, supplement A: section 4 of Engineering Handbook*. Department of Agriculture [S.I.:s.n.], 1957.
9. SEPLAM. Secretaria Municipal de Planejamento. *Zoneamento ecológico econômico*. Goiânia, 2008. 377 p.
10. SILVA, G. N. F.; ARAÚJO, J. V. G. *O uso do geoprocessamento no estudo de vulnerabilidade às enchentes urbanas a partir de diferentes dados de entrada*. In: V Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 2011, Feira de Santana. Anais... Feira de Santana: UEFS, 2011. p. 1-4.
11. STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *New Haven: Transamerican Geophysics University*, v. 38, p. 913 - 920, 1957.
12. TUCCI, C. E. M. Controle de Enchentes. In: Tucci, Carlos E. M. (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Rio Grande do Sul: UFRGS Editora, 2009. p. 621-652.
13. VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
14. Zhang, Y.J. *A survey on evaluation methods for image segmentation*. *Pattern Recognition*, v. 29, n. 8, p. 1335-1346, 1996.