

# ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL “C”, COM O USO DE IMAGENS ALOS DE MÉDIA RESOLUÇÃO, NA UNIDADE HIDROGRÁFICA DO LAGO PARANOÁ, COMO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL URBANA

*Edilson de Souza Bias<sup>1</sup>  
Daniela Cappellesso Mangoni<sup>2</sup>  
Ricardo Novaes Rodrigues da Silva<sup>2</sup>  
Marianne da Silva Santos<sup>2</sup>  
Felipe Lima Ramos Barbosa<sup>3</sup>*

## Resumo

O crescimento populacional, que ocorre muitas vezes de maneira desordenada em todo o país, tem como consequências situações indesejáveis no ambiente urbano, gerando enchentes e alagamentos. Algumas regiões do Distrito Federal, entre elas as inseridas na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá, vêm sofrendo com essas situações nos últimos anos. Com base nesse quadro, este estudo tem por objetivo fazer a Estimativa do Coeficiente de escoamento Superficial “C” na Unidade Hidrográfica em questão. Para compartimentação da área de estudo, de acordo com o uso e a ocupação do solo, foi utilizada uma imagem do satélite ALOS, de média resolução espacial, aplicando-se o Método SAM (*Spectral Angle Mapper*). O cálculo de “C” foi realizado para avaliar duas situações: uma na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá e outra para a área que envolve apenas as Regiões Administrativas – RAs Brasília (Asas Sul e Norte), Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal. O valor encontrado de “C” para a área de estudo foi compatível com os parâmetros utilizados pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital (Novacap) do Brasil, responsável pela execução e pela manutenção dos sistemas de águas pluviais.

**Palavras-chave:** Coeficiente de escoamento Superficial. Método SAM (*Spectral Angle Mapper*). Imagem ALOS.

1 Instituto de Geociências (IG/UnB), Universidade de Brasília (UnB). E-mail: edbias@unb.br

2 Engenheiros Ambientais, Universidade Católica de Brasília. E-mail: danielacmangoni@hotmail.com; ricardo.eng.rodrigues@gmail.com; marianneucb@hotmail.com.

3 Programa de Pós-Graduação em Geoprocessamento, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília (UnB). E-mail: felipelrb@gmail.com.

## Abstract

Population growth, which often occurs in a disorderly way across Brazil, has undesirable consequences on the urban environment, causing flooding and waterlogging. Some regions of the Brazilian, including those incorporated in the basin of Lake Paranoá have suffered from such situations in recent years. Based on this scenario, this study aims to estimate the runoff coefficient “C” for the hydrographic unit in question. In order to partition the study area, according to the use and occupation, an ALOS satellite image was used with medium spatial resolution and the SAM (Spectral Angle Mapper) method was applied. The calculation of “C” was carried out to evaluate two scenarios: first in the basin of Lake Paranoá and second for the area involving only the Administrative Regions – RAs Brasília (South and North Wings), Cruzeiro and Southwest/Octogonal. The “C” value found for the study area was consistent with the parameters used by New Capital of Brazil Urbanization Company (Novacap), responsible for implementation and maintenance of stormwater systems.

**Keywords:** Runoff coefficient. Method SAM (Spectral Angle Mapper). ALOS image.

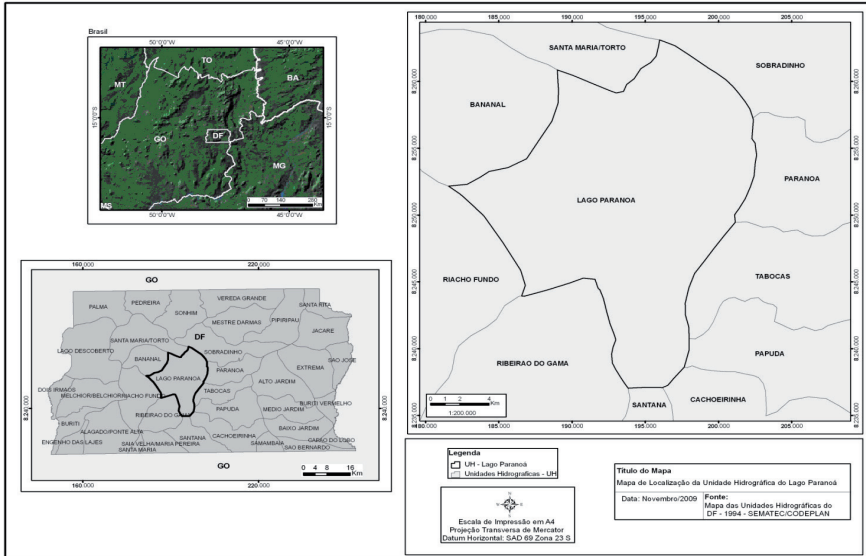
## Introdução

Este estudo propõe como área a ser analisada a Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá, pela sua importância para o Distrito Federal e em função do considerável adensamento populacional que vem sofrendo, devido à falta de planejamento do uso e da ocupação do solo nas áreas próximas ao Plano Piloto de Brasília e entorno.

O projeto inicial da ocupação do Distrito Federal previa uma população com cerca de 500 mil habitantes. Atualmente, porém, o Distrito Federal conta com cerca de 2,5 milhões de habitantes, distribuídos em vários centros urbanos que foram aparecendo ao longo do tempo. Esse crescimento ocasiona uma série de problemas que comprometem o meio ambiente (BRASÍLIA, 2004). De acordo com a Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN, 2011), a população total da Bacia do Paranoá é de 398.351 habitantes, com 59% desta ocupando a Região Administrativa de Brasília. O segundo maior contingente populacional da bacia encontra-se localizado na Região Administrativa do Sudoeste. O contingente populacional da bacia representa 79% do total estimado para o Distrito Federal em 2000.

A Bacia do Lago Paranoá localiza-se totalmente no Distrito Federal, está delimitada pela barragem do Lago Paranoá e pela Estrada Parque Contorno EPCT – DF 001 e o seu traçado é bastante próximo dos seus divisores de água, abrangendo uma área de 1.034,07 km<sup>2</sup>. Os principais cursos d’água que a alimentam são: Ribeirão do Torto, Ribeirão do Bananal, Ribeirão do Gama

e Ribeirão do Riacho Fundo (OLIVEIRA, 2005). A bacia é formada pelas Unidades Hidrográficas do Córrego Cabeça de Veado, do Lago Santa Maria/Torto, Riacho Fundo, Bananal, Ribeirão do Gama e Lago Paranoá (MOREIRA; BOAVENTURA, 2003).



**Figura 1. Mapa de localização da Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá**

Fonte: elaboração dos autores

As Regiões Administrativas (RAs) que estão inseridas na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá são: Lago Sul, Lago Norte, Brasília (Asa Sul e Asa Norte), Paranoá, Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal. A população do Cruzeiro é de 40.932 habitantes; do Lago Sul é de 28.137 habitantes; do Lago Norte é cerca de 30 mil habitantes; do Sudoeste é cerca de 50 mil habitantes; e do Paranoá é cerca de 60 mil habitantes (BRASÍLIA, 2009).

O objetivo deste projeto é fazer a estimativa do Coeficiente de escoamento Superficial “C” da Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá, com o auxílio de classificação do uso do solo da área estudada, feita a partir de imagem de média resolução ALOS e do método de classificação SAM (*Spectral Angle Mapper*), a fim de justificar os alagamentos na área da Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá, por meio da comparação do coeficiente de escoamento superficial calculado e o utilizado pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (Novacap) para projetos de drenagem urbana.

## Referencial teórico

### *Escoamento superficial*

De acordo com Tucci (2004), o escoamento superficial é regido por leis físicas e pode ser representado pelas seguintes variáveis: vazão, profundidade e velocidade, sendo seu comportamento descrito por equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento.

O escoamento superficial (runoff, subsuperficial) é representado pelo transporte da água na superfície da Terra. Quando a água da chuva atinge o solo, parte infiltra, e quando a taxa de infiltração é excedida, tem início o escoamento superficial. Primeiramente, são formados pequenos filetes que escoam sobre o solo até se unirem em corredeiras e rios. O escoamento acontece de um ponto de maior altitude para um ponto de menor altitude (UFBA, 2009).

Há três fases no escoamento superficial: na fase 1, o solo está seco e estão baixas as reservas de água; na fase 2, começa a precipitação e acontece a infiltração e o escoamento superficial; na fase 3, depois da precipitação o sistema volta ao estado normal (UFBA, 2009).

O Coeficiente de Escoamento Superficial “C” de uma bacia “representa a quantidade de água de escoamento por ela gerada em eventos chuvosos” (TUCCI, 2004). O coeficiente varia à medida que a bacia se torna urbanizada. Esse coeficiente é de extrema importância para se fazer o dimensionamento de projetos de drenagem urbana e é utilizado para se avaliar a capacidade de sistemas de drenagens que foram feitos há muito tempo (MORAES et al., 2007).

Os parâmetros de projeto de drenagem pluvial utilizados pela Novacap (BRASÍLIA, 2005) consideram os seguintes coeficientes de escoamento superficial:

- a) 0,90 para as áreas calçadas ou impermeabilizadas;
- b) 0,70 para as áreas intensamente urbanizadas e sem áreas verdes;
- c) 0,40 para as áreas residenciais com áreas ajardinadas;
- d) 0,15 para as áreas integralmente gramadas.

## Sensoriamento remoto

### *Técnicas de classificação*

As técnicas de sensoriamento remoto apresentam diversos métodos de classificação dos tipos de uso do solo a partir de uma imagem orbital. Esses métodos tornam-se procedimentos para separar as diferentes respostas espec-

trais ou objetos de uma determinada cena, podendo ser divididos em duas categorias: supervisionadas e não supervisionadas. Nesta última, o conhecimento prévio do classificador é dispensado por se tratar de um processo automático; no caso das classificações supervisionadas, a busca de classes é orientada com base em amostragens feitas anteriormente com as classes pretendidas (SULSOFT, 2005).

O método utilizado para a classificação da imagem neste estudo foi o SAM (*Spectral Angle Mapper*), que se enquadra na categoria de classificação supervisionada. Esse método de classificação utiliza o ângulo entre as amostras de treinamento no espaço de n-dimensões para determinar os *pixels* para uma classe determinada. Basicamente ele procura *pixels* semelhantes e os agrupa em uma mesma classe, utilizando os ângulos entre as amostras e fazendo diversas interações (SULSOFT, 2005). Para realização dessa classificação, são utilizadas algumas ferramentas, sendo uma delas o visualizador N-Dimensional, que é um diagrama de dispersão de pontos em n-dimensões, onde “n” depende do número de bandas usadas. As coordenadas dos pontos selecionados no espaço N-Dimensional são compostas de “n” valores que descrevem a radiância ou a reflectância espectral em cada banda para todos os *pixels*. A distribuição desses pontos no espaço N-Dimensional é usada para estimar o número dos valores extremos e as assinaturas dos *pixels* em cada uma das bandas (SULSOFT, 2005).

Outra ferramenta utilizada para preparar os dados para a classificação é o MNF (*Minimum Noise Fraction*), que é um decorrelacionador, e sua aplicação tem como função eliminar ruídos da imagem. Esse método, de acordo com Green et al. (1988), é representado por um algoritmo que consiste em duas operações consecutivas de redução de dados. A primeira é baseada em uma estimativa do ruído nos dados, representado por uma matriz de correlação. A segunda cria um conjunto de componentes que contêm informações sobre a variação ponderada de todas as bandas originais (dados brutos).

### **Características da Imagem ALOS**

A imagem ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) foi utilizada para efetuar a classificação da área de estudo. Esse sensor é um projeto da Agência Espacial Japonesa com o objetivo de obter imagens de todo o mundo para fins de levantamento de recursos naturais, monitoramento de desastres ambientais e para dar suporte à cartografia (BRASIL, 2009b). O satélite ALOS possui três sensores: AVNIR-2 – *Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer*– Tipo 2, PRISM – *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*, e PAL-SAR – *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*. A cena utilizada foi obtida com o módulo AVNIR-2, dotada de uma resolução espacial de 10m, possuindo quatro bandas espectrais (visível e infravermelho próximo), que é

utilizada para observações de regiões terrestres e costeiras (BRASIL, 2009b). Na Tabela 1, são apresentadas algumas características do sensor AVNIR.

**Tabela 1. Características do AVNIR-2**

Características do AVNIR-2	
Bandas espectrais/comprimento de onda (microns)	1: 0.42-0.50 2: 0.52-0.60 3: 0.61-0.69 4: 0.76-0.89
Resolução espacial	10 m (nadir)
Largura da faixa	70 km (nadir)
Resolução radiométrica	8 bits

Fonte: BRASIL, 2009b

Além do MNF, outra ferramenta a ser citada é o PPI (*Pixel Purity Index*), cuja função é determinar os *pixels* puros. O índice de pureza de *pixels* utiliza a informação da geometria convexa para chegar aos *pixels* puros, dividindo toda a imagem em *pixels* puros e impuros. Para calcular o PPI, os espectros são calculados interativamente em dispersogramas multidimensionais e depois projetados aos vetores uniformes. Os *pixels* extremos em todas as bandas são marcados, e o número total em que um *pixel* foi marcado como *pixel* extremo será anotado. Finalmente, uma imagem é calculada, na qual o valor de cinza de cada *pixel* se refere ao número que foi marcado como *pixel* extremo (SULSOFT, 2005).

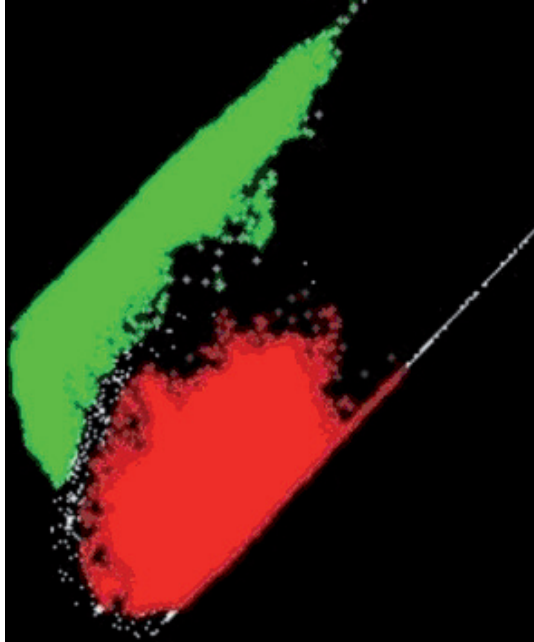
## Metodologia de trabalho

A Unidade Hidrográfica foi selecionada pelos limites oficiais estabelecidos no Mapa das Unidades Hidrográficas do Distrito Federal (BRASÍLIA, CODEPLAN/SEMATEC, 1994).

Inicialmente, foi realizada a classificação do uso do solo da Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá pelo método SAM (*Spectral Angle Mapper*). Para essa classificação, os dados foram preparados com a utilização das ferramentas *Minimum Noise Fraction* (MNF) e do *Pixel Purity Index* (PPI). A imagem utilizada neste estudo é uma imagem ALOS do ano de 2006. A composição colorida da imagem foi realizada com a banda 3, respondendo no vermelho; banda 2, no verde; e banda 1, no azul. Posteriormente, foi efetuado um recorte para extrair apenas a área de interesse (Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá).

Para processar o MNF foram utilizadas as quatro bandas da Imagem ALOS (visível e infravermelho). Depois de feito o MNF, foi realizado o PPI com o objetivo de determinar os *pixels* puros (quantidade de vezes em que o

*pixel* foi considerado na classificação). Realizou-se, então, um PPI com intervalo ideal para selecionar todas as classes desejadas (neste caso, o intervalo foi de 1000). Depois de concluído o PPI, as amostras foram processadas em um gráfico 3D, com base na ferramenta N-Dimensional do ENVI. Analisando o gráfico 3D, foram verificados dois grandes grupos, definidos como classe 1 e classe 2, conforme Figura 2.



**Figura 2. Gráfico 3D. N-Dimensional definindo classe 1(verde) e classe 2 (vermelho)**

Fonte: elaboração dos autores

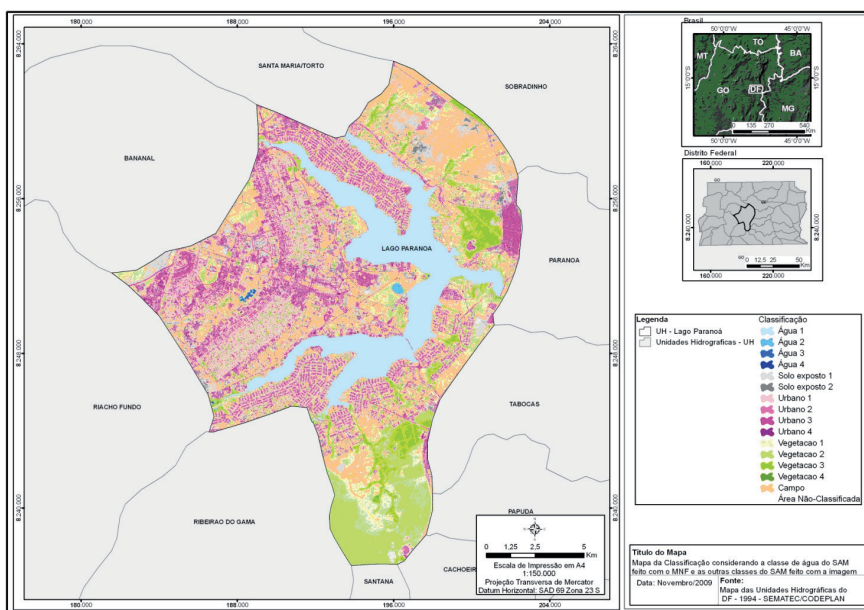
Foi construída uma máscara para cada classe a partir da qual foi novamente processado o PPI para as duas classes. Na classe 1, foi verificada a presença de *pixels* puros de água, vegetação e solo exposto. Na classe 2, verificou-se a presença de *pixels* puros de concreto e feições urbanas.

A seguir, foram definidos os ROIs atingindo quatro classes de água, quatro de vegetação, quatro de área urbana, dois de solo exposto, além de campo e regiões não classificadas. Com os ROIs definidos e os dados preparados, foi realizada a classificação pelo Método SAM.

O Método de Classificação SAM (*Spectral Angle Mapper*) foi feito em duas etapas: uma com o MNE, que respondeu bem para água, e outra com a imagem bruta, em que os resultados foram melhores para as outras classes

(vegetação, área urbana, solo exposto e campo). As classificações (com o MNF e com a imagem bruta) foram transformadas para formato vetorial e exportadas para o ArcGIS. No ArcGIS foi realizada uma união da classe de água da classificação feita com o MNF e das outras classes (vegetação, área urbana, solo exposto e campo) da classificação feita com a imagem ALOS bruta. Posteriormente, foi obtida a área de cada classe para realização dos cálculos de escoamento superficial subsequentes.

A classificação final considerou a classe de água do SAM, feita com o MNF, e as outras classes do SAM feitas com a imagem bruta, como apresentado na Figura 3.



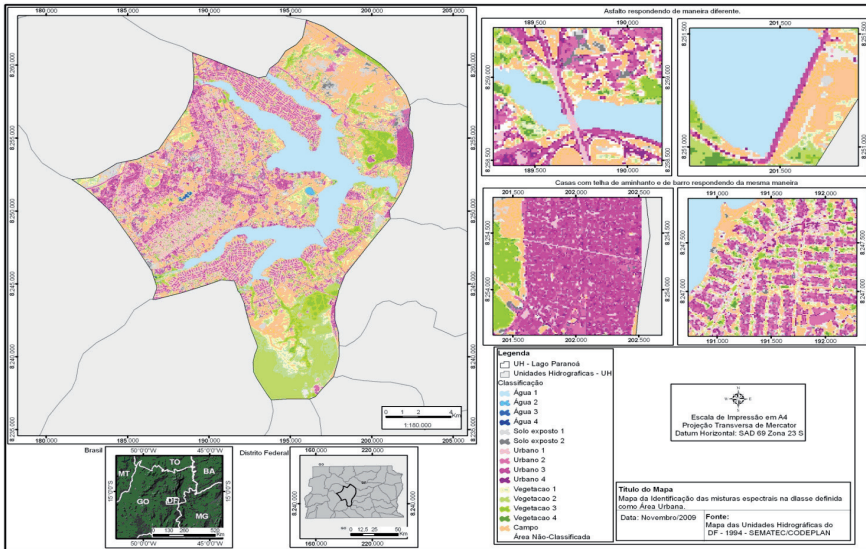
**Figura 3. Classificação considerando a classe de água do SAM feita com o MNF e as outras classes do SAM feitas com a imagem**

Fonte: elaboração dos autores

Feita a classificação, foi realizada uma verificação *in loco* para confirmação de alguns pontos que apresentaram divergência, em função de mistura espectral, verificada na classificação. Alguns exemplos das misturas espectrais são apresentados na Figura 4.

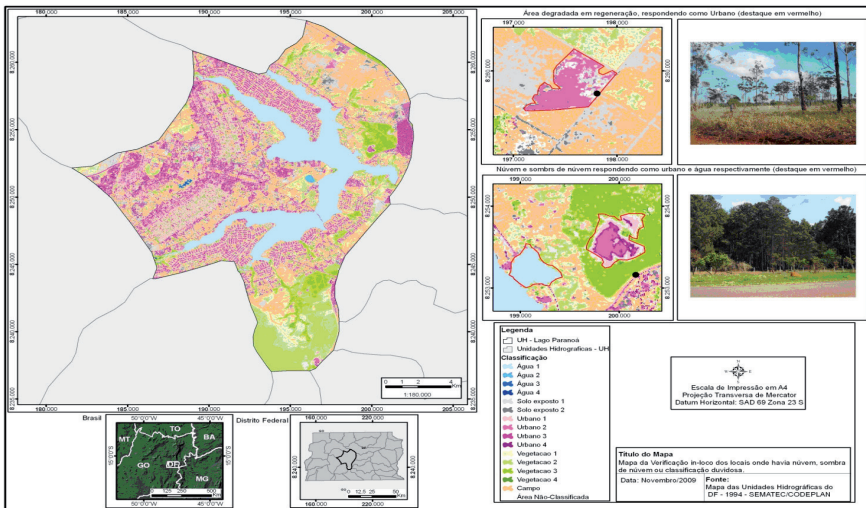
A verificação *in loco* teve ainda o intuito de melhorar a classificação dos locais cobertos por nuvens ou sombras (Figura 5).





**Figura 4. Identificação das misturas espectrais na classe definida como área urbana**

Fonte: elaboração dos autores

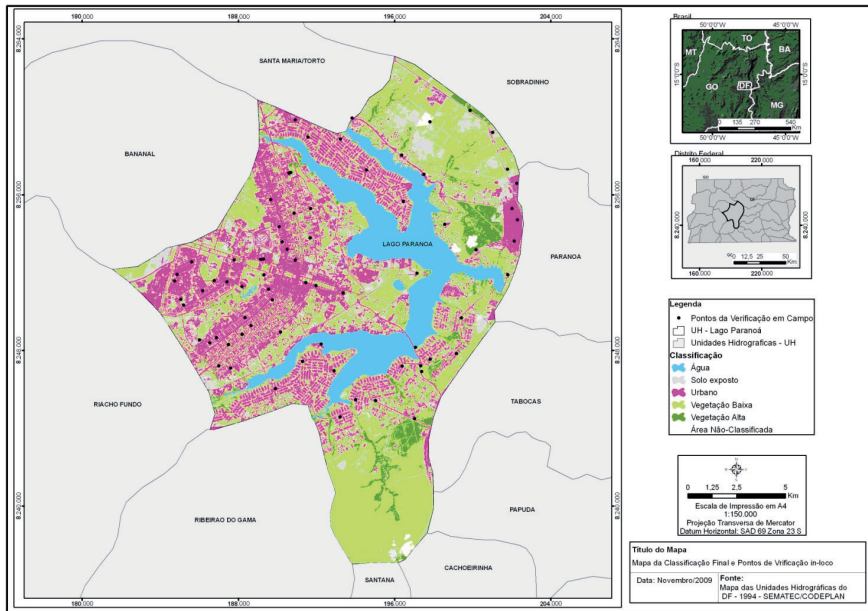


**Figura 5. Verificação *in loco* dos locais com cobertura de nuvens e sombra**

Fonte: elaboração dos autores

O levantamento em campo foi realizado para oitenta pontos, distribuídos pela área da Unidade Hidrográfica (RAs – Brasília (Asas Sul e Norte), Lagos Sul e Norte, Paranoá, Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal), como apresentado na Figura 6. Também foram obtidas fotografias dos pontos avaliados. Após a verificação em campo, em função da mistura espectral dos alvos urbanos (telhados, asfalto, paralelepípedos), decidiu-se por fazer a união das quatro classes definidas como área urbana.

Além da união dessas quatro classes, decidiu-se por fazer a união das duas classes de solo exposto e a união das duas primeiras classes de vegetação com a classe de campo (que caracterizam vegetação baixa) e das outras duas classes de vegetação (que caracterizam vegetação alta), como demonstrado na Figura 6. Essa união foi decidida para se trabalhar com mais objetividade dentro de quatro classes (área urbana, vegetação alta, vegetação baixa e solo exposto), com características definidas e escoamento superficial diferenciado entre elas.



**Figura 6. Classificação final e pontos de verificação *in loco***

Fonte: elaboração dos autores

Foi definido o intervalo de *pixels*; como os *pixels* fora desse intervalo não são classificados, parte da área da Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá foi considerada área não classificada. Somou-se a essa área as quatro classes de água, pois mesmo representando uma área considerável da Unidade Hidrográ-

fica do Lago Paranoá, não há escoamento superficial (que é o foco do estudo) sobre essa classe. Considerou-se ainda como área não classificada os locais onde havia nuvem ou sombra de nuvem.

Para o cálculo de C foi considerada a equação:

$$C = \frac{C_p \cdot A_p + C_i \cdot A_i}{A_t} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$C_p$  é o coeficiente de escoamento de área permeável da Bacia;

$A_p$  é a área da Bacia com superfície permeável;

$C_i$  é o coeficiente de escoamento de uma área impermeável;

$A_i$  é a parcela da Bacia com área impermeável;

$A_t$  é a área total da Bacia (TUCCI, 2004).

Para o cálculo de  $C_p$  e  $C_i$ , que significam respectivamente o coeficiente de escoamento de uma superfície permeável e o coeficiente de escoamento de uma superfície impermeável, foram utilizadas as seguintes equações:

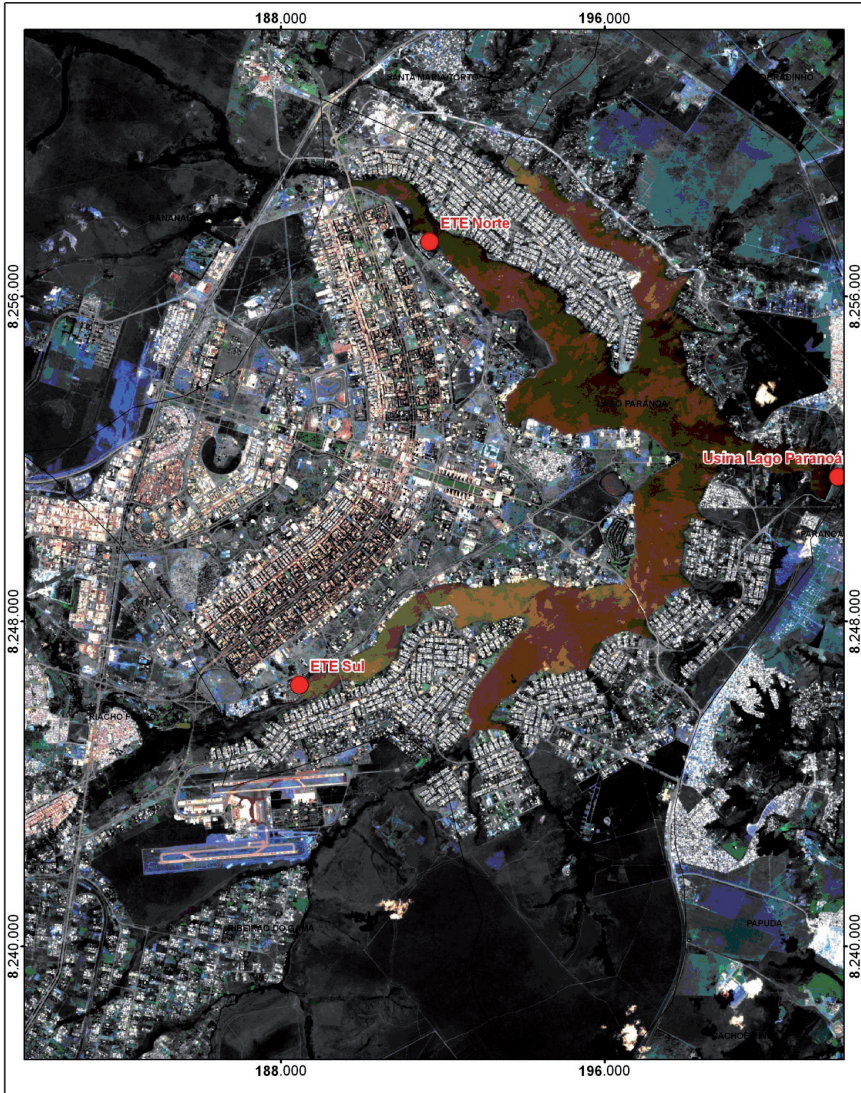
$$C_p = \left[ \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \right] \cdot \frac{1}{P} \quad \text{Eq. 2}$$

$$C_i = \left[ \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \right] \cdot \frac{1}{P} \quad \text{Eq. 3}$$

Nas equações, P é a precipitação, dada em milímetros (mm), e seu cálculo depende da intensidade (I) em milímetro por hora (mm/h) e do Tc, que é o tempo de concentração ou o tempo que uma gota leva para contribuir com toda a Bacia disponibilizado em horas (h) (TUCCI, 2004).

$$P = I \cdot T \quad \text{Eq. 4}$$

A intensidade (I) foi calculada a partir dos dados de precipitação de três estações pluviométricas localizadas nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE Norte e ETE Sul) e na Usina Hidroelétrica do Paranoá, conforme Figura 7.



**Figura 7. Localização das estações pluviométricas**

Fonte: elaboração dos autores

Para o cálculo de  $T_c$ , foi considerada a equação de Giandotti (FLIZIKOWSKI; PELEGRINO; MAIA, 2009), por ter sido a que mais se adaptou à área de estudo, porque seu curso principal é um lago (caracterizando um ambiente lântico) e não um rio, para o qual é mais comum a existência de metodologia para o cálculo de  $T_c$ . Na equação (Eq. 5), a variável  $A$  é a Área da Unidade

Hidrográfica estudada,  $L$  é o comprimento do rio principal, que foi calculado através da equação de Hack (FILHO; LIMA, 2007), e  $H$  é a média das cotas, considerada em metros. Assim, o tempo de concentração é dado por:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}} \quad \text{Eq. 5}$$

$$L = 1,5 \cdot A^{0,6} \quad \text{Eq. 6}$$

No cálculo de  $C_p$  e  $C_i$ , a variável  $S$  representa o armazenamento e está relacionada com o parâmetro que caracteriza a superfície ( $CN$ ) e é dado pela equação a seguir:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Eq. 7}$$

Os valores do parâmetro  $CN$  são valores tabelados, que variam de acordo com o tipo, o uso e a ocupação do solo:

- a) solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos, com pouco silte e argila;
- b) solo B: solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média;
- c) solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila, sendo pouco profundo;
- d) solo D: solos contendo argilas expansivas e pouco profundos, com muito baixa capacidade de infiltração, gerando maior proporção de escoamento superficial (TUCCI, 2004).

O tipo de solo que caracteriza a Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá é o tipo D, pois a área é coberta em sua maioria por solos do tipo latossólico, cujas características são mais próximas do solo tipo D. Os valores destacados na Tabela 2 para o tipo A de solo foram considerados respectivamente para as classes de vegetação baixa, vegetação alta, área urbana e solo exposto. Justifica-se a utilização da respectiva classe em razão dos estudos desenvolvidos por

Haridasan (1984), em face de os latossolos da Bacia do Paranoá serem profundos e não apresentarem argilas expansíveis, apesar do significativo conteúdo de argila que esses solos contêm; o tipo de agregação das frações argila, silte e areia nesses solos lhes confere o comportamento de solos arenosos, com capacidade de infiltração de água acima da pluviosidade da região quando não degradados fisicamente.

**Tabela 2. Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas**

Utilização ou cobertura do solo		D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo		91
Zonas cultivadas: com conservação do solo		81
Pastagem ou terrenos em más condições		89
Baldios em boas condições		80
Prado em boas condições		78
Bosques ou zonas com cobertura ruim		83
Florestais: cobertura boa		77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições: Com relva em mais de 75% de área.		80
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições: Com relva de 50% a 75% da área.		84
Zonas comerciais e de escritórios		95
Zonas industriais		93
Zonas residenciais		
Lotes de (m <sup>2</sup> )	% média impermeável	
<500	65	92
1000	38	87
1300	30	86
2000	25	85
4000	20	84
Parque de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98
Arruamentos e escadas		
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98
Paralelepípedos		91
Terra		89

## Resultados e discussão

A classificação final e as respectivas áreas das classes são apresentadas na Tabela 3, assim como a porcentagem que cada uma delas representa em relação à área total da Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá.

**Tabela 3. Classes e respectivas áreas**

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	%
Área urbana (áreas de telhado, concreto, asfalto, paralelepípedos)	60,3487	21,61
Vegetação baixa	125,7167	45,02
Vegetação alta	14,1939	5,08
Solo exposto	18,6096	6,66
Área não classificada	60,3499	21,61
Área total da Bacia	279,2188	100

Fonte: elaboração dos autores

Para ser utilizada no cálculo da precipitação (P), a intensidade (I) foi calculada utilizando-se as máximas de cada mês do ano, entre outubro de 1978 e junho de 2007. De cada série temporal das três estações pluviométricas, foram consideradas as vinte chuvas mais intensas, sendo a média dessas chuvas a resultante da intensidade (I) de 3,96 mm/dia, conforme Tabela 4. O objetivo de se utilizar as vinte chuvas mais intensas de cada série temporal foi o de trabalhar com a intensidade de chuvas que mais exigem da drenagem urbana e que podem representar valores ligados às chuvas de recorrência.

Para o cálculo de T<sub>c</sub>, a área considerada foi a Área Total da Unidade Hidrográfica A=279,22 km<sup>2</sup>. O comprimento do Lago foi representado por L= 44,02 km. A altura média da área da bacia (H) foi 1.085 m.

O tempo de concentração resultou em 18,43 horas; e a precipitação resultou em P=72,91 mm. É importante observar as relações existentes entre o tempo de concentração em uma bacia e o volume de chuva, uma vez que para chuvas que durem menos que o tempo de concentração o volume de água que caiu na região mais distante vai chegar à foz depois que o volume que caiu na região mais próxima à foz já tenha escoado. Chuvas com duração igual ou maior que o tempo de concentração da bacia, quando o volume que caiu na região mais distante chegar à foz, ele se somará ao volume de chuva que acabou de cair nas regiões mais próximas, causando uma cheia maior do que a de uma chuva mais curta. Os dados obtidos demonstram que o volume de

chuva é menor que o tempo de concentração, não comprometendo a bacia com situações de cheias mais intensas. Os resultados para o cálculo de S e os valores de CN ficaram iguais aos que são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 4. Vinte chuvas mais intensas das séries temporais das três estações pluviométricas**

ETE Norte		ETE Sul		Usina Lago Paranoá	
Data	Máxima (mm/dia)	Data	Máxima (mm/dia)	Data	Máxima (mm/dia)
01-out-06	68,8	01-dez-97	75,6	01-mar-94	74,2
01-mar-85	69,6	01-mar-97	76,8	01-mar-01	74,4
01-jan-82	71,7	01-nov-94	79	01-mar-04	75,1
01-abr-85	73,6	01-out-06	79	01-fev-02	76,6
01-nov-97	74	01-fev-04	79,2	01-nov-90	79,6
01-dez-05	74	01-abr-87	80,8	01-nov-81	80
01-nov-94	75,2	01-out-86	81,1	01-jan-83	80
01-jan-84	75,7	01-jan-79	81,2	01-dez-91	80,2
01-mar-79	77,2	01-fev-05	83,8	01-jan-07	82
01-mar-87	78,6	01-fev-83	84,9	01-out-99	82,9
01-fev-83	79,6	01-fev-93	87	01-dez-80	83,2
01-nov-82	82,5	01-dez-80	88	01-nov-02	88
01-jan-86	83,2	01-jan-98	90,2	01-mar-83	89
01-jan-89	84,8	01-nov-83	92,4	01-out-84	90,4
01-mar-81	92,4	01-mar-81	93,6	01-dez-05	98,2
01-nov-81	96,4	01-abr-92	94	01-fev-83	98,3
01-jan-79	105,2	01-out-90	95,7	01-out-06	113,4
01-dez-87	105,5	01-jan-97	110,2	01-fev-04	114,4
01-mar-00	105,8	01-mar-99	111	01-fev-06	121,4
01-out-84	128,4	01-dez-86	116,3	01-jan-98	122,5
<b>Média</b>	<b>85,11</b>		<b>97,84</b>		<b>101,88</b>
<b>Intensidade (I)</b>	<b>94,94333mm/dia ou 3,96mm/h</b>				



**Tabela 5. Valores de CN para cada tipo diferente de classe**

Classe	CN	S
Área urbana	98	5,18
Vegetação baixa	45	310,44
Vegetação alta	25	762,00
Solo exposto	89	98,78

Fonte: elaboração dos autores

A seguir são apresentados os resultados obtidos dos cálculos de  $C_p$  e  $C_i$ :

$$C_i = \left[ \frac{(72,91 - 0,2 \cdot 5,18)^2}{72,91 + 0,8 \cdot 5,18} \right] \cdot \frac{1}{72,91} \quad \text{Eq. 8}$$

$$C_i = 0,92$$

$$C_p_{\text{vegbaixa}} = \left[ \frac{(72,91 - 0,2 \cdot 52,02)^2}{72,91 + 0,8 \cdot 52,02} \right] \cdot \frac{1}{72,91} \quad \text{Eq. 9}$$

$$C_p_{\text{vegbaixa}} = 0,47$$

$$C_p_{\text{vegalta}} = \left[ \frac{(72,91 - 0,2 \cdot 75,87)^2}{72,91 + 0,8 \cdot 75,87} \right] \cdot \frac{1}{72,91} \quad \text{Eq. 10}$$

$$C_p_{\text{vegalta}} = 0,34$$

$$C_{p_{soloexposto}} = \left[ \frac{(72,91 - 0,2 \cdot 31,39)^2}{72,91 + 0,8 \cdot 31,39} \right] \cdot \frac{1}{72,91}$$

$$C_{p_{soloexposto}} = 0,62$$

Eq. 11

Para o cálculo de C, foi realizado o somatório do produto entre Cp de cada classe impermeável e suas respectivas áreas com o produto entre Ci e Ai. A diferença entre a área total da Unidade Hidrográfica e a área não classificada foi considerada em At. Sendo assim, o resultado de C para a Unidade Hidrográfica é apresentado a seguir:

$$C = \frac{(125,7167 \cdot 0,005 + 14,1939 \cdot 0,127 + 18,6096 \cdot 0,255) + (60,3487 \cdot 0,919)}{218,8689}$$

$$C = 0,266$$

Eq. 12

A Tabela 6 sintetiza os dados necessários para o cálculo de C e o resultado encontrado.

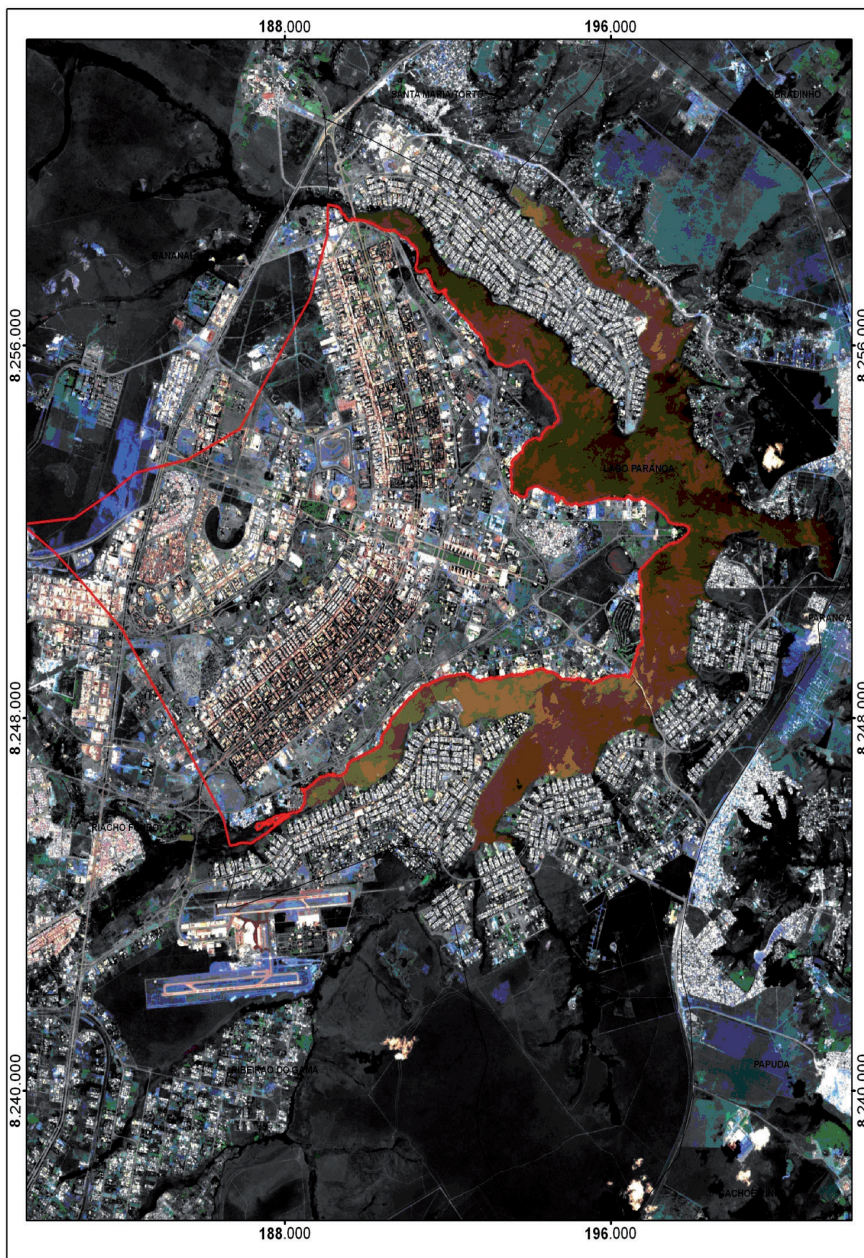
**Tabela 6. Síntese dos dados para o cálculo de C e o resultado**

P		
I	3,96 mm/h	
Tc	18,43 h	
H	1085 m	
L	44,02 km	
P	72,91 mm	
Classe	CN	S
Área urbana	98	5,18
Vegetação baixa	83	310,44

Vegetação alta	77	762,00
Solo exposto	89	98,78
	Ai	Ci
Área urbana (áreas de telhado, concreto, asfalto, paralelepípedos)	60,3487	0,92
	Ap	Cp
Vegetação baixa	125,7167	0,005
Vegetação alta	14,1939	0,127
Solo exposto	18,6096	0,255
At		
Área não classificada	60,3499	
Área total da Unidade Hidrográfica	279,2188	
At= área total da Unidade Hidrográfica – área não classificada	218,8689	
C		
C	0,266	

Fonte: elaboração dos autores

Os mesmos cálculos foram feitos para as áreas que envolvem as RAs: Brasília (Asas Sul e Norte), Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal, conforme Figura 8.



**Figura 8. Área que envolve as RAs: Brasília (Asas Sul e Norte), Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal**

Fonte: elaboração dos autores

As áreas para as diferentes classes são apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7. Classes e respectivas áreas referentes à classificação feita com Áreas envolvendo as RAs: Brasília (Asas Sul e Norte), Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal**

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	%
Área urbana (áreas de telhado, concreto, asfalto, paralelepípedos)	36,5715	36,95
Vegetação baixa	40,6939	41,11
Vegetação alta	2,4279	2,45
Solo exposto	7,7921	7,87
Área não classificada	11,4942	11,61
Área total que envolve as RAs: Brasília (Asas Sul e Norte), Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal	98,9797	100,00

Fonte: elaboração dos autores

Os cálculos foram feitos diferenciando apenas as áreas. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8. Resultados para áreas que envolvem as RAs: Brasília (Asas Sul e Norte), Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal**

P		
I	3,96 mm/h	
Tc	7,14 h	
H	1087m	
L	23,63km	
P	28,24 mm	
Classe	CN	S
Área urbana	98	5,18
Vegetação baixa	43	310,44
Vegetação alta	25	762,00
Solo exposto	72	98,78
	Ai	Ci
Área urbana (áreas de telhado, concreto, asfalto, paralelepípedos)	36,5715	0,81

	Ap	Cp
Vegetação baixa	40,6939	0,005
Vegetação alta	2,4279	0,127
Solo exposto	7,7921	0,255
At		
Área não classificada	11,4942	
Área total envolvendo as RAs: Brasília (Asas Sul e Norte), Cru- zeiro e Sudoeste/Octogonal	98,9797	
At= Área total que envolve as RAs: Brasília (Asas Sul e Norte), Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal menos a área não classificada	87,4854	
C		
C		0,4

Fonte: elaboração dos autores

**Tabela 9. Percentual das áreas analisadas na bacia**

Classe	CN
Área impermeabilizada	27,57
Vegetação baixa	57,44
Vegetação alta	6,49
Solo exposto	8,50

Fonte: elaboração dos autores

A diferença encontrada de 34% no coeficiente “C” para as duas áreas analisadas (toda a unidade hidrográfica do Lago Paranoá – 0,6 e para as Regiões Administrativas – Brasília (Asas norte e Sul), Cruzeiro, Sudoeste/Octogonal – 0,4), enquadra-se plenamente nos limiares utilizados pela Novacap para desenvolvimento de projetos de sistemas de drenagem pluvial, bem como demonstram pelos percentuais de área permeável e impermeável que a bacia bem como as Regiões Administrativas analisadas possuem boa condição de infiltração de água no solo, pois na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá 50% da área é composta por vegetação (alta e baixa) e 7% por solo exposto. O mesmo ocorre com a área que envolve as RAs Brasília (Asas Sul e Norte), Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal, cuja área permeável (vegetação alta, baixa e solo exposto) é de cerca de 50%.

## Considerações finais

A metodologia desenvolvida possibilitou o cálculo efetivo do escoamento superficial na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá. Pode-se verificar que os resultados encontrados – tanto para a Unidade Hidrográfica toda, como para a área que envolve as RAs Brasília (Asas Sul e Norte), Cruzeiro e Sudoeste/Octogonal – estão dentro da faixa de valores utilizados pela Novacap (0,15 a 0,90, dependendo do tipo de superfície) para os projetos de drenagem pluvial.

Quanto à metodologia, ela se mostrou bastante eficaz; seria, porém, mais bem aproveitada em regiões com áreas menores. Em áreas muito extensas, os resultados podem sofrer distorção ou não ter o refinamento esperado. Isso ocorre, provavelmente, porque os modelos matemáticos para o cálculo de “C”, em sua maioria, foram desenvolvidos para pequenas bacias. Para o cálculo de  $T_c$ , em especial, houve dificuldade de adaptação dessas metodologias para a área estudada.

A imagem ALOS apresentou alguns limitadores, principalmente com relação à mistura espectral, em face da sua resolução espacial (média resolução), exigindo o agrupamento de classes para facilitar a classificação e a separação daquelas que seriam trabalhadas.

Dificuldades foram encontradas na adequação dos valores de CN (que são tabelados) para as classes desejadas, uma vez que aborda de maneira genérica os tipos de superfícies. Além disso, para a escolha do tipo de solo, também foi necessário generalizar como único solo existente na Unidade Hidrográfica o latossolo, adotando o tipo D de solo determinado por TUCCI.

Os resultados obtidos para “C” comprovam que tanto a Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá como as RAs (Brasília – Asa norte e sul, Cruzeiro, Sudoeste/Octogonal) possuem uma boa Unidade Hidrográfica. Assim, fica evidente que os alagamentos que ocorrem nas regiões do Plano Piloto de Brasília não são ocasionados somente pela alta impermeabilização do local, mas também como resultado da grande urbanização no entorno da Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá, de maneira rápida e provavelmente sem planejamento adequado, devendo ser adotadas medidas urgentes visando à utilização de mecanismos eficientes de captação pluvial, bem como o disciplinamento e a organização do uso e da ocupação do solo nas áreas adjacentes à Unidade Hidrográfica estudada.

## Referências

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Hidroweb**. Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 20/10/2009a.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Imagens do satélite ALOS**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/alos>>. Acesso em: 02/11/2009b.

BRASÍLIA. Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan). **Tudo sobre o Distrito Federal**. Disponível em: <<http://www.gdf.df.gov.br/045/04501018.asp>>. Acesso em: 28/10/2009.

\_\_\_\_\_. Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan), Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia (Sematec). **Mapa das unidades hidrográficas do DF, escala 1:100.000**. 1994.

\_\_\_\_\_. Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (Novacap). **Termo de referência e especificações para elaboração de projetos de sistema de drenagem pluvial**. Brasília-DF: Novacap, 2005.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Uso e ocupação do solo no Distrito Federal**. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.ibram.df.gov/sites/400/406/00000488.pdf>>. Acesso em: 10/08/2009.

FILHO, F. A.; LIMA, F. E. **Considerações morfométricas da Bacia do Rio Uberabinha – Minas Gerais**. Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2007. Disponível em: <<http://www.sociedadena-tureza.ig.ufu.br/viewarticle.php?id=227>>. Acesso em: 18/09/2009.

FLIZIKOWSKI, C. L.; PELEGRINO, C. F. E.; MAIA, G. A. **Análise comparativa entre equações de tempo de concentração na bacia hidrográfica do Arroio dos Pereiras**. Disponível em: <[http://www.unicentro.br/graduacao/deamb/semana\\_estudos/pdf\\_08/AN%20C1LISE%20DE%20EQUA%20C7%D5ES%20NA%20BACIA%20HIDROGR%20C1FICA%20DO%20ARROIO%20DOS%20PEREIRAS.pdf](http://www.unicentro.br/graduacao/deamb/semana_estudos/pdf_08/AN%20C1LISE%20DE%20EQUA%20C7%D5ES%20NA%20BACIA%20HIDROGR%20C1FICA%20DO%20ARROIO%20DOS%20PEREIRAS.pdf)>. Acesso em: 20/10/2009.

GREEN, A.A. et al. A transform for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 26, n. 1, Jan. 1988.

HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2. ed. Brasília: Edunb/Sematec, 1984. p. 320.

MORAES, G. A. et al. **Estimativa do coeficiente de escoamento superficial “C” utilizando sensoriamento remoto em imagem de alta resolução**. Trabalho apresentado no 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. Disponível em: <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/IX-024.pdf>>. Acesso em: 10/08/2009.



MOREIRA, R.C.; BOAVENTURA, G. R. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do Lago Paranoá-DF. **Quím. Nova** [online], v. 26, n. 6, p. 812-820, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422003000600006&script=sci\\_abstract&tlng=e](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422003000600006&script=sci_abstract&tlng=e)>. Acesso em: 14/10/2009.

OLIVEIRA, F. B. **Mapa geoambiental da bacia do Lago Paranoá**: análise das alterações no uso e ocupação. Trabalho de conclusão de curso. Brasília, 2005.

SULSOFT. **Guia do Envi**. 2005. Disponível em: <<http://www.sulsoft.com.br/arearestrita/main.php>>. Acesso em: 15/09/2009.

TUCCI, C. E. M. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, 2000. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/publicacoes/CESC.pdf>>. Acesso em: 11/08/2009.

\_\_\_\_\_. Hidrologia. **Ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). **Apostila de hidrologia**. Capítulo 6: Escoamento superficial. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Grupo de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/HidrologiaAplicada/Semestre20081/ApostilaCap6.pdf>>. Acesso em: 15/08/2009.