



## **XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **SIMULAÇÃO DE VAZÕES MÁXIMAS EM UMA MICROBACIA URBANA EM JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ.**

*Renato de Oliveira Fernandes<sup>1</sup>; Luciene Galdino da Silva<sup>2</sup>;*

*Thaís Bento da Silva<sup>2</sup>; Rony Lopes Lunguinho<sup>3</sup>.*

**RESUMO** – A vazão é uma das principais variáveis hidrológicas usadas para o estudo de cheias e riscos de inundações em áreas urbanas. Em adicional, o dimensionamento de estruturas de drenagem usadas para minimizar o impacto das cheias dependem do valor da vazão de projeto adotado. Nesse sentido, este estudo apresenta as simulações de vazões máximas realizado pelo método do SCS (*Soil Conservation Service*) em uma microbacia urbana, localizada na cidade de Juazeiro do Norte, Ceará. A caracterização do uso e ocupação da microbacia foi realizada por sensoriamento remoto a partir das imagens do satélite Landsat 7 e indicou altas taxas de urbanização. As altas taxas de urbanização da bacia se refletiram nos picos de vazões máximas simulados para dois períodos de retorno.

**ABSTRACT** – The runoff is a main hydrological variables used for the study of floods and risk in urban areas. In additional, the design of drainage structures to minimize the impact of floods depends on the maximum discharge value adopted. In this sense, this study presents simulations of peakflows obtained by the method of SCS (*Soil Conservation Service*) in an urban watershed, located in the city of Juazeiro do Norte, Ceará. The characterization of the use and occupation of the watershed was conducted by remote sensing images from Landsat 7 and indicated high rates of urbanization. The high rates of urbanization in the basin were reflected in the peakflows simulated for two return periods.

**Palavras-chave:** caracterização de bacias, drenagem urbana, método do SCS.

<sup>1</sup> Professor Assistente. Departamento de Construção Civil. Universidade Regional do Cariri (URCA). E-mail: [renatodeof@gmail.com](mailto:renatodeof@gmail.com).

<sup>2</sup> Graduandas em Tecnologia da Construção Civil. Habilitação: Topografia e Estradas. Campus Crajubar. Universidade Regional do Cariri (URCA). E-mail: [lucienegaldino92@hotmail.com](mailto:lucienegaldino92@hotmail.com); [tayssilva2008@hotmail.com](mailto:tayssilva2008@hotmail.com)

<sup>3</sup> Doutorando do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. E-mail: [lopes.rony@gmail.com](mailto:lopes.rony@gmail.com)

## 1. INTRODUÇÃO

A vazão é uma das mais importantes variáveis hidrológicas com várias aplicações. Em áreas urbanas, os dados de vazões máximas são usados principalmente para o dimensionamento de obras de drenagem, infraestrutura hídrica e gestão de riscos de cheias. Apesar das diferentes aplicações, a disponibilidade de séries longas de vazões observadas em áreas urbanas ainda é escassa.

Assim, para suprir a escassez desses dados utilizam-se metodologias para a estimativa da vazão. Os métodos mais conhecidos são o Racional, I-Pai-Wu, SCS (Soil Conservation Service) entre outros (GENOVEZ, 2003). Todos esses métodos utilizam parâmetros que tentam ponderar o particionamento da chuva e do escoamento superficial em função das características do tipo, uso e ocupação do solo.

Os métodos do SCS e o Racional, por exemplo, utilizam o valor do Número da Curva (CN) e do Coeficiente de Escoamento Superficial (C), respectivamente, para representar os tipos de solo e/ou as características de superfície. Para a estimativa do valor do CN é muito comum o uso de imagem de satélites, como as do Landsat 7 (CARVALHO, et al. 2011)

Em bacias hidrográficas, independente do modelo hidrológico adotado para estimativa da vazão, é necessário realizar a caracterização morfométrica para obtenção de informações como; área de drenagem, declividade, comprimento de rios, etc. Estes parâmetros geralmente são obtidos de Modelos Digitais de Elevação (MDE) com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Neste estudo são realizadas simulações de vazões máximas pelo método SCS (*Soil Conservation Service*) na microbacia do Riacho Touro, localizada na bacia hidrográfica do Salgado, região do Cariri Cearense. Os dados necessários para o modelo hidrológico foram obtidos por sensoriamento remoto com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo é a microbacia do Riacho Touro, localizada na bacia hidrográfica do Salgado, região do Cariri Cearense. Essa microbacia tem como rio principal o Riacho Touro, conforme mostrado na Figura 1. Trata-se de um riacho intermitente que percorre os municípios de Juazeiro do Norte e Barbalha, onde ocorre em área rural, pouco habitada e pouco tráfego. Todavia em Juazeiro do Norte o riacho encontra-se em grande parte na zona urbana com predomínio de edificações residenciais (Costa *et al.* 2011).

A caracterização morfométrica da microbacia Riacho dos Touros foi realizada com auxílio do ArcGIS 9.3<sup>®</sup> (ESRI, 2009) a partir das imagens do Modelo Digital de Elevação (DEM) do projeto

TOPODATA<sup>4</sup>. As principais características obtidas como caracterização foram; área da bacia igual a 46,97 km<sup>2</sup>; perímetro de 42,827 km; rio principal com 15.644 km de extensão e declividade média 12,26 m/km.

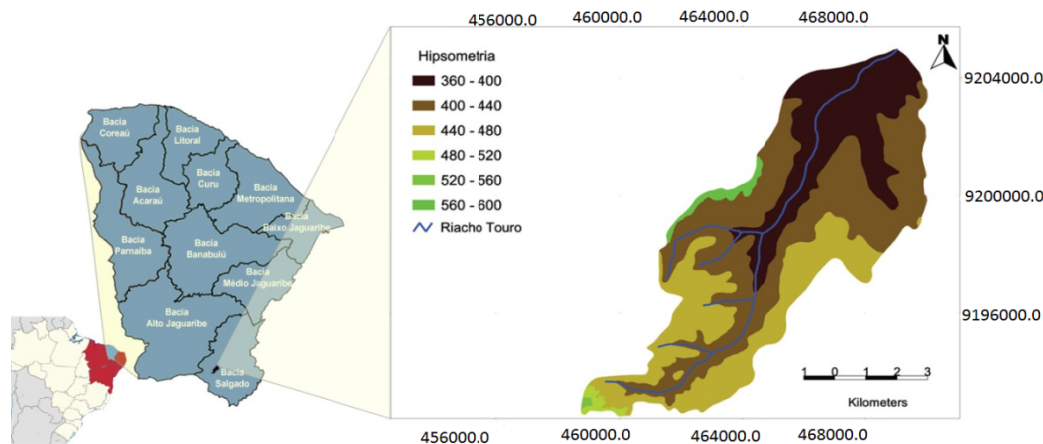


Figura 1- Mapa de localização e hipsometria da microbacia do Riacho dos Touros, município de Juazeiro do Norte, CE (adaptado de: Costa *et al.* 2011).

## 2.2. Simulação das vazões máximas com o método SCS (Soil Conservation Service)

O método SCS teve origem no departamento de Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (atual *Natural Resources Conservation Service* - NRCS) no qual a geração do escoamento superficial direto é determinada a partir da precipitação acumulada em um evento específico e da retenção potencial do solo (equações 1 e 2). Esse método é descrito em várias publicações como em Tucci (2004), NRSC (2009) e ASCE (2009).

$$P_e = \frac{(P - 0,2.S)^2}{P + 0,8.S}, \text{ se } P > 0,2.S \quad (1)$$

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (2)$$

Em que:

$P_e$  – é a precipitação efetiva, ou escoamento superficial (mm)

$P$  – é a precipitação acumulada de um evento (mm)

$S$  – é a retenção potencial do solo (mm)

$CN$  – é chamado de “número da curva” (adimensional)

Como pode ser observada nas equações 1 e 2 a geração do escoamento superficial depende de  $P > 0,2S$ , que é uma estimativa inicial das perdas por interceptação e retenção em depressões. A retenção potencial ( $S$ ) depende do tipo, ocupação e uso do solo que é representado pelo valor de  $CN$ .

<sup>4</sup> Disponível em (<http://drs.inpe.br/topodata/dados.php>).

O valor de CN foi estabelecido inicialmente para pequenas bacias monitoradas pelo NRCS. O valor representa também a umidade antecedente do solo devido às chuvas dos últimos cinco dias. As condições de umidade são descritas como condição I, ou solo seco, condição II, solo com umidade média (muito comum na época chuvosa) e condição III com solo úmido já próximo da saturação.

O tipo de solo nesse método é classificado em grupos hidrológicos A, B, C e D (NRSC, 2009), com maior e menor capacidade de retenção potencial, respectivamente.

O sucesso do método SCS depende em grande parte da determinação do valor de CN. Assim, no Brasil, vários esforços têm sido feitos para adaptar o modelo para as condições nacionais (Sartori *et al*, 2005; Sartori & Genovez, 2011; Sartori *et al*, 2011). O modelo proposto inicialmente e revisado muitos anos depois (NRSC, 2009), apesar de claro e objetivo, necessita de dados observados, ausente na maioria das bacias urbana nacionais. Assim, muitas incertezas estão presentes, principalmente quanto às características do solo presente na bacia.

Nos últimos anos, com o avanço de novas tecnologias, como as técnicas de geoprocessamento e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) a caracterização de bacias hidrográficas e a determinação do valor de CN têm sido facilitada (Targa *et al*, 2012; Carvalho Jr. *et al*, 2011; Alves, *et al*, 2011; Lima, *et al*, 2011).

A precipitação efetiva ( $P_e$ ) está associada a chuva acumulada ( $P$ ) e ao período de retorno adotado (Figura 2). Nesse estudo a chuva acumulada foi determinada a partir da chuva máxima para o município de Quixeramobim/CE (Pfafstetter, 1982) devido à ausência de curva IDF na área de estudo. Os períodos de retorno foram para 10 e 50 anos por serem os valores mais usados para obras de drenagem urbana.

Análises de sensibilidades, como as realizadas por Silveira (2010), indicaram que a duração da chuva ( $D$ ) não apresentaria grandes impactos no valor da vazão estimada desde que o seu valor seja igual ou superior ao tempo de concentração. Assim, considerando o valor do tempo de concentração máximo, estimado pelas três equações apresentadas na Tabela 1, adotou-se uma chuva com duração de 3,7 horas.

Para geração e propagação dos hidrogramas de vazão máxima foi usado o sistema ABC6 (Porto *et al*, 1999). O ABC6 é um sistema de suporte a decisão que permite avaliar múltiplas bacias e gerar diferentes cenários.

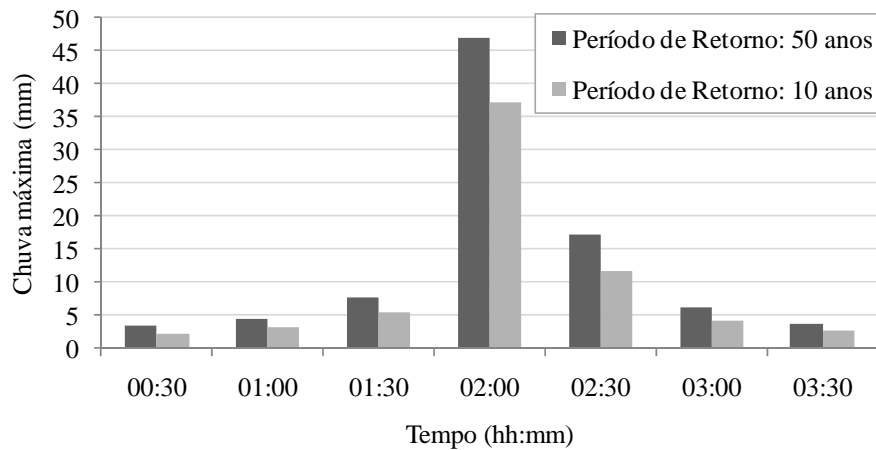


Figura 2- Chuva máxima adotada associada ao período de retorno de 10 e 50 anos.

Algumas das equações para estimar o tempo de concentração incluídas no ABC6 e aplicadas nesse estudo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores do tempo de concentração ( $t_c$ ) e equações utilizadas.

Equação	$t_c$		Equação
	minutos	horas	
Dooge	224	3,7	$t_c = 70,8 \cdot \left(\frac{A^{0,41}}{S_i^{0,17}}\right)$
Kirpich I	181	3,0	$t_c = 0,0196 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta h}\right)^{0,385}$
Padrão ABC6	205,6	3,4	$t_c = \frac{\sqrt{A}}{2}$
Tempo médio	203,5	3,4	-

Em que:

L- é o comprimento do talvegue = 15.524 m

A – é a área da bacia = 46,97 km<sup>2</sup>

S<sub>i</sub> –é a declividade equivalente = 12,26 m/km

$\Delta h$  - é a diferença de cotas = 191 m

### 2.3. Tipos de solos, uso e ocupação na microbacia do Riacho Touro.

O uso e ocupação da microbacia foi determinado a partir de imagens do satélite Landsat 7<sup>5</sup> e com auxílio do Spring (Câmara, 1996).

A classificação é um processo que pode ser supervisionado ou não supervisionado. Nesse estudo, a classificação foi supervisionada onde foram definidas em primeiro lugar as assinaturas espectrais das categorias utilizadas. A classificação espectral esta baseada na precisão da imagem de satélite, visto que esses seriam os pontos mais fáceis de identificar na segmentação e que trariam menor erro de confusão entre as regiões de seleção. Depois foi associada a cada pixel a assinatura espectral mais similar.

<sup>5</sup> Disponibilizado em <http://www.dpi.inpe.br/CDSR/>

Nessa classificação foi utilizada uma segmentação com área de similaridade 10 e 20 de área em pixels, pois valores maiores para a segmentação na imagem utilizada não daria para identificar bem os grupos de interesse, se for usado valores muito baixos de similaridade e área não é possível identificar os grupos gerados na classificação e a área de confusão média entre as regiões escolhidas seria bem maior. Em seguida foi realizada a sobreposição do limite da microbacia Riacho dos Touros sobre a classificação de uso e ocupação do solo com o uso do ArcGIS.

Os tipos de solos (Figura 3) necessários para definição do CN foram obtidos da classificação pedológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006) que define 13 ordens de solos: *Argissolos*; *Cambissolos*; *Chernossolos*; *Espodossolos*; *Gleissolos*; *Latosolos*; *Luvisolos*; *Neossolos*; *Nitossolos*; *Organossolos*; *Planossolos*; *Plintossolos* e *Vertissolos*.

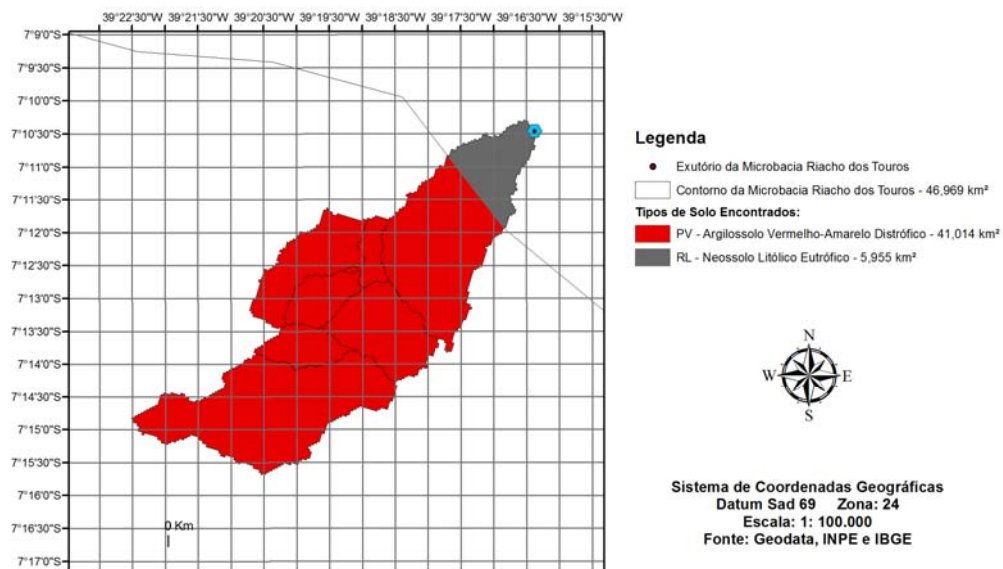


Figura 3- Mapa de tipos de solos na microbacia do Riacho Touros, Juazeiro do Norte, CE.

Por outro lado, o método SCS usa a classificação hidrológica dos solos agrupando em quatro grandes grupos; A, B, C e D (TR-55, 1986). Para o enquadramento dos tipos de solos da microbacia em estudo com citados na classificação hidrológica do método SCS comparou-se as manchas de solos (Figura 3) e o uso e ocupação (Figura 4) disponíveis na área da bacia delimitada com os definidos pela metodologia de Sartori, *et al* (2005) que relacionaram os grupos hidrológicos do método SCS com os tipos de solos brasileiros mais comuns.

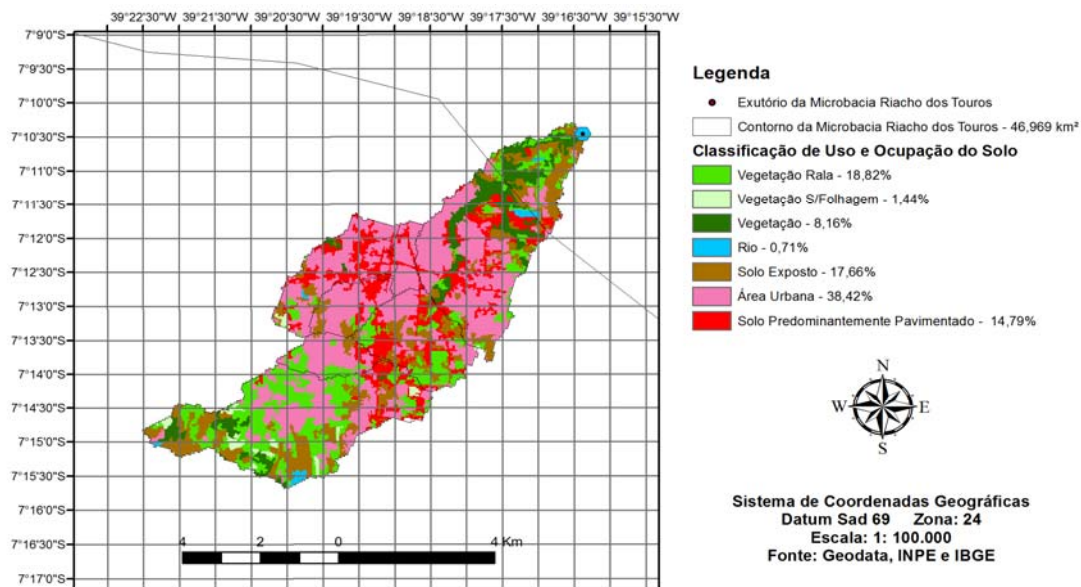


Figura 4 - Mapa de uso e ocupação do solo para a microbacia Riacho dos Touros, município de Juazeiro do Norte, CE.

#### 2.4. Mapa de CN (Curva Número)

Para obtenção dos valores de CN, comparou-se os grupos hidrológicos de solos presentes na bacia, de acordo com a metodologia sugerida por Sartori, *et al* (2005) e pelo uso e ocupação obtido da classificação realizada a partir das imagens do satélite Landsat 7. Os valores dos CNs para diferentes áreas da bacia estão mostrados na Figura 5. Observando esta figura pode-se identificar que o valor do CN variou de 73, em regiões com vegetação, até 98 onde ocorre solo pavimentado.

A definição do valor médio de CN para a microbacia foi realizado através da ponderação de cada valor em função da sua área de abrangência (equação 3).

$$CN_{médio} = \frac{\sum(CN_i \cdot A_i)}{A_t} \quad (3)$$

Em que:

$CN_{médio}$  - valor do CN médio

$CN_i$  - valor do CN de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia

$A_i$  - área de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia ( $km^2$ )

$A_t$  - área total da bacia ( $km^2$ )

A estimativa do valor do CN médio para a bacia indicou o valor de 89. Este valor foi usado no método SCS para estimar a vazão máxima na bacia por três equações para estimativa do tempo de concentração associado aos períodos de retorno de 10 e 50 anos.

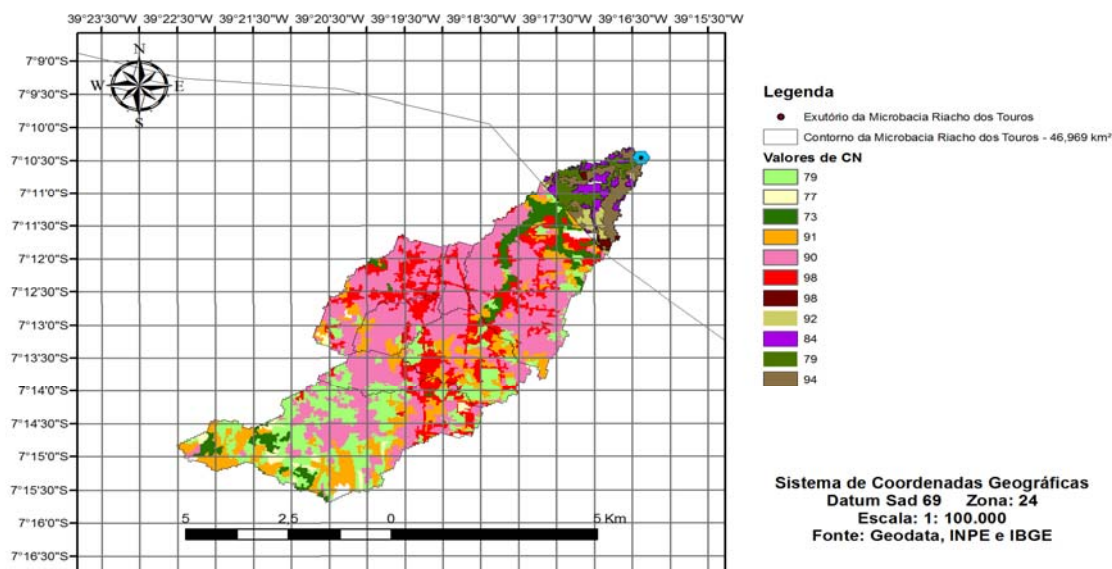


Figura 5- Mapa de CN da microbacia Riacho dos Touros, município de Juazeiro do Norte, CE.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O uso de sensoriamento remoto e ferramentas de SIGs possibilitaram a caracterização morfométrica da microbacia do Riacho dos Touros e obtenção do valor do CN representativo como sendo de 89. O valor do CN obtido indica que a bacia encontra-se densamente urbanizada. As altas taxas de urbanização na microbacia se refletiram em valores altos do escoamento superficial (Figura 5) devido à dificuldade que a água encontra para infiltrar no solo.

Nos hidrogramas de vazões máximas mostrados na Figura 6 podemos observar que a vazão máxima simulada para o tempo de concentração médio é de  $153 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $233 \text{ m}^3/\text{s}$  para os períodos de retorno de 10 e 50 anos, respectivamente. Um aspecto importante evidenciado nesse estudo é a necessita de avaliação preliminar na adoção do tempo de concentração uma vez que seus valores podem interferir muito nos valores de vazões máximas adotados nos projetos de drenagem urbana.

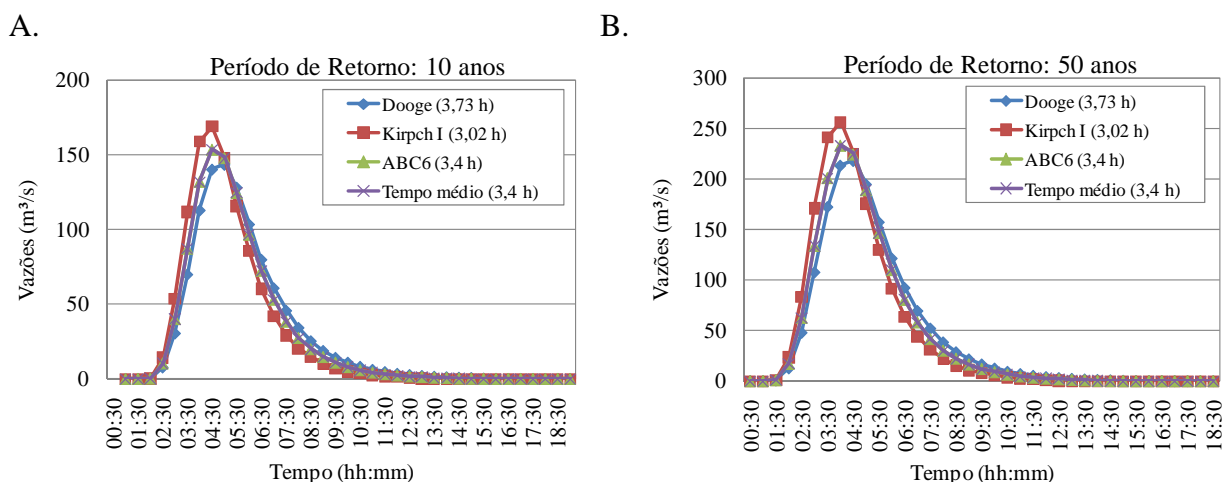


Figura 5 - Hidrogramas de vazões máximas para microbacia do Riacho dos Touros simulados pelo método do SCS com três equações de tempo de concentração associados aos períodos de retorno de 10 (A) e 50 anos (B).



#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo avaliou a geração de vazões máximas na microbacia do Riacho dos Touros, localizada na cidade de Juazeiro do Norte, Ceará. A caracterização da bacia, necessário para aplicação do método de estimativa da vazão máxima (método do SCS), foi realizada por sensoriamento remoto e ferramentas SIGs.

A caracterização do uso e ocupação da microbacia indicou que aproximadamente 53% da área total estão urbanizadas com predominância de edificações e pavimentos rodoviários. Desse modo, o CN representativo para a bacia foi de 89.

As altas taxas de urbanização na microbacia, representado no método do SCS pelo o valor alto do CN, se refletiram nas vazões máximas simuladas. A principal implicação causada pelos solos com baixa capacidade de infiltração de água, devido à impermeabilização da microbacia, foi à elevação do pico do hidrograma de vazões máximas. A elevação dos picos de vazões geram riscos de enchentes e alagamentos na cidade de Juazeiro do Norte, CE, podendo trazer diversos prejuízos, entre os quais estão prejuízos sociais e econômicos.

Este trabalho apresentou hidrogramas de vazões máximas que podem servir como base para o dimensionamento de obras de drenagem e determinação dos riscos de inundações na microbacia.

#### **5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVES, P. R.; SANTOS, E. R. S.; FERREIRA, N. C.; SILVA, M. V. A.; RAMOS, H. F. Avaliação da Impermeabilização do Solo na Área Urbana em Goiânia. Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.0965. SCS – Soil Conservation Service. National Engineering Handbook: Section 4, Hydrology. 1972.

ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEER). Curve Number Hydrology – state of practice. Richard H. Hawkinns, Timothys J. Ward, Donald E. Woodward e Joseph A. Van Mullerm. ASCE, 2009, USA, 106 p.

CÂMARA G.; SOUZA R. C. M.; FREITAS U. M.; GARRIDO J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403 May-Jun 1996.

CARVALHO Jr., N. R.; SOUZA, L. J. F.; PEREIRA Jr., L. C.; Utilização de imagem Landsat TM na análise da ocupação urbana do município de Goiânia – GO. Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4602.

COSTA, C. T. F., SILVA, F. R., TAVARES, P. R. L., Aplicação de geoprocessamento na caracterização morfométrica da microbacia do riacho touro, Ceará. Anais... In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Maceió, AL, INPE. p. 1-17, 2011.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.<sup>a</sup> Ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

GENOVEZ, A. M.; Vazões Máximas. In: Paiva, J. B. D.; Paiva, E. M. C. D. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográfica. Porto Alegre: ABRH, 2003.

LIMA, R. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; BARBOZA, G. C.; SANTOS, G. O.; SALLES FILHO, Á. L. O.; FEITOSA, D. G.; DAMIÃO, J. O. Uso e ocupação do solo e regionalização da vazão do Córrego Pernilongo. Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1464.

NRCS - Natural Resources Conservation Service. "Chapter 10: Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall". In: National Engineering Handbook: Part 630, Hydrology. 2009. Disponível em: <<http://directives.sc.egov.usda.gov/>>. Acesso em: 24 julho de 2013.

PORTO, R. L. L.; OLIVEIRA, C. M. P.; ZAHED FILHO, Kamel; ROBERTO, A. N. ABC6 Um sistema de suporte a decisões para análise de cheias em bacias complexas. Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte (MG). Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte: ABRH, 1999.

PFRAFSTETTER, O, Chuvas Intensas no Brasil, 2 a. Edição, Rio de Janeiro, DNOS, 1982, 426p.

SARTORI, ADERSON; HAWKINS, R. H.; GENOVEZ, A. M. Reference Curve Numbers and Behavior for Sugarcane on Highly Weathered Tropical Soils. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 137, p. 705-711, 2011.

SARTORI, ADERSON ; GENOVEZ, A. M. Critérios para Classificação Hidrológica de Solos Tropicais Brasileiros. Anais... XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

SARTORI, ADERSON; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M.. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, p. 5-18, 2005.

SILVEIRA, G.M. DA. Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, 2010.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. Ambi-Agua, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>)

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação, 3<sup>a</sup> ed. Porto Alegre, UFRGS, ABRH, 2004.