

ESTIMATIVA DO PARÂMETRO CN E IMPACTO DA URBANIZAÇÃO EM UMA BACIA DO EXTREMO SUL DO BRASIL

DAMÉ, R.C.F.¹; TEIXEIRA, C.F.A.²; SIQUEIRA, G.A.³; BACELAR, L.C.S.D.⁴; GARRÉ, S.O.³

¹Eng. Agrícola, Professora Associada do Centro de Engenharias, UFPel, Pelotas – RS. Fone: (0XX14) 3275-7165, e-mail: cfteixe@ig.com.br.

²Eng. Agrícola, Professora Adjunta do Centro de Engenharias, UFPel, Pelotas – RS.

³Acadêmico do Curso de Engenharia Agrícola, UFPel, Pelotas – RS.

⁴Acadêmico do Curso de Meteorologia, UFPel, Pelotas – RS.

ABSTRACT: It proposed an alternative to obtain the parameter-Curve Number CN-SCS for locations where there have been no experimental results. Knowing the parameter CN future scenarios are proposed to quantify the maximum flows of the project. We used a basin of creek Moreira / Frigate / RS / Brazil, divided into six sub-basins, estimating the hydrographs for the current and future situation. For the current situation, the parameter CN was obtained using the runoff coefficient ($C = 0.45$: Rural and $C = 0.60$: urban). The values of "C" for future scenarios in urban and rural areas were 0.50, 0.55 and 0.60, and 0.65, 0.70 and 0.75, respectively. The CN parameters obtained by the proposed methodology were 73 and 87 for rural and urban areas respectively. For future scenarios, the percentage increases in peak flows of the six sub-basins ranged from 8.5 to 36.8%. The proposed methodology was able to represent the characteristics of the runoff on the watershed.

Key-Words: SCS Method, Rational Method, sealing surface.

INTRODUÇÃO

O crescente aumento da impermeabilização nas cidades brasileiras traz como consequência o aumento da frequência das enchentes e inundações. No mês de janeiro do presente ano, 2011, foi visível ao povo brasileiro a tragédia que assolou a região serrana do estado do Rio de Janeiro no sudoeste do Brasil, após a ocorrência de eventos extremos de precipitação na ordem de 180 mm. Também no mesmo período, algumas localidades dos estados de Minas Gerais e de São Paulo foram assoladas por cheias decorrentes de eventos extremos de precipitação sobre a bacia (Bertoldi, 2009).

A bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata, inserida na bacia hidrográfica da lagoa Mirim/RS/Brasil, sofreu com inundações praticamente sucessivas, devido a dois eventos extremos de precipitação. Uma delas ocorreu no ano de 2004, cujo total diário precipitado foi de 218 mm (Damé et al., 2005) e outra mais recente, ocorrida no mês de janeiro do ano de 2009, em que a lâmina precipitada na sua nascente foi de 600 mm em 24 h (EMBRAPA, 2009). Os volumes de escoamento superficial decorrentes destes eventos, bem como as correspondentes vazões máximas, causaram danos a vidas humanas e também a obras estruturais contidas na referida bacia hidrográfica.

Situações como estas levam o profissional da área de recursos hídricos a preocupar-se cada vez mais no conhecimento do valor da vazão máxima, consequente de um evento intenso de precipitação, considerando as condições atuais da bacia hidrográfica, bem como a perspectiva de previsão de cenários futuros.

No entanto, ocorre uma indisponibilidade de séries de vazões, devido, principalmente, ao seu alto custo de obtenção, uma vez que para a determinação da curva-chave, que relaciona o nível d'água com a respectiva descarga, é necessário que sejam feitas diversas leituras dos respectivos dados e em épocas diferentes, o que demanda tempo e mão de obra especializada (Silveira e Tucci, 1998).

Em contraponto, se encontram com relativa facilidade, dados de precipitação que viabilizam a utilização de modelos hidrológicos, tanto determinísticos quanto estocásticos, os quais auxiliam na transformação chuva-vazão, permitindo a estimativa da vazão de projeto (Tucci, 2005; Teixeira et al., 2011).

Dentre os modelos determinísticos tem-se o modelo proposto pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (SCS, 1972), o qual é bastante conhecido e difundido na área de conservação do solo e da água, sendo usado para estimar o escoamento superficial direto, gerado por eventos de precipitação pluvial individuais, bem como em modelos de simulação hidrossedimentológicos (Beskow et al., 2009; Damé et al., 2010).

Este modelo possui dois parâmetros: a precipitação total para uma dada duração e período de retorno, obtida mediante as relações intensidade-duração-frequência de ocorrência de precipitação (IDF) ou por desagregação de chuva diária (Damé et al., 2010); e o parâmetro Curva-Número (CN) referente à caracterização do uso, cobertura e conteúdo de água no solo.

Entretanto, o parâmetro CN foi obtido inicialmente para os solos dos Estados Unidos, cujas características dos mesmos, bem como o clima, são diferentes dos solos brasileiros (Tassi et al., 2006).

A partir do trabalho pioneiro (SCS, 1972) de estimativa do parâmetro CN muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de obter a classificação hidrológica dos solos de cada região de estudo. No caso específico do Brasil encontram-se os trabalhos de Lombardi Neto et al. (1989) e de Sartori et al. (2005ab).

O trabalho de Sartori et al. (2005a) é uma extensão da classificação hidrológica de Lombardi Neto et al. (1989) e embora tenha sido baseada nas informações dos solos do Estado de São Paulo, pode ser aplicada em todo o Brasil onde ocorrem solos semelhantes. Porém os autores recomendam que a sua aplicação em regiões muito úmidas ou muito secas, como o Nordeste, o Pantanal e a Amazônia, deva ser feita com cautela, ficando um campo aberto para novos estudos.

No trabalho de Tassi et al. (2006) foi apresentado um processo metodológico empregado para a obtenção do parâmetro CN de algumas sub-bacias urbanas da Bacia do Arroio Dilúvio, em Porto Alegre/RS/Brasil. Os autores ainda obtiveram valores médios para o parâmetro, que podem ser utilizados em estudos realizados nas bacias hidrográficas analisadas ou com características semelhantes. Foram utilizados 159 eventos de precipitação-vazão de quatro sub-bacias urbanas da Bacia do Arroio Dilúvio, e para a avaliação da chuva antecedente aos eventos, foram utilizados os dados de precipitação do Posto do 8º Distrito de Meteorologia da cidade de Porto Alegre. Para cada evento chuva-vazão, foram consideradas as características da bacia, além dos dados de precipitação e vazão observados.

Segundo os autores, a determinação do parâmetro CN foi realizada mediante a separação do escoamento superficial direto e de base, a determinação da precipitação efetiva (relacionando: o volume escoado superficialmente e o volume total precipitado) e a aplicação da equação do SCS (1972), considerando 20% da capacidade máxima de armazenamento na camada superior do solo. Os valores da série de precipitação do posto do 8º Distrito de Meteorologia foram utilizados para determinar as condições de umidade antecedente, para cada um dos eventos.

Os trabalhos encontrados na literatura para a estimativa do parâmetro CN foram realizados em bacias experimentais (Paiva e Paiva, 2001), seguindo a metodologia de obtenção proposta por SCS (1972). No entanto em situações da prática usual em engenharia (Beskow, 2009) não é possível a utilização de bacias experimentais para a obtenção do valor de CN para a área em estudo. Nestes casos, é necessário buscar alternativas na estimativa deste parâmetro CN para a área de interesse.

Diante desta realidade, o objetivo do presente trabalho foi calibrar o parâmetro CN para uma dada área de estudo, tanto para as condições atual quanto futura de impermeabilização da bacia hidrográfica, valendo-se da lâmina total precipitada e do valor de coeficiente de escoamento, do método Racional, previamente estabelecido para áreas rural e urbanas.

METODOLOGIA

Para realizar o presente trabalho foi utilizada a bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata localizada no município de Pelotas/RS/Brasil (Figuras 1 e 2), cuja área de drenagem é de 203,21 km². Esta foi subdividida em seis sub-bacias, cuja rede hidrológica utilizada para a estimativa do parâmetro CN e consequente impacto da urbanização estão representadas graficamente nas Figuras 3 e 4.

Na Tabela 1 consta a caracterização fisiográfica, especificando o uso das seis sub-bacias do arroio Moreira/Fragata, valores de cota à montante e à jusante, comprimento de escoamento e área.

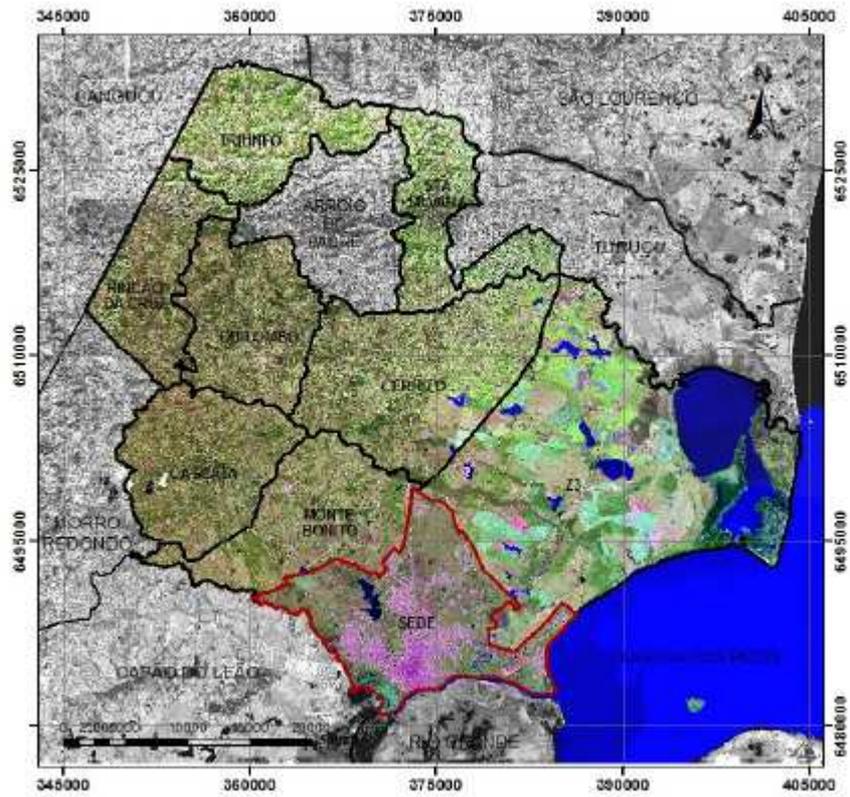


Figura 1 – Município de Pelotas e seus distritos (Xavier, 2010).

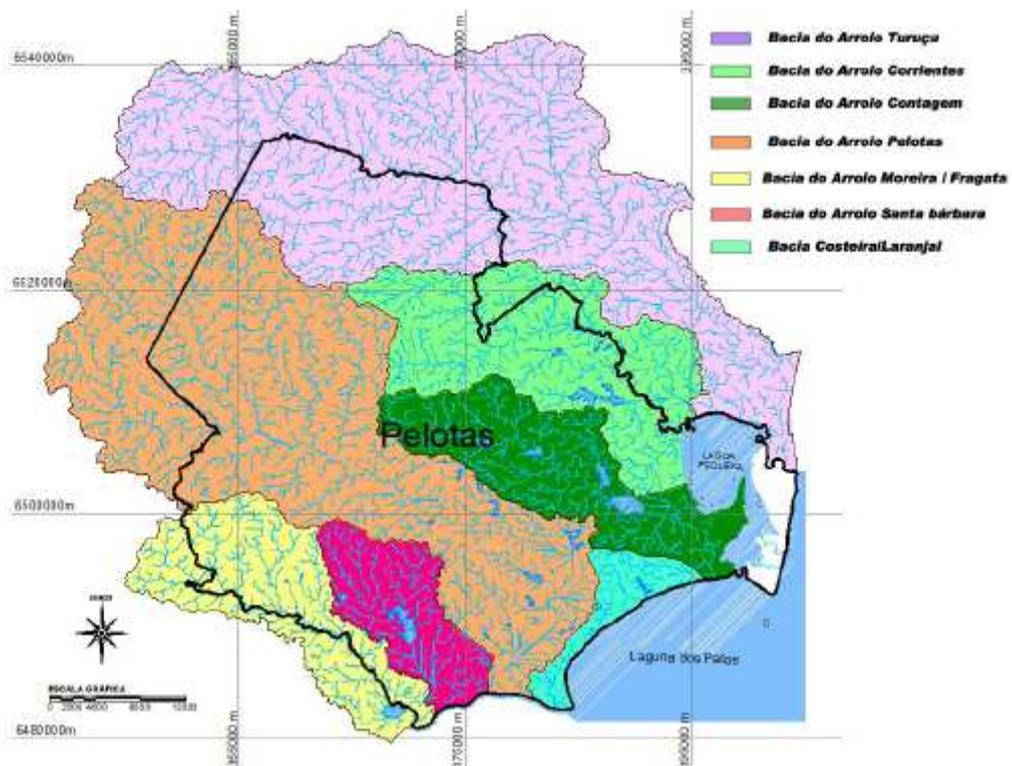


Figura 2 - Bacias hidrográficas de Pelotas (Xavier, 2010).

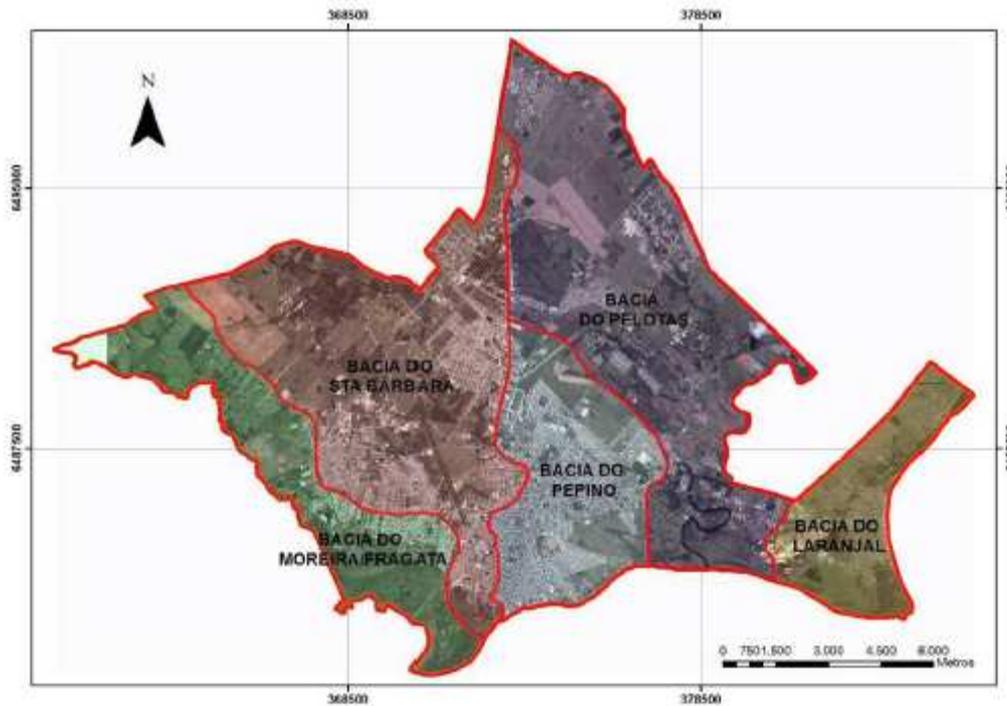


Figura 3 - Bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata/RS/Brasil

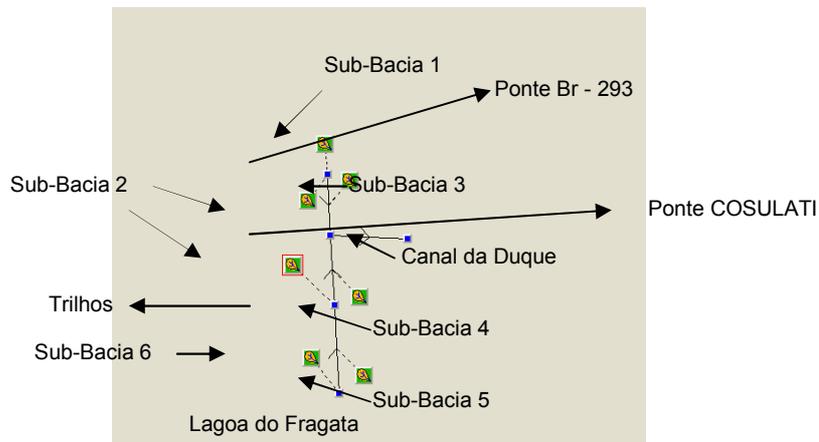


Figura 4 - Representação da rede hidrológica da bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata/RS/Brasil

Tabela 1 - Caracterização fisiográfica e uso das seis sub-bacias do arroio Moreira/Fragata

Sub-Bacia	Montante	Jusante	Uso	Hm* (m)	Hj* (m)	L* (km)	Área (km ²)
1	Nascente	Ponte	Rural	280	4	32,19	182,63
2	Ponte – MD	Trilhos - MD	Urbano	4	2	3,16	7,84
3	Ponte – ME	Trevo - UFPel	Urbano	8	2	1,69	1,38
4	Trevo – UFPel	Trilhos - ME	Urbano	4	2	0,88	1,98
5	Trilhos – MD	Lagoa - Fragata	Urbano	4	0,12	2,01	5,05
6	Trilhos - ME	Lagoa - Fragata	Urbano	4	0,12	2,01	4,33

*Hm: cota à montante, Hj: cota à jusante e, L: comprimento de escoamento.

Para cada uma das sub-bacias foram estimados os hidrogramas de escoamento superficial, considerando a situação atual e futura, utilizando-se o modelo Curva-Número (SCS, 1972).

Para a estimativa do hietograma de projeto efetivo, para cada uma das sub-bacias, foi utilizado o método do Soil Conservation Service (SCS, 1972; Singh et al., 2008), o qual considera a relação entre o armazenamento máximo, S (mm); a precipitação máxima acumulada, P (mm); a precipitação efetiva acumulada, Pe (mm); a quantidade armazenada no instante (P - Pe); as abstrações iniciais, Ia, (0,2 x S) e o parâmetro curva número, CN; sendo a precipitação efetiva obtida pelas seguintes relações:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

Obteve-se o hietograma efetivo da seguinte forma: (a) obtenção da lâmina efetiva para cada duração (Eqs. 2 e 3) e (b) cálculo dos incrementos da lâmina efetiva acumulada, por intervalo de tempo. Para obtenção do hidrograma de projeto foram estimados os parâmetros do hidrograma unitário sintético triangular do SCS (1972), cuja metodologia consistiu, inicialmente, da estimativa do Hidrograma Unitário Curvilíneo da área em estudo, adotando-se um valor de duração da chuva:

$$t_r = 0,133t_c \quad (3)$$

em que,

t_r - duração da chuva (h);

t_c - tempo de concentração (h).

Conhecendo a duração da chuva de projeto, foi calculado o tempo entre a metade da precipitação e o instante de pico (t_p), pela expressão:

$$t_p = 0,6t_c \quad (4)$$

O tempo de instante do pico (T_p) foi obtido pela expressão:

$$T_p = \left(\frac{t_r}{2} \right) + t_p \quad (5)$$

E o tempo entre o início e o fim do escoamento superficial, ou seja, o tempo de base (t_b) por:

$$t_b = 2,67 \left(\frac{t_r}{2} + t_p \right) \quad (6)$$

Finalmente a vazão de pico (Q_p) foi encontrada mediante a equação (7):

$$Q_p = \left(\frac{0,208A}{T_p} \right) \quad (7)$$

em que,

A - área de drenagem expressa (km^2);

T_p - tempo de instante de pico (h).

A partir dos valores obtidos de T_p e Q_p , obtiveram-se as ordenadas do Hidrograma Unitário da Área, através do Hidrograma Unitário Adimensional (SCS, 1972). Para a estimativa do hidrograma de escoamento superficial foram utilizadas as ordenadas do hidrograma unitário e os valores de precipitação excedentes obtidos a partir dos hietogramas efetivos.

O hietograma de projeto foi estimado utilizando-se a equação de chuvas intensas do município de Pelotas/RS (Goulart et al., 1992), aplicando-se o método dos blocos alternados para estimar a distribuição temporal da precipitação (Damé et al., 2010), com duração igual ao tempo de concentração e período de retorno 100 anos. O tempo de concentração foi estimado utilizando-se a equação de Watt & Chow, segundo Dingman (2002).

Para calibrar o parâmetro CN do modelo Curva Número, foi utilizada a relação entre a precipitação efetiva e a lâmina total precipitada. O parâmetro CN foi considerado calibrado quando a relação entre a precipitação de projeto e efetiva foi 0,45 para bacias rurais e 0,60 para urbanas. Na previsão dos cenários futuros, a calibração foi admitida quando o coeficiente de escoamento, nas áreas rurais e urbanas atingiu os valores descritos anteriormente (0,50, 0,55 e 0,60 = rural e 0,65, 0,70 e 0,75 = urbana).

DESCOBERTAS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 são apresentados os valores do tempo de concentração, os parâmetros do hidrograma unitário triangular do método da Curva número (SCS, 1972), bem como os valores de CN para as situações atual e os três cenários futuros. O valor de CN obtido para a condição atual na sub-bacia 1 (rural) foi igual a 73 e considerando o valor médio para as demais sub-bacias (urbanas) igual a 87.

Considerando-se os tipos de solo que compõem a sub-bacia 1, Planossolos e Gleis pouco húmicos, estes são classificados hidrológicamente na classe “D”. Isto significa que os mesmos possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando saturados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão. Para as demais sub-bacias, a composição dos solos é formada por Orgânico salino, Glei húmico e pouco húmico e, Podzol hidromórfico e Glei húmico, os quais são enquadrados nas classes “C” e “D”. Os solos da classe “C” contêm baixa taxa de infiltração quando completamente saturados, com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração ($1,27 - 3,81 \text{ mm h}^{-1}$) (Sartori et al., 2005b). Os valores encontrados de CN, obtidos a partir do uso do parâmetro “C” do método Racional, estão no intervalo proposto pelo SCS (1972), os quais variam de 76, correspondente ao uso do mesmo com florestas, a 94 para superfícies totalmente impermeáveis.

Na sub-bacia 1, quando é utilizado o parâmetro CN para o cenário atual igual a 73, o valor consequente de vazão máxima é de $237,83 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e para os cenários futuros 1, 2 e 3, os acréscimos percentuais em relação ao atual foram 11,7, 23,9 e 36,8%, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 2 - Valores do tempo de concentração, dos parâmetros do hidrograma unitário triangular do método da Curva Número (t_c , t_p e Q_p) (SCS, 1972) e dos CN's para as situações atual e os três cenários futuros.

Sub-Bacia	t_c^* (h)	t_p^* (h)	Q_p^* ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	CN* atual	CN Cenário 1	CN Cenário 2	CN Cenário 3
1	13,02	8,68	4,38	73	76	79	82
2	5,83	3,88	0,42	84	87	89	91
3	2,11	1,20	0,24	88	90	92	93
4	1,28	0,85	0,49	89	91	92	94
5	2,62	1,75	0,60	87	89	92	93
6	2,62	1,75	0,52	87	89	92	93

* t_c : tempo de concentração, t_p : tempo de pico, Q_p : vazão de pico e, CN: parâmetro do método Curva Número.

Tabela 3 – Valores das vazões máximas ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) para as seis sub-bacias do arroio Moreira/Fragata, considerando a situação atual de impermeabilização e os três cenários futuros

Sub-Bacia	$Q_{\text{máx}}$ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) Atual	$Q_{\text{máx}}$ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) Cenário 1	$Q_{\text{máx}}$ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) Cenário 2	$Q_{\text{máx}}$ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) Cenário 3
1	237,83	265,70	294,87	325,36
2	24,39	27,16	29,09	31,09
3	9,57	10,46	11,41	11,91
4	16,93	18,62	19,51	21,37
5	28,30	30,70	34,53	35,86
6	24,20	26,30	29,60	30,80

Para as demais sub-bacias, independente do cenário utilizado, os acréscimos percentuais de vazão mínimo e máximo foram 8,5 e 27,5% correspondentes as vazões de 30,70 (sub-bacia 5) e 31,09 m³ s⁻¹ (sub-bacia 2), respectivamente, em relação a situação atual.

Neste sentido, Allasia (2002) e Tassi et al. (2005) quantificaram o impacto econômico do acréscimo percentual das vazões máximas, a partir dos custos relacionados com o dimensionamento das obras de drenagem urbana e as incertezas envolvidas na estimativa de CN. Os autores concluíram que para cada R\$ 1 (um real) investido em uma rede de macro drenagem urbana, um erro comum de 10% (de super ou sub-estimativa) no parâmetro CN, custa aos cofres públicos entre R\$ 0,45 (quarenta e cinco centavos) e R\$ 1,10 (um real e dez centavos), dependendo do cenário.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados encontrados pode-se concluir que a metodologia proposta, baseada na estimativa do parâmetro CN a partir do valor de "C" do método Racional, foi capaz de representar as características do escoamento superficial sobre a bacia hidrográfica do arroio Moreira/Fragata.

REFERÊNCIAS

ALLASIA, D.G. Impacto das incertezas no custo de uma rede de macrodrenagem. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 152 p. Dissertação (Mestrado), 2002.

BERTOLDI, C.R.C. Temporal causa prejuízos na Embrapa Clima Temperado, 2009. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2009/janeiro/4a-semana/temporal-causa-prejuizos-na-embrapa-clima-temperado>. Acesso em: 26 maio 2011.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; COELHO, G.; SILVA, A.M.; VIOLA, M.R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.169-178, 2009.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; MOURA C.; MACHADO, R.; BESKOW, S. Análise do impacto de um evento de precipitação ocorrido na cidade de Pelotas/RS. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.3, p.15-25, 2005.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S.; ROSSKOFF, J.L.C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.14, n.1, p. 46-54, 2010.

DINGMAN, S.L. **Physical Hydrology**. Prentice Hall, Upper Saddle River, 646p. 2002.

GOULART, J.P.; MAESTRINI, A.P.; NEIBEL, A.L. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.7, n.1, p.543-552, 1992.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P.A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I.F.; OLIVEIRA, J.B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.

PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001, v.1. p.624.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a 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, n.4, p. 05-18, 2005a.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, p. 19-29, 2005b.

SCS – Soil Conservation Service. Hydrology. In: National engineering handbook. Washington: USDA, 1972. p.101-1023.

SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.3, n.3, p.97-110, 1998.

SINGH, P.K.; BHUNYA, P.K.; MISHRA, S.K.; CHAUBE, U.C. A sediment graph model based on SCS-CN method. **Journal of Hydrology**, v.349, p.244-255, 2008.

TASSI, R.; ALLASIA, D.G.; MELLER, A.; MIRANDA, T.C.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A.L.L. Determinação do parâmetro CN para sub-bacias urbanas do arroio Dilúvio - Porto Alegre/RS. I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste. 2006.

TASSI, R.; BASTOS, C.A.B.; MIRANDA, T.C. Aspectos metodológicos sobre o emprego do método do SCS com auxílio de ferramentas de geoprocessamento no projeto de estruturas de drenagem de uma rodovia. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.7, p.27-37, 2005.

TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; SIQUEIRA, G.A.; BACELAR, L.C.S.D. Vazão máxima de projeto: metodologia para dimensionamento de bueiros em áreas agrícolas. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 17, p.49-56, 2011.

TUCCI, C.E.M. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2005, 678p.

XAVIER, S.C. O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras: estudo de caso para Pelotas (RS). Rio Grande: FURG – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. 256p Dissertação (Mestrado), 2010.