



CAPÍTULO 11

CONTROLE DE ESCOAMENTO ATRAVÉS DE MICRO RESERVATÓRIOS EM LOTES URBANOS

DOI: dx.doi.org/10.18616/pgtur11 | **SUMÁRIO**

Juliano Possamai Della
Carlos Roberto Bavaresco
Álvaro José Back

INTRODUÇÃO

Relatos dos períodos da Antiguidade mostraram que ocorriam inundações provocadas por fenômenos naturais, provenientes de grandes precipitações. Essas inundações podem ser classificadas como eventos naturais, em que nos períodos de grande volume de precipitação os rios não possuem área suficiente para escoar a vazão gerada, provocando inundações das margens do rio. No entanto as inundações podem ser geradas também por causas antrópicas, principalmente no ambiente urbana, onde grandes aglomerações urbanas, associada a uma impermeabilização do solo, gerando aumento da vazão (TUCCI, 2005).

Os impactos produzidos por conta das inundações no meio urbano dependem da área impermeabilizada, juntamente com o sistema de canalização da rede de drenagem empregado, visto que, à medida que ocorre o crescente aumento da população juntamente com a incidência de construções – gerando áreas de impermeabilização do solo e aumento do volume de água a ser escoado com o aumento da velocidade dessas águas para sistemas de drenagem –, se produzem as conhecidas inundações, que estão mais frequentes comparadas quando a superfície do solo era permeável (BARBOSA, 2006).

Áreas densamente urbanizadas possuem o inconveniente de sofrerem com o aumento de inundações, visto que esse convívio com as inundações torna-se mais frequente ao longo do tempo, resultando em prejuízos econômicos à região afetada e grandes riscos de perdas humanas (NAKAZONE, 2005, p. 1).

O controle das inundações urbanas pode ser realizado por meio de medidas estruturais ou não estruturais (TUCCI, 2005). As medidas estruturais geralmente requerem grande disponibilidade de recurso econômico para a construção de elementos físicos. As medidas classificadas como não estruturais são geralmente de menor custo, em que se utilizam de medidas preventivas como alerta de inundação, zoneamento de riscos seguro contra inundações. Todas as medidas mencionadas ape-

nas minimizam os efeitos das inundações, já que o homem não poderá controlar totalmente as inundações. Uma alternativa estrutural de baixo custo que poderá ser viabilizada seria a construção de reservatório de detenção domiciliar (FRANCISCHET, 2012).

Os projetos de drenagem pluvial atualmente utilizam da prática de transportar para jusante todo excesso de água gerado através das impermeabilizações, fazendo com que, à medida que ocorre o deslocamento desse volume, ele é acrescido de novos volumes devido à mesma concepção ser adotada em toda a bacia, resultando em grandes volumes no exutório, visto que apenas utiliza-se como meio de controle a canalização dessas águas, a fim de compensar as impermeabilizações ocorridas no solo de determinada região, agravando, assim, o problema a jusante (CRUZ; TUCCI; SILVEIRA, 1998).

Tucci (1995) afirma que os problemas oriundos da urbanização devem ser controlados por meio da microdrenagem, ou seja, na fonte, caso contrário, ele apenas será transportado de local.

O impacto produzido pelo desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico ocorre com alteração da relação entre a infiltração e escoamento, principalmente devido à impermeabilização da bacia e ao aumento da velocidade de escoamento pela implantação da rede de drenagem. Essas alterações alteram componentes do ciclo hidrológico, que pode ter consequências como: diminuição da infiltração de água no solo; aumento de escoamento superficial, com aumento de velocidades dos escoamentos, gerando aumento das vazões máximas, com antecipação de picos no tempo; diminuição do nível do lençol freático devido à não ocorrência de infiltração, a qual é responsável por alimentar os aquíferos; e redução de evapotranspiração (RIO GRANDE DO SUL, 2005).

Diante das legislações vigentes, a Constituição Federal do Brasil estabelece em seu artigo 182 que é responsabilidade dos municípios desenvolverem funções sociais da cidade, garantindo o bem-estar dos habitantes, utilizando o plano diretor como instrumento. Por conta da grande quantidade de alagamentos em áreas urbanas, verifica-se a necessidade de controlar os aumentos de vazão provocados pelas impermeabi-

lizações, aplicando, dessa forma, de forma individual medida de controle como reservatório de detenção.

Nos projetos de drenagem urbana, deve-se estimar o volume de escoamento e a vazão gerada. Uma das técnicas mais difundidas para estimar o escoamento superficial é o CN (Número de curva), desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS-USDA), que, nos dias atuais, passou ser denominado por *Natural Resources Conservation Service* (NRCS-USDA). A utilização desse método é empírica e fundamentada em um conjunto de relações entre precipitação, condições de superfície do solo e escoamento (GROVE; HARBOR; ENGEL, 1998).

Segundo Arndt (2009), o método SCS ou CN trata-se de um modelo matemático no qual se consegue determinar a chuva excedente, em bacias de diversos tipos de ocupação. O principal parâmetro do método é o CN (Número de Curva de escoamento superficial), no qual se considera o tipo de solo, o uso e a ocupação do solo na bacia, relacionando-o com características físicas do solo, bem como a umidade do solo.

O método CN permite conhecer a precipitação efetiva resultante de uma determinada chuva para uma área de drenagem conhecida. O método prevê três condições de umidade antecedente do solo e função da chuva ocorrida nos dias anteriores (Condições de Umidade Antecedente do Solo I, II e III), além de corrigir os valores do parâmetro CN para essas condições (TASSI et al., 2006). Esse parâmetro pode variar entre 0 e 100.

Tassi et al. (2006) destacam que o método SCS possui grande utilização também para determinação de volume de armazenamento de reservatório de detenção, utilizados para controle de cheias urbanas. A autora utilizou em trabalho realizado em 2002 valores de CNs com variação de 62 a 80 para dimensionamento de reservatório e conseguiu visualizar grandes diferenças nos volumes de armazenamento (40%) e vazões de projeto (70%).

Este trabalho teve como objetivo analisar o efeito gerado no escoamento superficial sob diferentes condições de impermeabilização do solo (antes e depois da ocupação) juntamente com a utilização de

reservatórios de detenção (microreservatórios) implantados em terrenos individuais.

DESENVOLVIMENTO

O estudo será realizado em uma área do município de Forquilha, localizado no sul catarinense, a 200 km da capital, Florianópolis, na qual se destaca um grande crescimento de sua ocupação urbana.

A equação de escoamento NRCS (1997) estima o escoamento das águas de chuvas totais, isto é, a relação exclui o tempo como uma variável, e a intensidade da chuva é ignorada. A lâmina de escoamento superficial é estimada por:

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}, \quad \text{se } P > I_a \quad (1)$$

$$Q = 0 \rightarrow P \leq I_a \quad (2)$$

Em que:

R = Escoamento superficial (mm);

P = Precipitação acumulada no período (mm);

I_a = Perda inicial (mm);

S = Retenção de potencial máximo do solo (mm).

As perdas iniciais, representadas por I_a na equação (1), são bastante variáveis, mas geralmente podem ser relacionadas com o tipo de solo e a cobertura vegetal (TASSI et al., 2006). NRCS (1997) estabelece

uma relação para estimar “Ia” conforme equação (3), assumindo como sendo uma função da retenção potencial máxima “S”, portanto foi expressa empiricamente a relação entre “Ia” e “S” como:

$$Ia = 0.2.S \quad (3)$$

Portanto, a equação precipitação-escoamento é obtida substituindo a equação (3), na equação (1), obtendo-se:

$$R = \frac{(P - 0.2.S)^2}{P + 0.8.S} \quad (4)$$

Caso se obtenha uma relação diferente do $Ia = 0.2.S$, deverá ser utilizado um novo conjunto de Número de Curva (NRCS, 1997).

O valor de “S” depende do tipo de ocupação do solo e o mesmo pode ser estimado por

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (5)$$

Dessa forma, o parâmetro de CN pode ser obtido da transformação de “S”.

$$CN = \frac{1000}{10 + S} \quad (6)$$

para polegadas, caso “S” for em milímetros:

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25,4}} \quad (7)$$

Para os tipos de solo e condições de ocupação, o método por meio do NCRS identifica os grupos hidrológicos de solo conforme Tabela 1 (MOCKUS apud SARTORI et al. 2006; TUCCI, 2002).

Tabela 1 – Identificação do tipo de solos NRCS

Tipo de Solo	Características
A	Solos com baixo escoamento superficial e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados. Solos com moderada taxa de transmissão de água (taxa de infiltração mínima > 7,62 mm.h ⁻¹). Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis que o solo “A”, com moderada taxa de infiltração quando completamente molhados. Consiste em solos arenosos de moderadamente profundo e moderadamente bem drenado. Possui taxa de transmissão de água (taxa mínima de infiltração: 3,81 - 7,62 mm.h ⁻¹).
C	Solos com potencial de escoamento superficial acima da média, baixa taxa de infiltração quando completamente molhados. Solos com baixa taxa de transmissão de água (taxa mínima de infiltração: 1,27 - 3,81 mm.h ⁻¹). Solos com percentagem abundante de argila e poucos profundos.
D	Solos com grande potencial de escoamento com taxas de infiltração muito baixas, gerando maior proporção de escoamento superficial. Abundância de solos argilosos e possuem uma taxa muito baixa de transmissão de água (taxa mínima de infiltração: 0-1,27 mm.h ⁻¹).

Fonte: SARTORI et al. (2006)

Diante das identificações apresentadas para os solos, caracterizou-se o solo da área em estudo como “C”. Desse modo, segundo Tucci (1995), o valor de CN para bacias urbanas e suburbanas para solo tipo “C”

possui CN de 90, na qual foram estabelecidos os valores de CN composto para os percentuais de impermeabilização de 30%, 50%, 75% e 100%, conforme as condições de pré-ocupação das áreas dos lotes por meio da equação:

$$CNC = CNp \cdot (1-f) + f \cdot (98) \quad (87)$$

CNC = número CN composto da área urbana em estudo;

CNp = número CN da área permeável da bacia em estudo;

f = fração da área impermeável da bacia em estudo.

Para a obtenção da equação de chuvas intensas para a região de Forquilha, foram utilizados os parâmetros fornecidos por Back (2013), ficando a equação estabelecida por:

(98)

i - intensidade média máxima da chuva (mm.h^{-1});

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (min).

Dessa forma, os hidrogramas de entrada são encontrados conforme suas respectivas condições de impermeabilização e intensidade média máxima da chuva em um período de no máximo 120 minutos, discretizados em intervalos de minutos devido às considerações desse método, conforme:

$$Q_{ent} = R \cdot A \cdot dt \quad (10)$$

Q_{ent} = hidrograma de entrada (L.s^{-1});

R = Lâmina de escoamento (m);

A = área (m^2);

dt = variação no tempo (s).

Como não existe lei específica para o estado de Santa Catarina para definição de reservatórios de retenção, optou-se por utilizar a lei municipal de São Paulo, Lei n. 12.526, que define que o volume do reservatório é determinado por:

$$V = \text{volume do reservatório (m}^3\text{);} \quad (11)$$

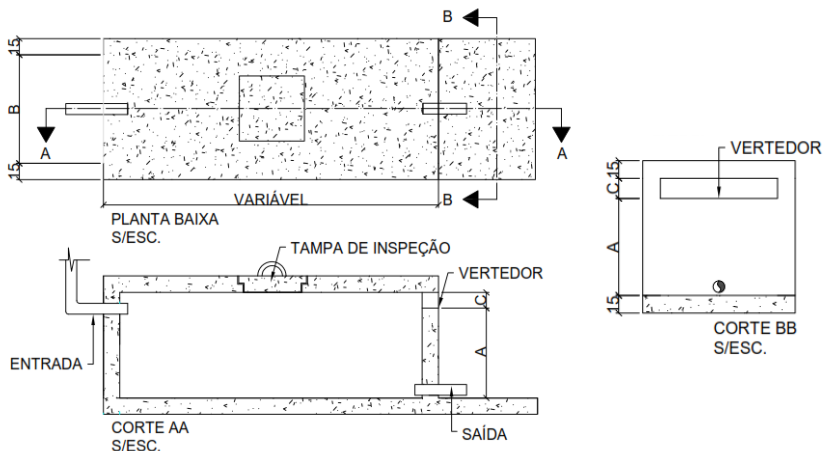
$$A_i = \text{área impermeabilizada (m}^2\text{);}$$

$$IP = \text{índice pluviométrico igual a 0,06 mm.h}^{-1}\text{;}$$

$$t = \text{tempo (h).}$$

O reservatório de retenção proposto possui como características construtivas (Figura 1) tubulação de entrada e saída de formato circular e vertedor de parede delgada. Esse dispositivo somente é necessário nos casos em que o transbordamento do reservatório provoca prejuízos a propriedade. Neste estudo de caso, não foi necessário dimensionar esse dispositivo, sendo ele inserido no desenho apenas para segurança construtiva.

Figura 1 – Características do reservatório.



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Foram realizadas diversas simulações de funcionamento do sistema determinando o hidrograma de saída do reservatório de retenção para estabelecer os diâmetros das tubulações de descarga, verificando, desse modo, os picos de vazões de saída.

Determinou-se a vazão de saída através da equação de bocais:

$$Q_s = 0,45 \cdot A_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_c} \quad (12)$$

Em que:

Q_s = vazão de saída ($m^3 \cdot s^{-1}$);

A_c = área da seção transversal (m^2);

g = aceleração da gravidade ($m \cdot s^{-2}$);

h_c = carga hidráulica na abertura de saída (m).

Diante das condições de fornecimento de tubulação hidráulica de água fria, utilizaram-se as dimensões fornecidas pelo catálogo Tigre S/A – Tubos e Conexões (2016) para tubulação com pressão de serviço 7.5 kgf.cm^{-2} :

Tabela 2 – Área de seção transversal da tubulação de saída.

Diâmetro comercial (mm)	Área útil (m^2)
110	0,007512
85	0,004489
75	0,003484
60	0,00224

Fonte: Dos Autores (2017)

Como a altura do reservatório ou mesmo as áreas destinadas para a implantação dele são fatores limitadores, foi realizada como procedimento a determinação de altura de 1 m para os volumes encontrados por meio da equação (10).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores encontrados para os CNcs foram calculados com os percentuais de impermeabilização de 30% a 100% considerando a área-padrão de 360 m² com CN da área permeável (90). Os valores obtidos constam na Tabela 3.

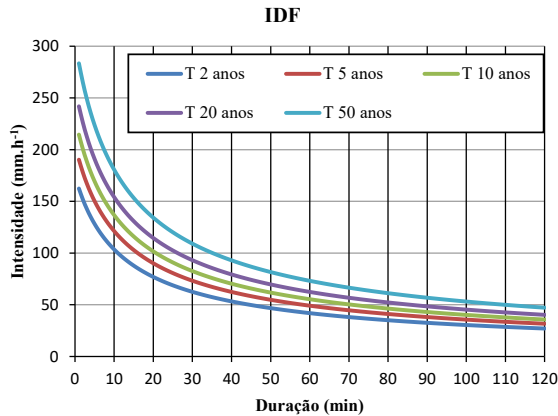
Tabela 3 – CNs compostos

Fração Impermeável (%)	CNc
30	92
50	94
75	96
100	98

Fonte: Dos Autores (2017)

O Gráfico 1 representa as relações Intensidade-Duração-Frequência de chuvas intensas para os períodos de retorno (T) de 2, 5, 10, 20 e 50 anos, e duração de 5 a 120 minutos. No estudo foi verificado que o tempo de retorno de 5 anos atenderia à necessidade ampla para o dimensionamento do reservatório de retenção.

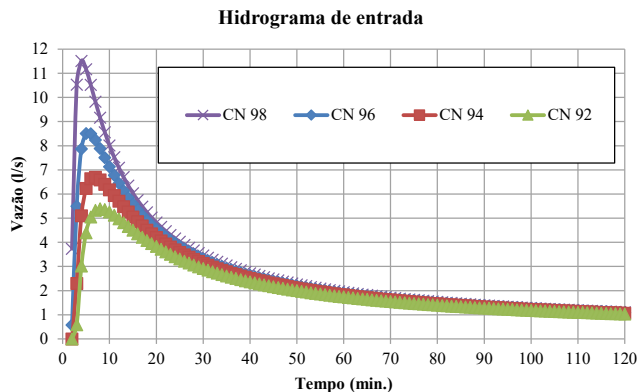
Gráfico 1 – Relações IDF de Forquilha/SC



Fonte: Dos Autores (2017)

Por meio das condições impostas do terreno (CNC), juntamente com o período de retorno estabelecido em 5 anos, foi possível gerar o hidrograma de entrada (Gráfico 2), em que se verifica que os picos de vazão não ultrapassam o tempo de concentração de 7 minutos (Tabela 4), visto que são vazões relativamente altas.

Gráfico 2 – Hidrograma de entrada



Fonte: Dos Autores (2017)

Tabela 4 – Vazão de pico

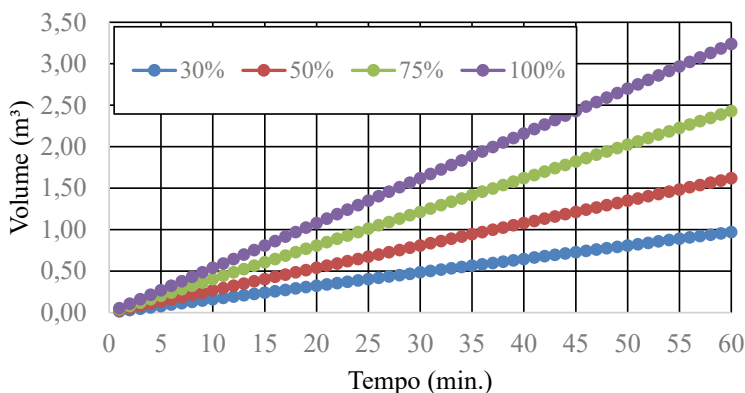
CNC	Vazão entrada (L.s ⁻¹)	Tempo (min.)
98	11,52	3
96	8,52	4
94	6,70	6
92	5,40	7

Fonte: Dos Autores (2017)

As determinações dos volumes dos reservatórios (Gráfico 3) correspondem ao percentual de impermeabilização (Tabela 3) do terreno padrão que foi definido em 360 m². Já o tempo estimado máximo para a determinação deve ser de 1 hora conforme Lei n. 12.526.

Gráfico 3 – Volume de reservação para diferentes coeficientes de impermeabilização

Volume do Reservatório



Fonte: Dos Autores (2017)

Assim, foi determinado o volume de 3,24 m³ para CN de 98, 2,43 m³ para CN de 96, 1,62 m³ para CN de 94 e 0,97 m³ para CN de 92, visto

que os volumes deverão ser armazenados em reservatórios de detenção no próprio terreno, conforme características informadas na Figura 1.

Diante dos dados obtidos anteriormente com a limitação de 1,00 m de altura para os reservatórios, foram estabelecidos os dados de saída apresentados na Tabela 5.

Verifica-se que, com a máxima impermeabilização do terreno, utilizando-se do maior diâmetro disponível, o reservatório possui baixa eficiência, uma vez que apenas 15,44% de redução do pico do escoamento na saída do terreno serão realizados. Dessa forma, a maior eficiência será com a utilização da tubulação de saída DN 75, em que se possui uma redução de 40,71%.

Destaca-se também que para os valores de CN de 96, 94 e 92 as tubulações de saída com DN 110 e DN 85 *não possuem eficiência*, uma que a redução das vazões é insignificante.

Tabela 5 – Resumo dos resultados obtidos do hidrograma de saída

CN	Volume reservatório de detenção (m³)	Diâmetro comercial (DN)	Altura da lamina d'água no reservatório (cm)	Vazão de pico de saída (L.s ⁻¹)	Redução pico de escoamento (%)
CN98	3,24	DN110	34,03	9,73	15,53
		DN85	60,75	7,77	32,55
		DN75	77,84	6,83	40,71
		DN60	114,07	5,31	53,91
CN96	2,43	DN110	23,77	8,14	4,46
		DN85	49,51	7,02	17,60
		DN75	67,11	6,34	25,59
		DN60	106,21	5,13	39,79
CN94	1,62	DN110	15,93	6,69	0,15
		DN85	38,68	6,20	7,46
		DN75	56,34	5,81	13,28
		DN60	98,71	4,94	26,27
		DN50	149,07	4,13	38,36
CN92	0,972	DN110	12,97	5,40	0,00
		DN85	28,52	5,33	1,30
		DN75	44,61	5,17	4,26
		DN60	88,39	4,68	13,33
		DN50	146,26	4,09	24,26

Fonte: Dos Autores (2017)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O volume do reservatório de amortecimento para o lote com 360 m², totalmente impermeabilizado foi de 3,24 m³. Para os menores valores de impermeabilização o volume do reservatório foi de 0,97 m³.

O estudo realizado demonstrou que é possível obter redução das vazões de pico de 13,31 a 40,69% por meio das variações nas dimensões das tubulações de saída.

Assim, diante das considerações realizadas para dimensionamento do reservatório de detenção, ele possui efetividade apenas para as condições de impermeabilização próximas a 100%.

REFERÊNCIAS

ARNDT, M. A. *Uso e Ocupação do Solo e escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel*. 2009. 35 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2009. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/tede/tde_arquivos/1/TDE-2010-01-20T122507Z-390/Publico/Marcos%20Alexandre%20Arndt.pdf>. Acesso em: 30 out. 2017.

BACK, A. J. *Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem para o Estado de Santa Catarina* (com programa HidroChuSC para cálculos). Florianópolis: Epagri, 2013.

BARBOSA, F. de A. dos R. *Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB*. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2006. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss_franciscobarbosa.pdf>. Acesso em: 8 set. 2017.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Controle do escoamento com retenção em lotes urbanos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 19-31, 1998.

FRANCISCHET, M. M. *Análise da influência dos reservatórios de retenção domiciliares no escoamento superficial urbano*. 2012. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

GROVE, M.; HARBOR, J.; ENGEL, B. Composite vs. distributed curve numbers: effects on estimates of storm runoff depth. *Journal of the American Water Resources Association*, Middleburg, p. 1015-1023. 1 jan. 1998.

NAKAZONE, L. M. *Implantação de reservatórios de retenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU*. 2005. 305 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Engenharia Hidráulica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-13042006-210759/publico/ImplantacaoReservatoriosDetencao.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2017.

NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: _____. *Hydrology: national engineering handbooks*. Washington: USDA, 1997. Cap. 10, p.1-79. Disponível em: <WWW.ftw.nrcs.usda.gov>. Acesso em: 15 out. 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Departamento de Esgotos Pluviais. *Plano diretor de drenagem urbana: manual de drenagem urbana*. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima-versao.pdf>. Acesso em: 22 set. 2017.

SARTORI, A. *Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos*. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2004.

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

TASSI, R.; VILLANUEVA, A. O. N. Análise do impacto dos microreservatórios de lote nos custos de uma rede de drenagem urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 89-98, 2004.

TIGRE S/A – TUBOS E CONEXÕES (Santa Catarina) (Org.). *Orientações para instalações de água fria*: água fria predial. 2016. Disponível em: <<https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-agua-fria.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2017.

TUCCI, C. E. M. *Drenagem urbana*. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 1995.

_____. *Gestão de águas pluviais urbanas*. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.

_____. *Hidrologia*: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2002.