

IX-067 - ESTUDO DE CASO BASEADO NA UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM UMA ÁREA URBANA DA BACIA DO RIO BELÉM

Erika F. Sierra Cárdenas⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitária pela Universidade de Boyacá (Colômbia). Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná.

Daniel Costa dos Santos⁽²⁾

Engenheiro Civil, Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UFRGS), Doutor em Construção Civil e Estruturação Urbana (USP) e Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento (UFPR).

Cesar Augusto Medeiros Destro⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso. Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná. Professor adjunto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Endereço⁽²⁾: Jardim das Américas, caixa postal 19011 - Curitiba - PR - CEP: 81531-990- Brasil - Tel: 41-33613434 e-mail: dcsantos.dhs@gmail.com

RESUMO

O processo de urbanização e de expansão das cidades tem sido constante nos últimos anos. O Brasil não é uma exceção neste fenômeno. Estas mudanças têm alterado o ciclo hidrológico natural produzindo um aumento do escoamento superficial e a diminuição da infiltração. Não obstante, foram concebidos os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SuDS) para gerir os riscos ambientais advindos da quantidade e qualidade do escoamento superficial das águas urbanas. Desta maneira, o desenvolvimento urbano, quando devidamente planejado, representa avanços tecnológicos e proporcionam benefícios na infraestrutura de um determinado local. Assim, esta pesquisa teve como objetivo principal a avaliação da aplicação de SuDS na bacia do rio Belém, cuja área é de 148 hectares, localizada na cidade de Curitiba. A fim de propor medidas que promovam melhorias à mesma, o estudo foi conduzido em duas etapas. Inicialmente foi realizada a caracterização da área de estudo com informações de caráter social, geológico, climático e técnico. Logo após, foram locadas e pré-dimensionadas medidas de SuDS. Tais medidas foram a utilização de microreservatório, telhado verde, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, bacias de detenção, sistemas de bioretenção e wetlands construídos. Tais medidas, portanto, abrangem intervenções desde a utilização de fontes alternativas de água não potável em ambientes domésticos, industriais e comerciais, até aquelas respectivas à mitigação da poluição difusa e à prevenção e o controle de enchentes.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas urbanos de drenagem sustentável, controle de vazão, controle da qualidade.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o crescimento populacional instigou a ocorrência de diversos impactos ambientais. No que se refere ao ciclo hidrológico, a impermeabilização do solo é um fator de desequilíbrio no meio urbanizado (TUCCI, 2005). Um exemplo é a pavimentação de áreas originalmente permeáveis com a aplicação de materiais como asfalto e concreto. Para consolidar o termo de sustentabilidade na drenagem urbana é necessário desenvolver um planejamento estratégico entre o poder público, a iniciativa privada e a população. Esta iniciativa requer a educação e a sensibilização da população, além da conjugação de medidas em diversas escalas no intuito de prover qualidade de vida e conservação do meio ambiente (RIGHETTO, 2009). Assim, para conseguir o planejamento estratégico nos sistemas urbanos de drenagem sustentável é preciso pensar no futuro e planejar medidas para lidar com os problemas identificados na área urbana.

Neste contexto os SuDS foram concebidos para gerir os riscos ambientais advindos do escoamento superficial das águas urbanas pela redução do escoamento e pelo controle da poluição difusa. Desta maneira, os SuDS são considerados uma ferramenta para reaproximar, ao máximo, as condições atuais ao que seria o ciclo hidrológico natural próprio da condição pré-ocupação antrópica.

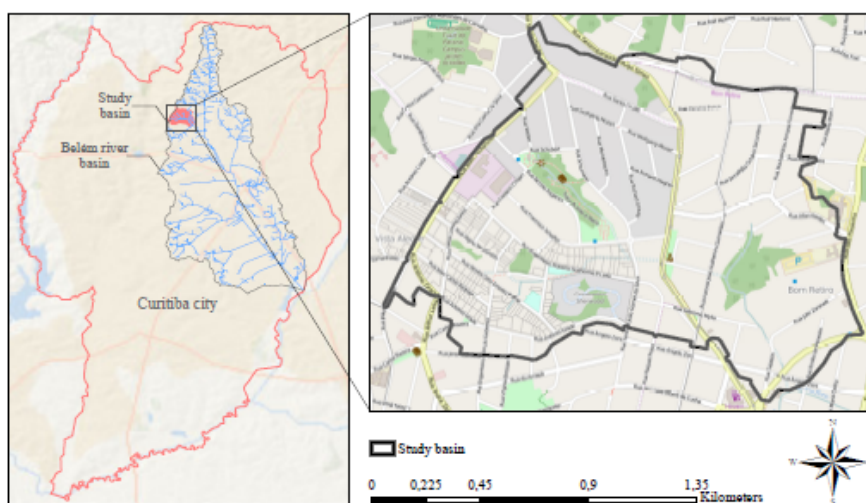
Isto posto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar um estudo de caso baseado na aplicação dos SuDS em áreas urbanas. Para tanto o trabalho foi executado em duas etapas. Na primeira, com suporte de imagens de satélite, foi feita uma identificação das áreas potenciais para a projeção das medidas de drenagem na área de estudo. Posteriormente, foi feito o dimensionamento das medidas SuDS para logo calcular a vazão de controle e as cargas de poluentes removidas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Curitiba é a nona aglomeração urbana mais populosa do Brasil com uma população estimada de 1.751.907 habitantes em uma área de 437,42 km² (IBGE, 2013). A cidade de Curitiba está localizada na bacia do Alto Iguaçu a qual composta pelas sub-bacias Atuba, Barigui, Belém, Passaúna e Ribeirão das Padilhas. A sub-bacia do rio Belém é uma das mais importantes por sua crescente taxa de urbanização nas últimas décadas, por sua elevada densidade populacional e pelos decorrentes impactos ambientais sofridos. O trabalho buscou também elencar os principais critérios a serem considerados quando da implementação de um projeto de drenagem sustentável. As etapas para o desenvolvimento de esta pesquisa constam a seguir.

Primeira Etapa: Identificação das Áreas Potenciais para a Locação das Medidas de SuDS.

Para a delimitação da área de estudo se considerou a facilidade de demarcação partir dos divisores de águas e a disponibilização de informações sobre a infraestrutura sanitária. Dadas tais premissas, com o apoio do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) escolheu-se uma área residencial de 148 ha (DESTRO, 2016). Esta área está inserida nos bairros Bom Retiro, Vista Alegre e Pilarzinho e está delimitada pelas ruas Cláudio Manoel da Costa, Nilo Peçanha, Ângelo Zeni, João Tschannerl e pela Avenida Desembargador Hugo Simas. A mesma encontra-se apresentada na Figura 1.



Fonte: Destro, 2016.

Figura 1: Localização da área de estudo na cidade de Curitiba e a sub-bacia do rio Belém.

Para a coleta dos dados foi necessária uma pesquisa digital com as ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) disponíveis em ArcGis e Google Earth Pro, as quais possibilitam a manipulação de dados espaciais de maneira rápida e eficiente, aumentando a eficácia na análise e na tomada de decisões para a locação das medidas (WOODS-BALLARD et al., 2007).

Na sequência foram classificadas as áreas permeáveis e impermeáveis por ação antrópica. As áreas permeáveis permitem a infiltração da água da chuva no solo, fator este importante pois reduz os riscos de enchentes. Por outro lado essas áreas são consideradas espaços em pré-desenvolvimento devido ao potencial de impermeabilização na região, realidade esta que pode implicar em aumento das vazões pico na área de estudo gerando condições críticas a serem consideradas na concepção das medidas SuDS. Contudo, outros aspectos para a concepção dos SuDS foram abordados como a geometria, a área disponível, a densidade vegetativa e o tipo de área, ou seja, se área privada ou pública, conforme apresentado na Figura 2.

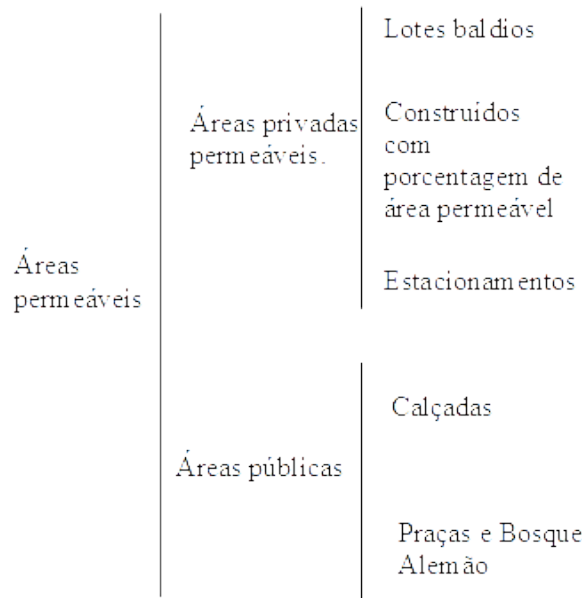


Figura 2: Classificação das áreas permeáveis.

Quanto a concepção, portanto, nos lotes baldios foram projetados microreservatórios e telhados verdes. Estes últimos proporcionam a atenuação das vazões pico, assim como o aproveitamento destas águas para fins não potáveis. Para os lotes construídos com áreas permeáveis foram analisadas a implementação de medidas de biorretenção e wetlands construídos. Para os estacionamentos foram concebidos pavimentos permeáveis. No que concerne as áreas públicas, foram projetadas as trincheiras de infiltração enquanto às praças foram previstos wetlands construídos, bacias de detenção e sistemas de biorretenção.

Também são fatores importantes as dimensões das áreas tributárias e os coeficientes de escoamento superficial para decidir sobre quais medidas seriam viáveis. Bacias de detenção e *wetlands* construídos, por exemplo, requerem área tributária significativa, a qual normalmente superior a 8,0 ha (ELLIS et al., 2006), para garantir o funcionamento eficaz em um cenário de desenvolvimento urbano típico, assim como para combater as secas causadas em períodos de verão. É importante esclarecer que em algumas áreas não foi possível a formulação dos SuDS devido à impermeabilização e à inviabilidade econômica das possíveis mudanças estruturais.

Segunda Etapa: Cálculo da Vazão de Controle e da Remoção de Poluentes

Após concebidas e locadas as medidas SuDS foram estimadas as vazões de controle visando o cálculo dos volumes de armazenamento necessários e, em consequência, das dimensões mínimas das medidas seguindo a metodologia do Manual de Drenagem Urbana da antiga SUDERHSA (2002a). Quanto a este dimensionamento, cumpre destacar que o Plano de drenagem Urbana de Curitiba (SUDERHSA, 2002a) apresenta as medidas SuDS e os procedimentos básicos gerais para o pré-dimensionamento hidráulico baseados no método da “curva envelope” ou “método das chuvas”. Por esse método, a curva de massa, no tempo, dos volumes afluentes ao dispositivo é comparada com a curva de massa dos volumes dos efluentes.

Por outro lado, no que concerne aos dispositivos de infiltração, é importante ressaltar que um fator a considerar é a colmatação que, segundo Virgiliis (2009), em zonas urbanas é função de fatores locais como o tráfego intenso, por exemplo. Logo, dimensionadas as estruturas é possível saber qual é a vazão de controle de cada uma de elas. Neste dimensionamento foram determinadas as áreas de contribuição de cada uma das medidas.

Com referência à qualidade da água em bacias hidrográficas, em Curitiba há preocupações. Na bacia do rio Belém, por exemplo, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) classificou o rio Belém como poluído de acordo com seus critérios (IAP, 2009). Conforme relatado por Mansor et al. (2007), a concentração mínima de PT relatada foi de 1,80 mg/L e a concentração mínima de NTK foi de 8,2 mg/L. Kramer et al. (2015) relataram a presença de carbono orgânico, que combinado com a baixa concentração de oxigênio dissolvido e altos níveis de nitrogênio amoniacal e fósforo total, indicam a presença de esgoto doméstico no rio Belém.

Para o cálculo da remoção das cargas de contaminantes “y” removidas (L_y) conforme a equação 1,

$$L_y = \sum_{M=1}^n [E_y \times [c]_y \times C_{v,M_x} \times I_{med} \times A_{M_x}] \quad \text{equação (1)}$$

sendo:

C_{v,M_x} = Coeficiente de escoamento médio na área tributária para a medida “M_x”;

E_y = Eficiência de remoção do poluente y (ver TABELA 6);

$[c]_y$ = Concentração do poluente y;

I_{med} = intensidade média anual de precipitação no cenário n;

A_{M_x} = Área tributária da medida “M_x”.

O coeficiente de escoamento (C_v) depende das características do solo, da cobertura, do tipo de ocupação, dentre outras variáveis. A relação local para a estimativa do coeficiente de escoamento para Curitiba é baseado em uma regressão linear (ver equação 2) (CAMPANA; TUCCI, 1994) baseada na área impermeável no cenário n (AI) e em dados locais.

$$C_v = 0,15 + 0,80 AI \quad \text{equação (2)}$$

A área Impermeável (AI) foi baseada em dados de Porto Alegre, São Paulo e Curitiba (MENEZES; TUCCI, 2012), conforme apresentado na equação 3.

$$AI = 13 + 0,57 * DH \quad (3)$$

sendo, $DH < 100$ hab/ha.

Por outro lado, a massa poluente depositada sobre a superfície da bacia no período de estiagem é transportada para o corpo hídrico durante o escoamento superficial, esta considerada como a massa poluente de contribuição da drenagem pluvial urbana. A variabilidade da taxa de massa poluente transportada durante eventos de precipitação na rede de drenagem pode ser descrita por hidrogramas e polutogramas para cada poluente considerado (HALLOCK, 2007). Em uma bacia hidrográfica estas curvas podem variar de evento para evento, dependendo da intensidade de precipitação, do período de tempo seco antecedente ao evento, do total precipitado, das condições da rede de drenagem, da quantidade de deposição, do acúmulo de massa poluente, além das características da bacia e da rede de drenagem. O estudo mais recente e completo sobre as eficiências de remoção dos sistemas SuDS foi o desenvolvido por Battiata et al. (2010), do qual foram adotados os dados para os cálculos de cargas de contaminantes removidos. Tais eficiências de remoção de poluentes das medidas de SuDS é apresentada a Tabela 01:

TABELA 1: Percentagem das eficiências de remoção das medidas SuDS

MEDIDAS DE DRENAGEM	1			2		3		
	PT	NTK	SST	PT	NTK	PT	NTK	SST
Microreservatório	-	-	25	-	-	-	-	-
Telhado Verde	26	-	69	-	-	-	-	-
Wetlands Construídos	98	37	72	75	55	-	-	-
Trincheira de Infiltração	60	-	85	65	50	0 a 40	0 a 30	20 a 60
Pavimento Permeável	60	66	71	-	-	65	75 a 85	80 a 95
Biorretenção	85	60	85	45	55	-	-	-
Bacia de Detenção	48	18	56	50	30	0 a 79	0 a 80	70 a 91

Fonte: Adaptado de ¹Battiata et al. (2010); ²Virginia Department of Conservation & Recreation (2007); ³Denver Colorado Urban Drainage (1999)

As referências consultadas (1 a 5), com as concentrações médias dos poluentes de estudo na rede de drenagem, são apresentadas na Tabela 2 cujas concentrações da Referência 3 foram especificadas para áreas impermeáveis menores que 40% da área total.

Tabela 2: Aspectos de qualidade do escoamento urbano superficial

VARIÁVEL	1	2	3	4	5
SST (mg/L)	190	184	-	100	101
NTK(mg/L)	3,2	2,62	2,67	2,2	2,64
PT (mg/L)	0,34	0,58	0,28	0,4	0,38

Fonte: Adaptado de ¹Ellis et al., (2006); ²Brezonik e Stadelmann (2002);
³VIRGINIA DEPARTMENT OF CONSERVATION & RECREATION (2007);
⁴THE STORMWATER MANAGER'S RESOURCE CENTER ; ⁵Burton et al. (2001)

As concentrações de poluentes adotadas para a presente pesquisa foram da Referência 1 por se tratar das concentrações mais críticas. Já a intensidade média anual de precipitação foi considerada segundo os dados da cidade de Curitiba, onde foram analisadas as tendências no regime de chuvas conforme informações da estação código 02549006, de responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA), esta escolhida por ser representativa da região sul do Brasil.

RESULTADOS

Com a concepção e locação das medidas SuDS foi possível determinar uma área potencial de aplicação das mesmas na ordem de 17 hectares dentre 148 hectares, conforme Figura 3. Neste sentido, é preciso ressaltar que estes espaços distribuídos em toda a área recebem o escoamento de uma área tributária. Ao somar estas áreas com as áreas de projeção dos SuDS, sendo tal totalização denominada área de influência, obteve-se a somatória total de 37,5 hectares.

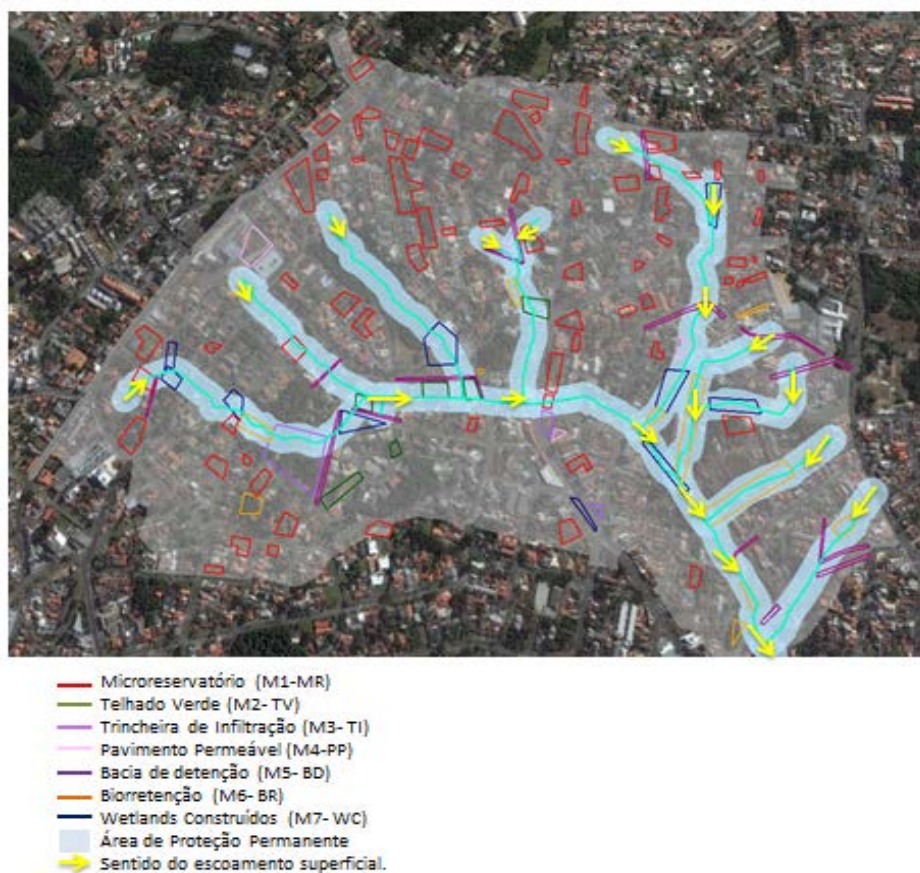


Figura 3: Locação das medidas SuDS na área de estudo.

Na Figura 3, portanto, são apresentadas as locações das medidas SuDS onde foi possível determinar que os microreservatórios representam o maior número de medidas projetadas devido ao potencial de urbanização, ou seja, o uso de lotes baldios privados com fins residenciais. É importante ressaltar que esta medida foi aplicada em maior número em relação aos telhados verdes dados os custos destes. Outrossim, a menor vazão de controle foi a dos telhados verdes devido a seu baixo volume útil. Este fato é produto da porosidade do meio filtrante e das baixas profundidades. No entanto é importante considerar que esta medida proporciona valor agregado no paisagismo. A segunda medida com maior número de unidades foi a trincheira de infiltração as quais concentradas sobre a área de proteção permanente. Esta medida tornou-se viável devido as geometrias das áreas disponíveis, sendo possível utilizar as mesmas nas calçadas.

Com relação as estimativas das eficiências das medidas de SuDS foi necessário calcular a capacidade máxima da rede de drenagem na área de estudo, cálculo este desenvolvido com o apoio da ferramenta StormCad. Como é apresentado na Figura 4, a capacidade da rede é de 8,03 m³/s e atualmente a rede de drenagem está a 0,47 m³/s de atingir o extravasamento da mesma, realidade esta que já justificaria a implementação de medidas de SuDS.

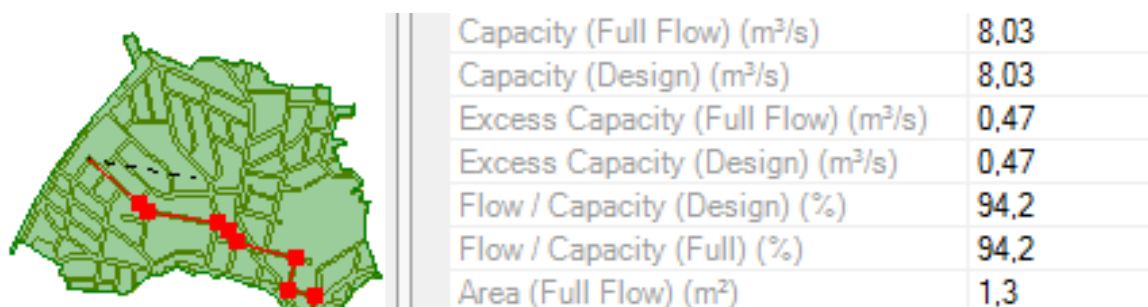


Figura 4: Capacidade da rede na área de estudo.

Logo após de localizadas as medidas, foi realizado o dimensionamento para determinar a vazão de controle conforme apresentado na Tabela 3, sendo portanto possível arguir que os sistemas com maior vazão de controle correspondem são as trincheiras de infiltração, na ordem de 1,40 m³/s, seguidos pelos microreservatórios.

Tabela 3: Área de influência e vazão de controle das medidas SuDS

MEDIDAS SUDS	ÁREA TOTAL DE INFLUÊNCIA (m ²)	VAZÃO DE CONTROLE (m ³ /s)
Microreservatório	96819,2	1,31
Telhado Verde	7580	0,08
Trincheira de Infiltração	69039	1,4
Pavimento Permeável	11919	0,1
Bacia de Detenção	58540	0,29
Biorretenção	102599	0,67
Wetlands Construídos	8617	0,01
Σ	375113	3,86

Com relação à qualidade do escoamento superficial, foi possível determinar que atualmente a carga total de contaminantes sem nenhuma medida de SuDS é de 23,67 tonNKT/ano, 2,51 tonPT/ano e 1405,9 tonSST/ano. No entanto, se forem implementadas todas as medidas SuDS, a carga remanescente de contaminantes seria de 21,07 tonNKT/ano, 2,00 tonPT/ano e 1092,0 tonSST/ano. Na sequência, na Tabela 4, são apresentadas as remoções dos contaminantes conforme cada medida de SuDS.

Tabela 4. Remoção de poluentes das medidas SuDS

MEDIDAS SuDS	NKT (tonNKT/ano)	PT (tonPT/ano)	SST (tonSST/ano)
Microreservatório	0,00	0,00	48,93
Telhado Verde	0,00	0,01	10,57
Trincheira de Infiltração	0,00	0,16	126,03
Pavimento Permeável	0,13	0,01	8,04
Bacia de Detenção	0,17	0,05	31,14
Biorretenção	0,98	0,15	82,85
Wetlands Construídos	0,17	0,05	19,57
Σ	1,45	0,42	327,13

Na Tabela 04 observa-se que o sistema de maior eficiência de remoção para todos os poluentes foi o de biorretenção. Cabe observar ainda que para a remoção esperada das cargas de contaminantes, conforme Tabela 04, é importante a adequada operação e manutenção das medidas SuDS..

CONCLUSÕES

Os microreservatórios apresentaram-se como as medidas mais adequadas seguidas pelas trincheiras de infiltração. Estas últimas, segundo o dimensionamentos, são as medidas com maior vazão de controle, contribuindo assim para o controle da vazão pico do escoamento superficial, para o controle de poluentes e para a recarga de aquíferos. Já a menor vazão de controle foi dos telhados verdes devido a seu baixo volume útil. No que concerne as medidas de infiltração, esta pesquisa foi baseada em dados de literatura. Todavia, é importante desenvolver ensaios de campo para determinar o coeficiente de infiltração devido os efeitos da urbanização. Além disso, são importantes estudos sobre o comportamento do lençol freático e a profundidade da camada impermeável do solo na área de estudo.

Para a área sob estudo, segundo a modelação realizada pelo modelo StormCad e conforme os dimensionamentos, foi possível determinar o quanto a implementação das medidas SuDS reduz o volume de drenagem nas redes drenagem, condição esta que possibilita a redução e o adiamento de investimentos em obras para diminuição dos riscos de inundações pluviais.

Os SuDS são ferramentas importantes para a redução da poluição difusa urbana, além de encaminhar benefícios como a conservação da água, a recarga de aquíferos, a valoração paisagística e o aumento da biodiversidade na área de estudo. Já a viabilidade de implantação das medidas está diretamente relacionada às áreas de Planejamento Urbano Ecológico, Projeto Paisagístico e o Projeto de Drenagem Urbana. No entanto, nestes estudos de viabilidade, é recomendada a implementação de critérios sociais e ambientais e não apenas aqueles econômicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BREZONIK, P. L.; STADELMANN, T. H. *Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area*, Minnesota, USA. *Water Research*, v. 36, n. 7, p. 1743–1757, 2002.
2. BURTON JR, G. A.; PITT, R. *Stormwater effects handbook: A toolbox for watershed managers, scientists, and engineers*. CRC Press, 2001.
3. CAMPANA, N.; TUCCI, C. E. *Estimativa da área impermeável de macro-bacias urbanas*. *Revista Brasileira de Engenharia*, v. 12, n. 2, p. 79–94, 1994.
4. DESTRO, C. A. M. *The Urban Water Use Model as a tool to support the evaluation of sustainable drainage measures in Brazilian cities*, p.160, Tesis de doutorado. Universidade Federal do Paraná, 2016.
5. DENVER COLORADO URBAN DRAINAGE. *Flood Control District (UDFCD)*. *Urban Drainage Criteria Manual*, v. 3, 1999.
6. ELLIS, J. B. et al. *The DayWater decision support approach to the selection of sustainable drainage systems*. *Water practice and technology*, v. 1, n. 1, p. 28–31, 2006.

7. HALLOCK, D. *Efficiency of Urban Stormwater Best Management Practices: A Literature Review*. Washington: Environmental Assessment Program, 2007.
8. KRAMER, R. D. et al. *Determinação de anti-inflamatórios na água e sedimento e suas relações com a qualidade da água na bacia do Alto Iguaçu*, Curitiba-PR. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 3, p. 657–667, 2015.
9. IAP. *Monitoramento da qualidade das águas dos rios da Bacia do Alto Iguaçu, na Região Metropolitana de Curitiba, no período de 2005 a 2009*. Curitiba.
10. MANSOR, M. T.; TEIXEIRA FILHO, J.; ROSTON, D. M. *Avaliação temporal da carga orgânica transportada no Rio Belém, estação Prado Velho*, Curitiba/PR, em eventos de chuvas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 715–723., 2007.
11. MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. *Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas*. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.
12. MENEZES, F. C. M.; TUCCI, C. E. *Alteração na relação entre densidade habitacional e área impermeável: Porto Alegre-RS*. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 9, n. 1, p. 49–55, 2012.
13. RIGHETTO, A. M. *Manejo de águas pluviais urbanas*. ABES. v. 4, n.1, p. 21-72, 2009
14. SUDERHSA. *Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba*. v. 4, p. 313, 2002a.
15. THE STORMWATER MANAGER'S RESOURCE CENTER. *Pollutant*. Disponível em: <<http://www.stormwatercenter.net/>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
16. VIRGINIA DEPARTMENT OF CONSERVATION & RECREATION. *Virginia Stormwater Management: Nutrients Design System*. Virginia: Center for Watershed Protection, 2007.
17. VIRGUILIIS, L. A. C. *Procedimentos de Projeto e execução de pavimentos permeáveis visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias*. Universidade de São Paulo, 2009.
18. WOODS-BALLARD, B. et al. *The SUDS manual*. London, United Kingdom: 2007