
SISTEMAS DE DRENAGEM EM PRAÇAS, PARQUES E OUTRAS ÁREAS PEATONAIS URBANAS VISANDO AMORTECER INUNDAÇÕES

Amanda Maria Costa Molina

Helena Junqueira Reis Enout

André Luiz de Lima Reda

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

O trabalho propõe utilizar sistemas de drenagem com baixo impacto na circulação urbana, tais como pavimentos permeáveis e microrreservatórios subterrâneos, para mitigar inundações nas cidades. Inicialmente, o artigo aborda aspectos conceituais e a evolução dessa categoria de soluções de microdrenagem, propondo metodologia de cálculo para dimensionar tais sistemas. No campo prático, desenvolve um programa Excel para dimensionar equipamentos urbanos sustentáveis para microdrenagem desses dois tipos. Aplica-se a planilha ao caso do Largo da Batata, na cidade de São Paulo, visando avaliá-la e, também, comparar as capacidades desses dois métodos em reduzir vazão de pico e volume de cheia. Como resultado, o uso de microrreservatório de amortecimento se mostra mais vantajoso do que pavimentos permeáveis na região do caso abordado.

Palavras-chave: Pavimento permeável. Drenagem sustentável. Reservatório de amortecimento.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de drenagem urbana conduzem águas pluviais pela superfície e pelas redes hidráulicas a destinos adequados para evitar inundações locais. Usam, ainda, equipamentos que armazenam temporariamente a cheia, amortecendo seu pico. No passado, canalizava-se o fluxo para acelerá-lo para jusante – política questionável por elevar picos de cheia, tal como o próprio processo de urbanização já faz ao impermeabilizar o solo com pisos lisos e retificar cursos d’água. Atendendo à demanda pelo planejamento sustentável das obras urbanas, criou-se nos Estados Unidos, em 1980, o sistema Low Impact Development (LID), resultando em obras de drenagem com baixo impacto nocivo que amortecem cheias, integrando técnicas e soluções de pequena escala, tais como reinstalar pavimentos permeáveis. O Plano Diretor Estratégico de São Paulo segue essa linha ao garantir “sustentabilidade, eficiência e boa qualidade urbana e ambiental” (SÃO PAULO, 2014, p. 128).

Para desenvolver novos métodos sustentáveis, são fundamentais a ciência e a tecnologia, com ferramentas computacionais que viabilizem soluções inovadoras. Dentro dessa realidade, esta pesquisa visa contribuir para justificar a aplicação de técnicas de drenagem sustentáveis menos frequentemente usadas. Desenvolve uma ferramenta matemática de apoio ao projeto de componentes estruturais simples que promovem amortecimento em enchentes urbanas. Realiza-se aqui uma análise crítica quantitativa para comparar diferentes tipos de sistema de drenagem de baixo impacto, com base num estudo de caso – uma praça na região oeste da cidade de São Paulo.

2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

2.1 Sistemas de drenagem urbana

O crescimento descontrolado das cidades brasileiras acarreta desequilíbrio hidrológico em bacias urbanas. Dois fatores importantes para esse desequilíbrio são a retirada de proteção vegetal, o que facilita a erosão do solo, e a urbanização, que reduz a infiltração nele e alisa superfícies, acelerando o escoamento sobre elas. Essa dupla problemática aumenta significativamente a parcela de escoamento superficial, provocando crescente incidência de inundações em centros urbanos.

Para reduzir os impactos da inundação no trecho de montante de uma bacia hidrográfica, os métodos tradicionais sempre cuidaram de acelerar o fluxo para jusante

dele, transferindo o problema para lá. Duas técnicas de drenagem urbana têm sido usadas como soluções de baixo impacto para melhorar esse quadro. Uma é armazenar temporariamente a água drenada em reservatório de detenção, descarregando-a logo após a chuva para amortecer picos de cheias – retardando sua contribuição para os rios receptores e reduzindo vazões de pico. A outra é facilitar a infiltração da chuva no solo urbano, incentivando a entrada e o armazenamento de água entre suas partículas e reduzindo volumes superficiais escoados de imediato – assim, estes podem até se tornar bem menores, dependendo da estrutura desse solo.

2.2 Reservatórios subterrâneos de detenção e retenção

Reservatórios de detenção (ou “bacias de detenção”) vêm sendo usados na drenagem urbana para armazenar água pluvial temporariamente antes que vá à rede que leva ao curso d’água receptor, liberando-a após a enchente. Assim, reduzem volumes imediatos de cheia e amortecem picos para valores tolerados pela rede. Caso parte da cheia infiltre durante a detenção ou seja usada para outro fim – com uma parcela do seu volume permanecendo retida –, passa-se a chamá-los “reservatórios de retenção”.

O reservatório pode ser subterrâneo e receber, por gravidade, água drenada por bocas de lobo para bueiros, valas de infiltração ou outros equipamentos integrados ao sistema de microdrenagem (por exemplo: pavimento permeável, piso com vegetação, telhado verde). Durante a chuva, a água captada é nele introduzida e armazenada; depois, liberada lentamente por gravidade. Há reservatórios em que a gravidade não age sozinha na carga e na descarga, pois contam com dispositivos de comando e controle – tais como válvulas, comportas e bombas.

2.3 Pavimentos permeáveis

Pavimentos permeáveis (ou porosos) são outro método para controlar inundações urbanas. Podem apresentar alto índice de infiltração quando superpostos a solos mais porosos, promovendo redução no escoamento superficial e recarga de aquíferos. Sua composição apresenta vazios para permitir percolação da água da chuva. Segundo Silva (2018), devem utilizar “agregados com poucos ou sem finos”. É importante, ainda, que tenham teor de vazios que permita razoável armazenamento de água. Previamente à implantação desse revestimento, no caso de áreas peatonais, executa-se um “colchão” de material permeável para armazenar a água que dele irá descer. Cumpre salientar que, no caso de tráfego pesado (por exemplo: rodovias), não é interessante haver percolação para as camadas inferiores do solo (para preservar a fundação da via). Dali, essa água pode lentamente penetrar no subsolo ou ser captada por um sistema de drenagem de alívio. Um exemplo: piso de blocos vazados assentado com areia sobre manta geotêxtil, uma camada de agregado fino e outra de médio, finalmente apoiada

num leito de brita. A manta retém sobre si a areia que fixa os blocos e os rejunta e forma um “microrreservatório distribuído” por extensa área, reduzindo vazões superficiais. A água percola as diversas camadas e chega ao agregado graúdo. A Figura 1 mostra outro exemplo de camadas porosas superpostas – adotado neste estudo. Em vários pavimentos permeáveis, sua estrutura não suporta carga elevada – daí recomendar-se seu uso só para tráfego médio e leve (TUCCI; MARQUES, 2000) (por exemplo: passeio, ciclovia, parque) e cuidados especiais na sua manutenção (evitando sobrecarga ou atrito agressivos por veículos).

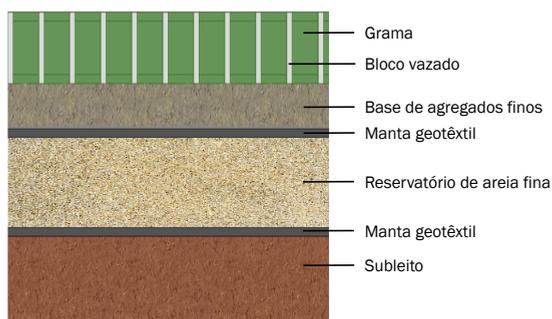


Figura 1 Estrutura proposta para o pavimento permeável de blocos modulares e grama.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Estudos mostram que, a longo prazo, uma falha na manutenção do pavimento permeável reduz também a capacidade de infiltração. Além da manutenção preventiva, é fundamental investigar o subsolo que lhe servirá de base – a permeabilidade deste e o nível do lençol freático influenciam diretamente a eficiência do sistema. Em solo pouco permeável, a água é absorvida pelo pavimento, mas não segue percolando o subsolo (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000).

3 METODOLOGIA APLICADA PELA PLANILHA DE CÁLCULO E DIMENSIONAMENTOS DO ESTUDO DE CASO

3.1 Estudo de caso

O Largo da Batata está no bairro de Pinheiros, zona oeste da cidade de São Paulo, perto da avenida Brigadeiro Faria Lima. Foi estudado por Molina e Enout (2017),

primeiras autoras deste artigo, no trabalho de conclusão de curso (TCC) orientado pelo terceiro autor e apresenta potencial para a aplicação, na prática, da planilha aqui proposta – um aperfeiçoamento da apresentada naquele TCC. Tem extensa área impermeável (vide Figura 2), o que contribui para agravar as enchentes urbanas.



Figura 2 Croqui do Largo da Batata: situação atual (sem escala – proporção mantida).

Fonte: Adaptada de Molina e Enout (2017).

Pelos levantamentos e pelas análises *in loco*, constatou-se que, apesar de o Largo apresentar diversos canteiros e gramados com vegetação arbórea de pequeno porte, estes se mostram pouco permeáveis. Visita ao local esclareceu que o constante pisoteamento pela circulação de pedestres é a causa principal de compactação desse solo.

3.2 Reservatório de retenção: planilha para dimensionamento

O projeto do reservatório de retenção considera manter o sistema de captação pluvial existente hoje no Largo, que tem três áreas contribuintes para um poço central de captação que envia a água superficial para a rede pública, na forma de três “asas”: asa Sul, drenada num trecho por uma calha longitudinal central (com cerca de 95 m), e asas Norte e Leste – drenadas por escoamento superficial até o poço de captação.

Após todo o escoamento superficial da bacia ser captado e verter no poço, é direcionado ao reservatório de retenção por um orifício de entrada (com grandes dimensões, para não reter volume a montante), e uma malha para filtrar sedimentos grosseiros. A Figura 3 retrata os componentes desse sistema. O volume inicial da água

afluente ao reservatório devido à primeira parte da chuva (“primeira leva”) ficará retido na “bacia de infiltração” e dali percolará as camadas mais abaixo, blocos de concreto poroso e areia grossa, num período de 24 horas, seguindo depois para o meio subterrâneo.

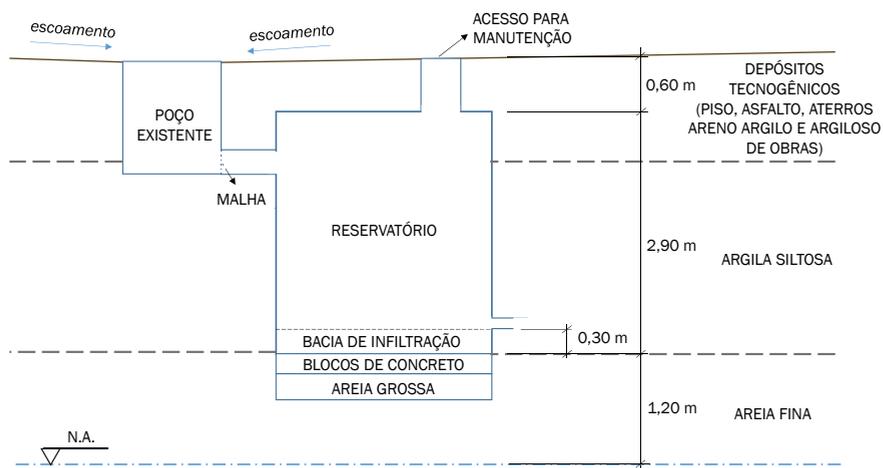


Figura 3 Corte esquemático do sistema de captação e do reservatório de retenção no contexto geológico local descrito por Luz (2010).

Fonte: Elaborada pelos autores.

A parte da planilha de cálculo denominada “método do Soil Conservation Service” (SCS) inicia o dimensionamento do reservatório de retenção. Emprega o método do SCS para estimar vazão de escoamento superficial no exutório de uma bacia (cf. BIDONE; TUCCI, 1995), sendo necessário, antes, estimar velocidades superficiais da água em cada trecho do percurso mais demorado (ou “crítico”) para atingir esse exutório. Para tanto, o projetista deve informar as cotas máxima (inicial) e mínima (final) daquele percurso e o comprimento de cada trecho. Depois, devem-se determinar as características superficiais do solo na parte da bacia onde fica cada trecho, para que a planilha busque internamente o coeficiente “k” do trecho, usado – no método cinemático, conforme Tomaz (2010) – para estimar a velocidade e o tempo de percurso superficiais por trecho (ainda internamente) e, por fim, o tempo total de percurso. Essa estimativa de tempo é feita para cada asa da bacia (vide Quadro 1, com imagens de tela mostrando esses valores), e o mais longo dos três resultados é adotado como “tempo de concentração da bacia” (t_c – Quadro 3).

Asa	Norte	Sul	Leste
Cota máx. (m)	733,8	735,12	734,76
Cota mín. (m)	733,3	733,33	733,33
Comprimento da calha (m)	0	95,07	0
Caminhos de escoamento em grama, pasto (m)	57,99	0	44
Superfície pavimentada (m)	45,22	33,11	76,88
Comprimento total (m)	103,2	128,18	120,88
Declividade média (m/m)	0,004	0,01396	0,011829914
t_c (min)	5,131	1,44238	3,406611205

Quadro 1 Dados para o cálculo das velocidades de escoamento em superfícies planas e tempos de percurso calculados (imagem de tela da planilha).

Fonte: Elaborado pelos autores.

CALHA	
Altura da calha (m)	0,35
Largura da calha (m)	0,35
Área molhada (m ²) : A	0,1225
Perímetro molhado (m) : P	1,05
Raio hidráulico (m) R= A/P	0,1167
Cota do ponto mais baixo	732,98
Cota do ponto mais alto	734,77
Comprimento da calha (m)	95
Declividade (m/m) : S	0,01884
Características da calha	Concreto suave com pavimento de asfalto
Coefficiente de Manning (n)	0,014
Velocidade (m/s) = $(R^{2/3} \cdot S^{0,5})/n$	2,341

Quadro 2 Cálculo da velocidade do escoamento superficial na calha na asa Sul (imagem de tela da planilha com dados de base para o cálculo).

Fonte: Elaborado pelo autores

Para a asa Sul, parte do percurso se dá na calha principal, para a qual se informam dimensões, coeficiente de rugosidade (de Manning) e cotas máxima e mínima – para estimar velocidade pela fórmula de Manning (Quadro 2).

Tempo de concentração: Método Cinemático	
t_c (min): $\Sigma(L/v)$	5,131343076

Quadro 3 Tempo de concentração estimado e adotado para a bacia (imagem de tela da planilha).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Informando a área total da bacia (A), obtêm-se os valores numéricos a serem usados para desenvolver o hidrograma unitário pelo método do SCS – ver Quadros 4 e 5.

Método do SCS	
Área total da bacia (km^2) : A	0,01121415
Tempo de concentração (min) : t_c	5,131343076
Duração da chuva unitária (h) : D	0,008552238
Comprimento do talvegue principal (km) : L	0,10321
Área impermeável da bacia (km^2) : A_i	0,00952867
Relação da área impermeável com a área total	0,849700601
Cota do ponto mais baixo	733,33
Cota do ponto mais alto	733,77
Declividade da bacia (m/m) : S	0,004263153

Quadro 4 Dados para cálculo pelo Método do SCS (imagem de tela da planilha).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tempo de retardamento (h)	0,051313431	$t_r = 0,6 t_c$
Tempo de ascensão (h):	0,05558955	$t_a = t_r + (D/2)$
Tempo de base (h):	0,13700686	$t_b = 2,67 t_r$
Vazão de pico (Método SCS) ($\text{m}^3/\text{s}/\text{mm}$):	0,041960102	$Q_p = 0,208 \times A_{\text{bacia}}/t_a$

Quadro 5 Cálculo para determinar tempos característicos e vazão de pico do hidrograma unitário (imagem de tela da planilha).

Fonte: Elaborado pelos autores.

No setor da planilha chamado “ietograma”, informa-se o período de retorno (T) da bacia. Com a equação de chuva intensa regional pré-inserida na planilha (para São Paulo), obtêm-se os valores de intensidade (i) e a altura pluviométricas a cada Δt (Quadro 6).

DURAÇÃO (min)	i (mm/h)	P acumulado (mm)	Incremento (mm)	ORDEM Decres.	P do ietograma (mm)
0,51	272,6449417	2,331724557	2,331724557	2,331725	1,5
1,03	264,8617199	4,530321175	2,198596618	2,198597	1,7
1,54	257,5356763	6,607519548	2,077198373	2,077198	1,9
2,05	250,6269857	8,573686985	1,966167437	1,966167	2,1
2,57	244,1003557	10,43802225	1,864335267	1,864335	2,3
3,08	237,924397	12,20871707	1,77069482	1,770695	2,2
3,59	232,0710954	13,89309143	1,684374363	1,684374	2,0
4,11	226,5153683	15,49770755	1,60461612	1,604616	1,8
4,62	221,2346886	17,02846632	1,530758761	1,530759	1,6
5,13	216,2087664	18,49068928	1,462222962	1,462223	1,5

Quadro 6 Cálculo das alturas no ietograma, Δt a Δt (imagem de tela da planilha).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Usa-se a equação de Horton para calcular máximas alturas pluviométricas infiltradas a cada Δt , antes informando o tipo de solo para que o programa defina velocidade de saturação e capacidades de infiltração inicial e final (k , f_c e f_o) (Quadro 7).

Fórmula de Horton		Duração (h)	f(t) (mm/h)	Altura pluviométrica infiltrada f(t) . Δt (mm)
Classificação SCS do solo	TIPO D	0,00428	25,2092467	2,16
Tipo de solo	Solo argiloso	0,01283	24,83259952	2,12
	seco com pouca	0,02138	24,4623399	2,09
	ou nenhuma vegetação	0,02993	24,09835952	2,06
Velocidade de saturação (1/h)	2	0,03849	23,7405519	2,03
Capacidade de infiltração inicial (mm/h)	25,4	0,04704	23,38881234	2,00
Capacidade final de infiltração (mm/h)	3	0,05559	23,04303795	1,97
		0,08377	21,94478362	1,88
		0,09232	21,62349855	1,85
		0,08125	22,04050264	1,88

Quadro 7 Cálculo da altura de chuva infiltrada a cada Δt (imagem de tela da planilha)

Fonte: Elaborado pelos autores.

A planilha calcula alturas pluviométricas infiltradas no solo (Quadro 8), dadas as características deste (valores numéricos à esquerda nesse quadro). Depois, usa a relação área permeável/área impermeável (A_p/A_i – valores informados antes, no Quadro 4), para estimar alturas infiltradas por ponderação de áreas, para cada Δt . Com as novas alturas infiltradas, estima-se altura pluviométrica efetiva a cada Δt – resultados na Figura 4.

Infiltração (mm)	Infiltração x A.P	Área Perm. Precipitação efetiva (%)	Área Imp. Precipitação efetiva (%)	Precipitação efetiva média (mm)	Altura pluviométrica infiltrada na parte permeável da área (mm)
2,16	0,32	1,20672004	1,5308	1,482055936	0,04870283
2,12	0,32	1,36517705	1,6844	1,636399199	0,04797516
2,09	0,31	1,54989726	1,8643	1,817075423	0,04725984
2,06	0,31	1,76743895	2,0772	2,030641718	0,04655665
2,03	0,31	2,02656438	2,3317	2,285859166	0,04586539
2,00	0,30	1,89795769	2,1986	2,153410768	0,04518585
1,97	0,30	1,66997308	1,9662	1,921649603	0,04451783
1,88	0,28	1,48861738	1,7707	1,728298751	0,04239607
1,85	0,28	1,32666847	1,6046	1,562840756	0,04177536
1,88	0,28	1,17891516	1,4622	1,419641969	0,04258099

Quadro 8 Cálculo da altura pluviométrica efetiva a cada Δt (imagem de tela da planilha).

Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 4 Ietograma com alturas pluviométricas alternadas e alturas infiltradas, Δt a Δt (imagem de tela da planilha de cálculo).

Fonte: Elaborado pelos autores.

A planilha “hidrogramas” contém o hidrograma unitário (HU) e o da cheia estimada. O HU é elaborado na planilha do “método do SCS” (Figura 5). Obtém-se o hidrograma de cheia pela convolução das alturas no ietograma efetivo com as vazões unitárias a cada Δt (do gráfico do HU). A Figura 6 mostra o hidrograma resultante.

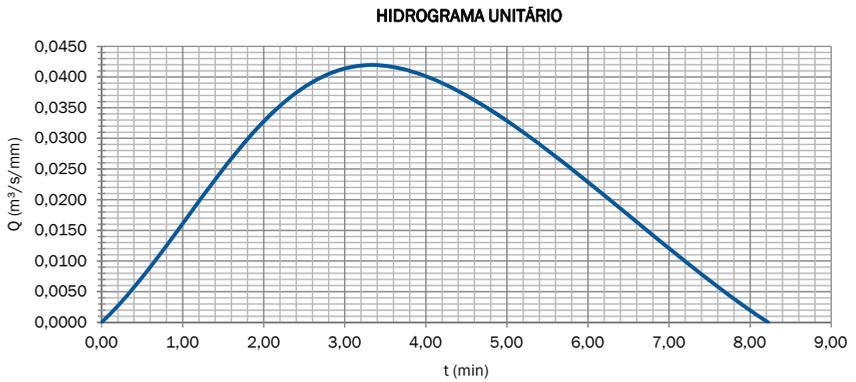


Figura 5 Representação gráfica do Hidrograma Unitário obtido, HU (imagem de tela da planilha de cálculo).

Fonte: Elaborado pelos autores.

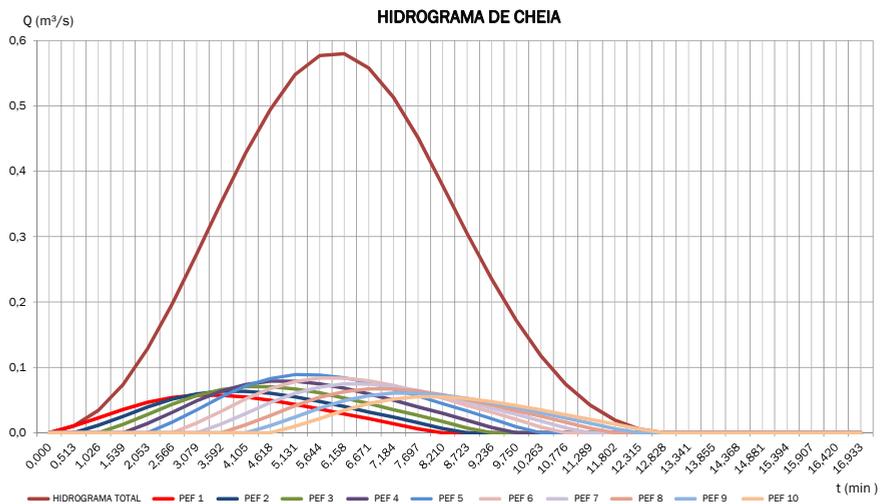


Figura 6 Hidrograma de enchente à entrada do reservatório, gerado por convolução pelo programa (imagem de tela da planilha de cálculo).

Fonte: Elaborado pelos autores.

A altura e a área requeridas para a “Bacia de Infiltração” são estimadas no setor da planilha assim denominado (ver Quadro 9). A área resulta da imposição de um tempo de infiltração adotado (24 horas, nesse caso) para que toda a primeira leva da chuva (que traz a “lavagem” da atmosfera e da superfície do solo após período seco) seja retida para infiltração (TOMAZ, 2010), sendo adotada como área de base do reservatório, onde essa parte da água infiltrará. A pesquisa da altura total do reservatório inicia-se determinando as curvas “cota-área” e “cota-volume” – aqui, para reservatório cilíndrico com orifício logo acima do topo da bacia de infiltração. Conhecido o diâmetro do reservatório, admitem-se valores de diâmetro do orifício, coeficiente de permeabilidade da camada da base (K) e espessura desta (aqui adotada como o desnível entre fundo do reservatório e lençol freático). Daí, aplica-se o método de Puls modificado por Akan (TOMAZ, 2010), pesquisando a cada Δt os valores de vazões de saída e volume máximo armazenado no reservatório. Forma e dimensões adotadas para o orifício podem ser modificadas, se necessário. Estimam-se vazões de saída e volumes armazenados ao longo do tempo a serem comparados com limites admissíveis pela rede pública. O setor “*routing* do reservatório” da planilha estima, Δt a Δt , o hidrograma amortecido e volumes reservados, pelo *routing* numérico de reservatório (método de Puls – ver Quadro 10). A Figura 7 permite comparar os hidrogramas de entrada e saída.

Dimensionamento da bacia de infiltração	
Tipo de solo	Franco arenoso
Fator de segurança SF	2
Tempo de infiltração (h)	24
Condutividade hidráulica K (mm/h)	25,91
Área da bacia de infiltração (m ²)	51,98
Altura da bacia de infiltração (m)	0,31

Quadro 9 Dimensionamento da bacia de infiltração (imagem de tela da planilha).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Routing do Reservatório - Largo da Batata									
Tempo	t1 (h)	t2 (h)	I1 (m³/s)	I2 (m³/s)	I1 + I2	2S1/deltat - Q1	2S2/deltat + Q2	Q2	2S2/deltat - 2 x Q2
1	0	0,02	0	0,04765	0,04765	0	0,04765	0,00038	0,046880314
2	0,02	0,04	0,04765	0,17455	0,2222	0,046880314	0,26908	0,00043	0,26821439
3	0,04	0,06	0,174549	0,35421	0,528759	0,26821439	0,79697	0,03031	0,73635709
4	0,06	0,08	0,35421	0,51360	0,867815	0,73635709	1,60417	0,07031	1,463545219
5	0,08	0,1	0,513605	0,57896	1,092564	1,463545219	2,55611	0,09889	2,358328604
6	0,10	0,12	0,578959	0,51141	1,090366	2,358328604	3,44869	0,11979	3,20910899
7	0,12	0,14	0,511407	0,35111	0,862516	3,20910899	4,07163	0,13249	3,806637958
8	0,14	0,16	0,351109	0,18992	0,541026	3,806637958	4,34766	0,13776	4,072143844
9	0,16	0,18	0,189917	0,07304	0,262955	4,072143844	4,33510	0,13753	4,060048398
10	0,18	0,2	0,073039	0,01430	0,087334	4,060048398	4,14738	0,13396	3,87946476
11	0,2	0,22	0,014295	0,00000	0,014295	3,87946476	3,89376	0,12899	3,635776846
12	0,22	0,24	0	0,00000	0	3,635776846	3,63578	0,12374	3,38830001
13	0,24	0,26	0	0,00000	0	3,38830001	3,38830	0,11849	3,151320505
14	0,26	0,28	0	0,00000	0	3,151320505	3,15132	0,11324	2,924831176
15	0,28	0,3	0	0,00000	0	2,924831176	2,92483	0,10800	2,708830547
16	0,30	0,32	0	0,00000	0	2,708830547	2,70883	0,10276	2,503315104
17	0,32	0,34	0	0,00000	0	2,503315104	2,50332	0,09751	2,308285601
18	0,34	0,36	0	0,00000	0	2,308285601	2,30829	0,09228	2,123734337
19	0,36	0,38	0	0,00000	0	2,123734337	2,12373	0,08704	1,949652801
20	0,38	0,4	0	0,00000	0	1,949652801	1,94965	0,08181	1,786041318
21	0,4	0,42	0	0,00000	0	1,786041318	1,78604	0,07657	1,63290525
22	0,42	0,44	0	0,00000	0	1,63290525	1,63291	0,07133	1,49023798

Tabela 1 Cálculo do *Routing* (ou amortecimento) do Reservatório (imagem de tela da planilha).

Fonte: Elaborada pelos autores.

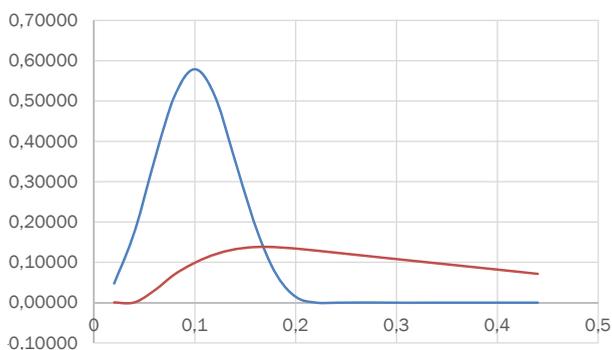


Figura 7 Comparação entre o hidrograma de entrada no reservatório, mais alto, e o hidrograma de saída dele, mais baixo (imagem de tela da planilha de cálculo).

Fonte: Elaborada pelos autores.

O resultado final é o volume de projeto ou volume de dimensionamento do reservatório – máximo valor do volume detido durante o evento de projeto. Resulta da análise da curva cota-descarga (tabelada internamente à planilha de cálculo) até a vazão de saída (Q_s) se tornar máxima, no instante crítico do amortecimento, resultados numéricos fornecidos no Quadro 10.

VOLUME DO RESERVATÓRIO (m ³)		89,85
Dimensões finais:	Diâmetro (m)	8,14
	Profundidade (m)	2,90
	Área (m ²)	52,04

Quadro 10 Resultado do processo numérico de dimensionamento do reservatório (imagem de tela da planilha).

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Pavimento permeável: planilha para dimensionamento

Estima-se a vazão de pico (Q_{pico}) que sai da bacia pelo método racional, com coeficiente de *run off* (C) médio ponderado pelas áreas parciais com cada tipo de pavimento. A proposta (Figura 8) mantém pequenos canteiros existentes, preservando árvores e arbustos. As outras subáreas seriam transformadas em canteiros permeáveis com vegetação de pastagem, solo permeável e sub-base permeável, pavimento modular e sub-base permeável, pavimento modular (blocos vazados) sobre brita e blocos intertravados assentados sobre areia grossa.

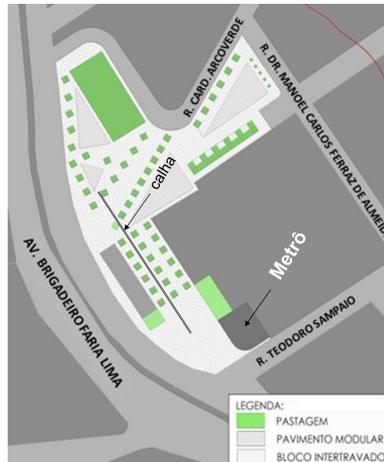


Figura 8 Layout do projeto: pavimentos permeáveis – lado leste do Largo da Batata (sem escala – proporção mantida).

Fonte: Adaptada de Molina e Enout (2017).

O dimensionamento do pavimento permeável começa por inserir na planilha a duração da chuva (t), o período de retorno (T_r), cotas do ponto mais alto e do mais baixo da área drenada, distância entre eles e tipos de revestimento usados. Daí, calcula-se o tempo de concentração (t_c) pela fórmula da *California Culverts Practice* e coeficiente de *run off* médio ponderado (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2000). Os valores inseridos e obtidos estão no Quadro 11.

Área total	A =	11214,15	m ²
Duração da chuva	t =	60	min
Período de retorno	Tr =	25	anos

Para área ≤ 4 km ²	Qpico = (C i A)/3,60
-------------------------------	----------------------

Intensidade média da chuva: i =	211,25	mm/h
---------------------------------	--------	------

Proposta com Áreas Permeáveis

Área com revestimento tipo 1

Sub base	Bloco intertravado sobre areia grossa	
Coeficiente de "run off"	0,9	
Área (m ²)	7661	

Área com revestimento tipo 2

Sub base	Blocos vazados (pavimento modular)	
Coeficiente de "run off"	0,03	
Área (m ²)	1428,75	

Área com revestimento tipo 3

Sub base	Pastagem	
Coeficiente de "run off"	0,5	
Área (m ²)	2124,4	

Coeficiente médio ponderado de "run off"	0,713381086
--	-------------

Asa	Norte	Sul	Leste
Cota do ponto mais alto (m)	733,77	735,12	734,76
Cota do ponto mais baixo (m)	733,33	733,33	733,33
Comprimento total (m)	103,21	128,18	120,88
Declividade (%)	0,43	1,40	1,18
Tempo de escoamento (min)	5,68	4,25	4,33
Tempo de concentração (min)	5,68		

Quadro 11 Cálculo dos pavimentos permeáveis (imagem de tela parcial).

Fonte: Elaborado pelos autores.

A escolha das camadas do reservatório granular seguiu o critério de Terzaghi, para preservar sua integridade física (evitando fuga de material mais fino pelos vazios do mais graúdo sob ele) – conforme explica Tomaz (2010). As dimensões medianas (d_{50}) dos grãos para cada camada e as alturas necessárias resultam do dimensionamento, como mostra o Quadro 12, assim como o volume total de armazenamento do reservatório.

Camada calculada	d50 adotado (mm)	Granulometria	Espessura mínima (cm)
1ª camada	0,061	Areia fina	20
2ª camada	1,4	Areia grossa	20
3ª camada	14,5	Brita 1	20
Porosidade do meio	0,35	Foi adotada uma camada de areia fina com d50 = 22 cm	
Altura necessária (cm)	21,342		
Volume total do reservatório (m ³)	678,99		

Quadro 12 Cálculo das espessuras da camada de filtro (imagem de tela da planilha).

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.4 Comparação dos resultados para os dois sistemas

A planilha dimensiona o reservatório para armazenar 150,92 m³ de água pluvial em 52,04 m² de área, com 191,20 m³ escavados para executar sua estrutura (com reaterro sobre ela após sua conclusão) – resultando em 0,78 m³ retido/m³ escavado. O pico de vazão para a rede pública cairia para 23,76% do pico sem reservatório. A solução do pavimento permeável, por sua vez, possibilitaria reter 678,99 m³ de água no caso de escavar 4.729,67 m³ de terra para instalar blocos, base de assentamento e leito poroso, retendo todo o volume da cheia de projeto – resultando em 0,14 m³ retido/m³ escavado.

Neste estudo, o reservatório subterrâneo apresenta maior eficiência entre as duas alternativas de solução, sendo também mais vantajoso em termos de volume disponibilizado para absorver enchente por unidade de volume escavado.

4 CONCLUSÃO

A planilha eletrônica proposta contribui para a técnica de projetar sistemas de drenagem, particularmente os de baixo impacto – reservatório de retenção e pavimento permeável. O principal objetivo do trabalho, determinar a contribuição de cada um dos dois tipos de sistema de drenagem de baixo impacto para amortecer enchentes, foi

atingido. No entanto, para ampliar a abrangência do programa apresentando na planilha, ressaltam-se pontos para aperfeiçoamento em estudos futuros, a saber:

- a) Os formulários (quadros com dados e cálculos) para dimensionamento dos sistemas de drenagem de baixo impacto foram estruturados internamente à planilha especificamente para este caso. Devem ser reestruturados para uso mais genérico.
- b) Ainda é necessário ampliar esta análise para abordar também os custos de implantação de cada um dos dois tipos de sistemas sustentáveis aqui ensaiados.
- c) Poder-se-á incluir no programa, ainda, o dimensionamento de alternativas de sistemas de drenagem urbana de baixo impacto, conforme interesse para aplicação a outros casos em análise.
- d) O programa foi aplicado à região metropolitana de São Paulo. Deve ser adaptado para uso em outras regiões (com outros tipos de solo ou outras equações de chuva intensa, por exemplo).

AGRADECIMENTOS

Pela importante contribuição técnica, agradecem os autores à professora doutora Liliane Frosini Armelin e aos acadêmicos Matheus Dreher Cicolani e Raul Victor Martins Julião de Oliveira – todos da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

URBAN DRAINAGE SYSTEMS FOR SQUARES, PARKS AND OTHER WALKING AREAS FOR THE MITIGATION OF URBAN FLOODING

Abstract

The paper proposes the use of sustainable drainage systems of low impact on urban access and circulation, such as permeable pavements and underground flood basins, for the mitigation of urban floods. It initially addresses conceptual aspects and the evolution of this type of micro drainage solutions, and proposes design methods for sizing such systems. In the practical field, a program was developed in Excel such as to assist the designer of urban facilities of these two types. In order to test the program in practice, the study of “Largo da Batata” (a square located in São Paulo city) was developed, allowing to evaluate its applicability and compare the capacities of both drainage methods to reduce flood peaks and volumes. As a result, underground basins demonstrated more advantageous than permeable surfaces in dampening floods in the studied region.

Keywords: Permeable Surfacing. Sustainable drainage. Flood dampening basin.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, P. R. de; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, jul./set. 2000. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=44&SUMARIO=643>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

BIDONE, F. R. A.; TUCCI, C. E. M. Microdrenagem. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. La L.; BARROS, M. T. L. de (Org.). *Drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH, Editora da UFRGS, 1995. p. 77-105.

LUZ, R. A. da. *Geomorfologia da planície fluvial do Rio Pinheiros entre os bairros de Pinheiros, Butantã e Cidade Jardim – São Paulo (SP)*. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MOLINA, A. M. C.; ENOUT, H. J. R. *Sistemas de drenagem urbana de baixo impacto voltados a praças, parques, áreas de lazer e vias peatonais para a mitigação de inundações em centros urbanos*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)–Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2017.

SÃO PAULO. Lei n. 16.050, de 31 de julho de 2014. Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo. 2014. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/2014-07-31_lei_16050_-_plano_diretor_estratgico_1428507821.pdf>. Acesso em: 21 set. 2016.

SILVA, F. B. da. Pavimentos de concreto permeável. *Revista Técnica*, São Paulo, ed. 190, p. 3, nov. 2018. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/190/artigo288015-1.aspx>>. Acesso em: 25 jun. 2016

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. Infiltração e Armazenamento no solo. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia, ciência e aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2000. p. 335-365.

TOMAZ, P. Curso de manejo de águas pluviais. 2010. Disponível em: <<http://www.plinio.tomaz.com.br/downloads>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L da. *Avaliação e controle de drenagem*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000. v. 1.

Contato

Amanda Maria Costa Molina
amandamcmolina@gmail.com

Tramitação

Recebido em dezembro de 2017.
Aprovado em abril de 2018.