

IX-043 – ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA DETENÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL UTILIZANDO COMO ESTUDO DE CASO AS CALÇADAS DE CURITIBA

Luciana Ormond Zapp⁽¹⁾

Engenheira de Produção Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Arquiteta e Urbanista pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Aliny Lucia Borges Borba

Engenheira de Produção Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Meio Ambiente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Celimar Azambuja Teixeira

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Doutora em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Professora adjunto 3 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Endereço⁽¹⁾: Rua Queiros Junior, 131 apto 504 bl 02 – Jacarepaguá – Rio de Janeiro – RJ - CEP: 22775-170 - Brasil - Tel: (21) 8181-5281 - e-mail: lucianazapp@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa sobre a eficiência do uso de pavimentos permeáveis nas calçadas do Centro de Curitiba, capital do Estado do Paraná, visando à redução do escoamento superficial e o aumento da recarga de água subterrânea. Foram realizados experimentos em laboratório com um simulador de chuva, que tem o objetivo de demonstrar, em menor escala, alguns processos físicos relacionados ao ciclo hidrológico, com: a intensidade de chuva, a capacidade de infiltração a vazão de escoamento superficial. As simulações ocorreram sobre pavimentos representados por modelos de 40x40cm, entre os quais estão os já existentes na pavimentação da cidade e considerados impermeáveis: revestimento de pedra portuguesa (petit pavé) e lousa de pedra; o também existente e considerado permeável: revestimento de blocos de concreto (paver); e um piso permeável que é analisado como proposta de implantação: o concreto poroso. Com os dados obtidos no experimento, realizou-se estudos em escala real e análise comparativa entre estes pavimentos. Os resultados encontrados forneceram uma redução do escoamento superficial gerado em até 90%, e o custo-benefício com economia em torno de 40% na implantação destas medidas de controle na prevenção de cheias.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentos permeáveis, Redução do escoamento superficial, Simulador de chuva, Medidas de controle alternativas, Prevenção de cheias.

INTRODUÇÃO

Segundo Braga, Tucci e Tozzi (1998), a maioria dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, experimentou nas últimas décadas um desenvolvimento urbano onde a infra-estrutura de drenagem continuou precária. Os principais problemas de drenagem urbana associados a países em desenvolvimento são causados por: rápida expansão da população que vive em áreas urbanas, baixo nível de conscientização da população acerca do problema, a inexistência de planos de longo prazo e planos diretores, a utilização precária de medidas não-estruturais e manutenção inadequada dos sistemas de controle de cheias.

O processo de ocupação ocorrendo de forma acelerada e imprevisível, relacionado às variações no ciclo hidrológico e aumento da quantidade de áreas impermeáveis, tem ocasionado sérios problemas em cidades que não apresentam condições suficientes para atender tal situação. Entre estes problemas, um dos mais importantes é a ocorrência de enchentes e inundações.

Partindo-se de idéias que visam à sustentabilidade, algumas medidas de controle estão sendo adotadas atualmente, são dispositivos que promovem o aumento da infiltração da água pluvial e a redução do escoamento superficial. Um exemplo destes são os pavimentos permeáveis, utilizados geralmente em áreas urbanas como calçadas, praças e estacionamentos.

De acordo com Araújo, Tucci, Goldenfum (2000), o pavimento permeável é constituído por: um revestimento poroso que absorve a água através de seus vazios e a transmite para uma camada inferior muitas vezes chamada de reservatório, composta por duas camadas de agregados, uma camada de agregado fino ou médio e outra de agregado graúdo.

Adotar métodos como a implantação de pavimentos permeáveis é uma solução ideal em áreas urbanizadas que sofrem constantes alagamentos, como é o caso do Centro de Curitiba, pois pode proporcionar uma redução dos volumes escoados por viabilizar a infiltração no solo de praticamente toda a água de chuva precipitada

ÁREA DE ESTUDO

A crescente urbanização da cidade de Curitiba tem aumentado o grau de impermeabilização da bacia hidrográfica do rio Belém, onde se insere a área em estudo, e conseqüentemente, os níveis de água no talvegue e os picos máximos das vazões de escoamento superficial. Em contrapartida, há uma diminuição da capacidade de vazão do canal de drenagem, em virtude da construção de pontes, viadutos, assoreamento devido ao transporte de sedimentos e ao acúmulo de lixo depositado às margens, etc.(Fendrich, 1998).

O Rio Belém é um dos afluentes da margem direita do rio Iguaçu e se encontra localizado, totalmente, na Região Metropolitana de Curitiba. O rio atravessa zonas densamente povoadas, desde bairros periféricos das zonas norte e sul, assim como a zona central de Curitiba, pois o talvegue do rio se desenvolve ao longo do eixo norte-sul da cidade.

Segundo análise de mapas e dados do IPPUC (2009), o Centro de Curitiba apresenta um total de 55.400 m (55,40 km) de ruas sendo todas pavimentadas, com aproximadamente 270.000 m² de calçadas e 140.000 m² de praças. Da pavimentação dos passeios no Centro de Curitiba, sem considerar praças, aproximadamente 60% são de pedra portuguesa, 15% de lousa de pedra, 20% de blocos de concreto e 5% de outros materiais. Os revestimentos de blocos de concreto estão sendo adotados somente há alguns anos, em decorrência de obras da Prefeitura Municipal, relacionadas à Revitalização do Centro Histórico da cidade.

O clima de Curitiba é subtropical úmido, a precipitação é menor no inverno, todavia não há estação seca definida ao longo do ano. Segundo o SIMEPAR (2010), o índice pluviométrico alcança 1.500 mm em média por ano, pois as chuvas são uma constante do clima local. Este fato em parte deve-se ao grande desmatamento da Serra do Mar, barreira natural de umidade. Com o objetivo de determinar valores referentes às intensidades de precipitação características de Curitiba, foi realizado um estudo pelo engenheiro Pedro Viriato Parigot de Souza (1959), observando um período de ocorrência de precipitações de 31 anos (1921-1951), onde foi obtida a seguinte equação que relaciona intensidade, duração e frequência:

$$i = 1239 \cdot T^{0,217} / (t + 26)^{1,15} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

i : intensidade de precipitações máxima média (mm/min ou mm/h);

t: tempo de duração da chuva (min);

T: tempo de recorrência (anos)

MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de obter dados concisos sobre o estudo, foi realizado um experimento no laboratório de Instalações Hidráulicas da Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), realizando-se simulação de chuvas sobre diferentes tipos de superfície, segundo análise de precipitações habituais na cidade de Curitiba.

Para análise comparativa do escoamento superficial foram montados três protótipos de 40 x 40 cm de três pisos utilizados atualmente nas calçadas de Curitiba, entre estes: dois são considerados impermeáveis: o de lousas de pedras com peças de aproximadamente 20 x 20 cm e espessura de 8 a 10 cm, e o de pedras portuguesas, ou *petit pavé*, formado por fragmentos com aproximadamente 3 x 3 cm, e altura variável de 4 a 6 cm. O terceiro revestimento, considerado permeável, é o de blocos de concreto, ou *paver*, montado com peças de concreto em formato retangular 20 x 10cm, em espessuras de 6 cm. No experimento todos os pavimentos foram assentados

sobre base compactada de areia, e apoiados sobre lona plástica e base constituída de grade metálica e suporte de madeira.

Como análise comparativa utilizou-se um protótipo de concreto poroso de 40 x 40 cm, formado pela mistura de brita, cimento e pedaços de borracha EVA, fabricado anteriormente para outro estudo, sob orientação dos Professores Paulo Virgílio e Roberto Levi do curso de Tecnologia do Concreto da UTFPR, a fim de apresentar sua eficiência e possível implantação no campo em estudo.



Figura 1 – Protótipo da Lousa de Pedra



Figura 2 – Protótipo de Bloco de Concreto



Figura 3 – Protótipo do *Petit Pavé*



Figura 4 – Protótipo do Concreto Poroso

O equipamento utilizado foi fabricado para a análise da eficiência do concreto poroso, um Simulador de chuva, que tem o objetivo de demonstrar, em menor escala, alguns dos processos físicos encontrados em hidrologia como: a relação entre o volume de chuva precipitada, o volume do escoamento final em áreas de permeabilidade variável e a absorção da água do chão.

É composto de um bocal superior, situado a uma altura de 1,32 m do piso que simula a precipitação de chuva a uma vazão constante. A recarga de água ao bocal é realizada com o auxílio de uma bomba hidráulica que, por sucção, retira água de um reservatório plástico e a conduz até a saída do bocal através de um tubo flexível. A água precipitada atinge então um tanque de vidro, onde é colocado o protótipo, apoiado sobre uma base metálica de 0,80 m de altura. O tanque apresenta as dimensões de: 0,47 m (largura) 0,47 m (comprimento) e 0,17 m (profundidade), e inclinação de 2% que permite o escoamento da água pela superfície do pavimento até um orifício onde é então conduzida por uma mangueira a um recipiente de medição de volume de água.

Por fim, a água que precipita no tanque escorre no sentido do nível mais baixo e atinge um orifício onde é conduzida por uma mangueira flexível até um recipiente de medição.



Figura 5 – Simulador de chuva

Inicialmente foi necessário definir no simulador de chuvas a vazão de precipitação que seria adotada no experimento, a fim de obter uma simulação que equivalesse a uma intensidade de precipitação aproximada à

dados reais. Com base nos dados pluviiais de Curitiba, apresentados, e principalmente, na equação definida por Pedro Viriato Parigot de Souza (1959), foram consultadas algumas alternativas para estes dados, e através de simulações de 1 minuto, foi definida uma vazão constante.

- Vazão de precipitação: $Q = 0,49$ L/min (dado obtido experimentalmente);
- Intensidade de precipitação: $i = 2,2$ mm/min (calculado, levando-se em consideração que a área interna do tanque é igual a 2.209 cm² (47 cm x 47 cm).

Foram realizadas as simulações de todos os pavimentos e obtidos os seguintes valores de escoamento superficial:

Pavimento de Lousas de Pedra: 0,40 L/min
Pavimento de Pedras Portuguesas: 0,36 L/min
Pavimento de Blocos de Concreto: 0,20 L/min
Pavimento de Concreto Poroso: 0,00 L/min

A partir dos dados obtidos na análise do pavimento de concreto poroso, não há a possibilidade de se afirmar que ele seja totalmente permeável, visto que o tempo de simulação é pequeno se comparado a um evento real. Porém, é possível comprovar que sua eficiência em deter o escoamento superficial é superior aos pavimentos testados anteriormente.

Com base nos valores encontrados nas simulações de precipitação para cada pavimento, passa-se para a análise destes em escala maior, a fim de obtermos informações próximas às reais sobre as contribuições de águas de chuva em projetos de drenagem urbana.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta análise, foi adotado o Método Racional para cálculo de vazão de água escoada superficialmente. Neste método, embora possa ser aplicado em áreas maiores, o seu uso para áreas urbanizadas se limita a sistemas de 12 km². Para áreas maiores, método como o do hidrograma sintético oferece maior segurança. No Método Racional admite-se que o escoamento superficial se relaciona com a intensidade da chuva caída, pela simples formulação:

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

- Q = vazão de pico do escoamento superficial, geralmente em L/s ou m³/s;
- C = coeficiente de escoamento superficial que depende das características da área de drenagem, adimensional;
- i = intensidade de precipitação média da chuva caída, geralmente em mm/h;
- A = área da bacia ou área de estudo, em m², km² ou ha.

Considerando que em todas as simulações, os fatores relacionados no Método Racional foram os mesmos, com exceção do tipo de pavimento, estipulou-se coeficientes de deflúvio (C) característicos para cada tipo de pavimento testado através da relação:

$$C = Q_{\text{esc.}} / Q_{\text{prec.}} \cdot A \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

- $Q_{\text{prec.}}$: Vazão de precipitação: $Q = 0,49$ L/min;
- $Q_{\text{esc.}}$: Vazão escoada superficialmente por pavimento.

A partir da relação, foram encontrados os seguintes valores de coeficiente de escoamento:

Tabela 1– Valores de coeficientes encontrados no experimento

Natureza da Superfície	Coeficiente “C”
- Lousa de Pedra	0,82
- Pedra Portuguesa	0,73
- Bloco de Concreto	0,41

O pavimento de concreto poroso simulado corresponderia a um valor de coeficiente de deflúvio $C = 0,00$ neste experimento, valor este não coerente com estudos anteriores, onde superfícies pavimentadas com concreto e asfalto poroso apresentam “C” entre 0,06 – 0,02.

Com o intuito de exemplificar a análise do uso de pavimentos permeáveis em calçadas, é apresentada a aplicação do Método Racional no cálculo de vazão de água de chuva contribuinte para a drenagem urbana. Para isto, é realizada a análise desta vazão, primeiramente em um trecho específico, na Rua Marechal Deodoro, e posteriormente um cálculo geral de contribuição de toda a área de calçadas do Centro de Curitiba. Foram adotados os valores de coeficiente de escoamento definidos nas simulações, para o caso do pavimento de concreto poroso adotou-se o valor tabelado de 0,06, e foram determinados outros valores como: tempo de recorrência para 10 anos (utilizado para áreas comerciais densamente ocupadas, como é o caso em estudo) e a partir destes dados definiu-se o valor da intensidade de precipitação média para a cidade de Curitiba, 1,6 mm/min ou 96 mm/h.

A Rua Marechal Deodoro é uma rua histórica do Centro de Curitiba que passou por revitalização para substituição do pavimento antigo entre os anos de 2006 e 2007. O projeto de revitalização para as calçadas contemplou uma faixa central com piso antiderrapante, pista tátil para deficientes visuais, rampas de acesso para deficientes físicos e plantio de novas árvores. Nas áreas de tráfego mais intenso de pedestres, foi construída uma faixa de 4 a 5 metros em bloco de concreto pré-moldado. Na área destinada ao mobiliário urbano: como postes de iluminação, bancas de revistas, lixeiras, paradas de ônibus, foi mantida uma faixa de mosaicos em pedra portuguesa, com 2,20 m de largura e área total de 2.277 m², como memória de período importante de urbanização de Curitiba.

Neste estudo foi analisada a eficiência da pavimentação na área de calçada revitalizada da Rua Marechal Deodoro ao longo de 1.035 m de comprimento, entre as ruas Desembargador Westphalen e Mariano Torres, numa área total de calçadas de 13.252 m².

Buscando um comparativo de uma situação anterior e posterior à revitalização, foi calculada a vazão de escoamento superficial que ocorria antes da reforma e a vazão atual. Em seguida, foram encontradas como propostas: a vazão se todo o pavimento da calçada fosse substituído por blocos de concreto e se fosse substituído por concreto poroso, chegando ao seguinte resultado.

Tabela 2 – Vazões de água escoada para a calçada da Rua Marechal Deodoro

SUPERFÍCIE	VAZÃO Q (m ³ /min)
- Pedra Portuguesa: antes da revitalização	15,48
- Blocos de Concreto+ Pedra Portuguesa + Piso Tátil de concreto: atualmente	10,42
- Blocos de Concreto: 1ª alternativa	8,69
- Pavimento de Concreto Poroso: 2ª alternativa	1,27

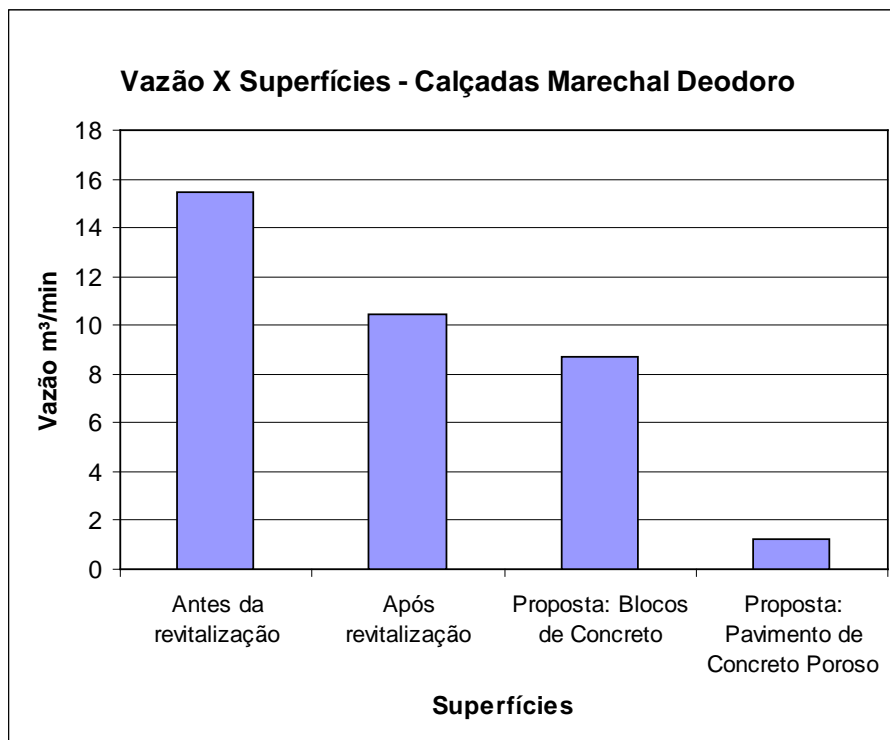


Figura 6 – Vazão de Escoamento Superficial x Superfície

Com o objetivo de fornecer uma visão geral sobre os benefícios de se implantar pavimentos permeáveis nas calçadas, é apresentada uma análise da redução da vazão superficial utilizado como área de estudo a área total de calçadas do Centro de Curitiba. Como atualmente a área total aproximada de calçadas no Centro de Curitiba é de 270.000 m², sendo que destas: 60% são de pedra portuguesa, 15% são de lousa de pedra, 20% são de blocos de concreto e 5% de outros materiais, foi realizado o cálculo de vazão de escoamento superficial atualmente, uma proposta de substituição por blocos de concreto e outra por concreto poroso, conforme tabela a seguir:

Tabela 3 – Vazões de água escoada superficialmente atual e propostas

SUPERFÍCIE	VAZÃO Q (m ³ /min)
- Atual: Pedra Portuguesa, Lousa de Pedra, Blocos de Concreto e Outros	290,74
- Blocos de Concreto: 1ª alternativa	177,12
- Pavimento de Concreto Poroso: 2ª alternativa	25,92

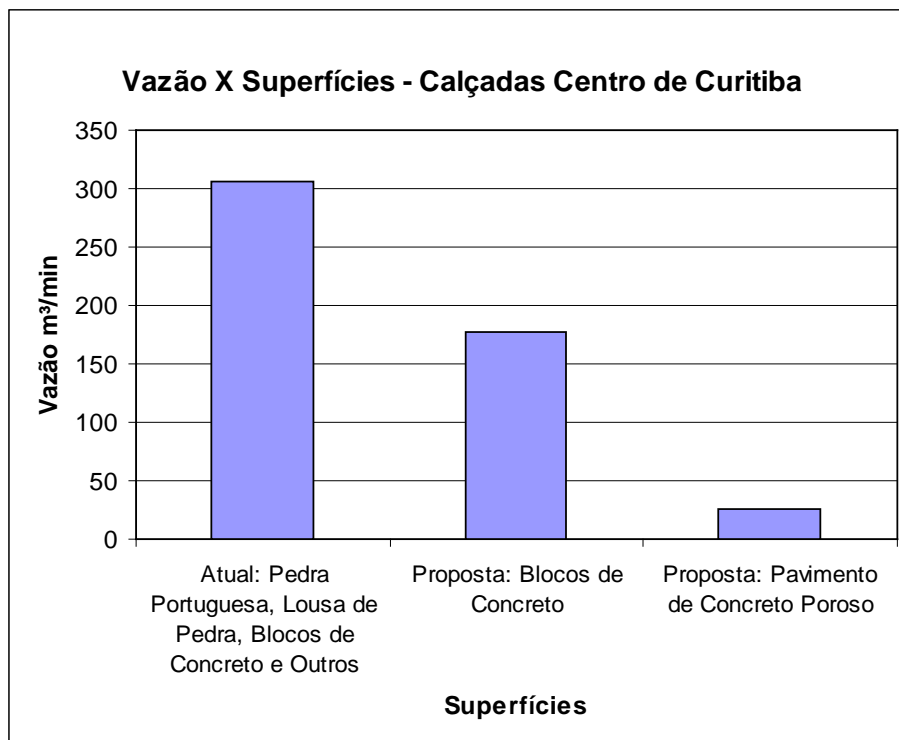


Figura 7 – Vazão de Escoamento Superficial x Superfície

Analisando os gráficos de vazão de escoamento superficial com relação aos tipos de superfícies pavimentadas, apresentados nas Figuras 6 e 7, observa-se uma redução significativa do volume de água que é escoada superficialmente nas calçadas de Curitiba atualmente e do volume que escoaria se fossem adotados revestimentos permeáveis, como o concreto poroso, ou semi-permeáveis, como o bloco de concreto.

A revitalização das calçadas da Rua Marechal Deodoro proporcionou uma redução de volume de água escoada superficialmente em torno de 30%, porém, se nesta revitalização fosse implantado apenas o pavimento de blocos de concreto, esta redução seria aproximadamente de 40%. E se, como outra alternativa, adotasse o pavimento de concreto poroso, a redução seria equivalente a 90%.

No caso geral, que engloba a substituição do revestimento de todas as calçadas do Centro de Curitiba, os valores apresentaram-se similares ao caso anterior, com redução em torno de 40% na implantação de blocos de concreto e 90% para o pavimento de concreto poroso.

Outra vantagem em se adotar o uso de pavimentos permeáveis é com relação ao custo de implantação dos mesmos conforme tabela abaixo:

Tabela 4 – Custo por m² de Implantação de Pavimentos

Pavimentação (material e mão de obra)	Preço por m²
- Lousa pedra 20x20cm assentada sobre areia e=10cm	R\$ 43,21
- <i>Petit Pavé</i> com rejunte, sobre areia e=5cm	R\$ 34,59
- Bloco concreto e= 6cm sobre areia 5cm	R\$ 25,58
- Pavimento de Concreto Poroso	R\$ 26,41

Além da implantação, a manutenção em pavimentos permeáveis também é mais vantajosa tanto no aspecto da facilidade quanto no custo, visto que são revestimentos que não necessitam de rejunte, o que facilita sua substituição, e não se soltam com tanta facilidade uns dos outros, como ocorre com o *petit pavé* e com a lousa de pedra.

CONCLUSÕES

Estes resultados mostram que adotar pavimentação permeável em grandes centros urbanos incide significativamente na prevenção contra enchentes e alagamentos. Isto ocorre porque, grande parte da água que hoje escorre pelos condutos dos sistemas de drenagem das áreas urbanizadas, pode ser infiltrada pelo solo e conduzida ao leito dos rios e córregos de forma similar às áreas não urbanizadas, ou seja, pelo lençol subterrâneo.

A água, sendo infiltrada pelo pavimento, movimentada-se através dos vazios existentes, por percolação até atingir o lençol freático e os aquíferos subterrâneos, realizando então a recarga dos mesmos. Chegando às vertentes, o escoamento subterrâneo de água passa então a alimentar rios, ou mesmo oceanos, com uma parcela significativamente reduzida de elementos poluidores, caso contrário ao que ocorre atualmente nos sistemas de drenagem urbana.

É importante observar que o uso do Método Racional neste trabalho foi realizado de forma simplificada, levando-se em consideração apenas a área de calçadas e não a área de contribuição da bacia hidrográfica, como deve ocorrer em estudos de projetos de micro e macro drenagem urbana.

O estudo realizado e os resultados obtidos fornecem parâmetros qualitativos e quantitativos que para serem empregados na prática ainda necessitam de avaliação das entidades públicas competentes quanto à disponibilidade de recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9050:2004. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.
2. ARAÚJO, Paulo R. de; TUCCI, Carlos E. M.; GOLDENFUM, Joel A. 2000. A Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na redução de escoamento superficial. RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.5, n.3, p. 21-28, set. 2000.
3. BRAGA, Benedito; TUCCI, Carlos E. M.; TOZZI, Marcos. Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.
4. FENDRICH, Roberto. Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná. Curitiba: Champagnat, 1998.
5. GARCEZ, Lucas N.; ALVAREZ, Guillermo A. Hidrologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.
6. GUIMARÃES, Augusto S. P. Projetos de Pequenos Sistemas Unitários de Esgotamento. 2 ed. Rio de Janeiro: Caixa Econômica Federal, 2004.
7. IAP. Instituto Ambiental do Paraná. Programas e Projetos. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=54>>. Acesso em 12 mai 2010.
8. IPPUC. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Curitiba em Dados. Disponível em: <<http://www.ippuc.org.br/ippucweb/sasi/home/>> Acesso em 05 de maio de 2009.
9. LAGINSKI, Flávio. Calçadas de Curitiba recebem elogios da população. Paraná On-Line, Curitiba, jul. 2008. Disponível em: <<http://www.parana-online.com.br/editoria/cidades/news/304904/>>. Acesso em: 25 abril 2010.
10. MORETTI, Ricardo de S.; NISHIHATA, Nelia M. Estacionamento Parque-qualificação paisagística. Revista Técnica, São Paulo, ed. 116, p. 58-63, nov. 2006.
11. PINTO, Nelson L. de S.; HOLTZ, Antonio C.T.; MARTINS, José A.; GOMIDE, Francisco L.S. Hidrologia Básica. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.
12. POLASTRE, Bruno; SANTOS, Lara D. Concreto Permeável. Revista Arquitetura, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 614 jul./dez. 2006.
13. SIMEPAR. Instituto Tecnológico Sistema Meteorológico do Paraná. Produtos e Serviços. Disponível em: <<http://www.simepar.br/>>. Acesso em 13 set. de 2009.

14. SOUZA, Pedro. V. P. de. Canalização do riacho Belém em Curitiba. Rio de Janeiro: Sanevia, 1959.
15. SUDERHSA. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.suderhsa.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=48>. Acesso em 09 maio 2009.