

A PROBLEMÁTICA DAS INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS SOB A ÓTICA DA PERMEABILIDADE DO SOLO

Urban flooding problem under the soil permeability perspective

Cassiane Aparecida da Silveira¹

**Graduanda do Curso Superior de Tecnologia de Construção de Edifícios do Instituto
Federal de Santa Catarina**

Departamento Acadêmico da Construção Civil
Av. Mauro Ramos 950, Centro, Florianópolis/SC, CEP 88020-300
cassisilveira.aw@gmail.com

Patrícia Dias²

**Graduanda do Curso Superior de Tecnologia de Construção de Edifícios do Instituto
Federal de Santa Catarina**

Departamento Acadêmico da Construção Civil
Av. Mauro Ramos 950, Centro, Florianópolis/SC, CEP 88020-300
diaspaty22@hotmail.com

Fernanda Simoni Schuch³

Professora Doutora do Instituto Federal de Santa Catarina

Departamento Acadêmico da Construção Civil
Av. Mauro Ramos 950, Centro, Florianópolis/SC, CEP 88020-300
fernandass@ifsc.edu.br

Resumo:

O presente artigo traz a discussão da problemática das inundações urbanas. De acordo com a literatura, alguns fatores influenciam no aumento do número de fenômenos de inundações e, dentre estes fatores está a impermeabilização do solo. Sob esta ótica este artigo apresenta uma discussão baseando-se em análise quantitativa da contribuição do efeito da impermeabilização dos solos nas áreas urbanas para as inundações. Para esse estudo, foi feito a simulação de um cenário formado por três (03) lotes de áreas urbanas, com diferentes porcentagens de impermeabilização (100%, 60% e 0%). Correlacionou-se a região fictícia com um mapa pedológico adotando-se um tipo específico de solo existente no município de Florianópolis: solo areno-quartzoso. Coletou-se dados de precipitação máxima para um tempo de recorrência de 10 anos no mesmo município e, dados acerca da capacidade de infiltração da água no solo. Por fim verificou-se que em ambos os casos mais de 90% da água pluvial necessita ser artificialmente drenada devido às características do solo e do clima. A partir desta constatação sugere-se a adoção de novas medidas de infraestrutura urbana para minimizar o impacto de chuvas de grande intensidade. Salienta-se também, a importância da interligação entre as pesquisas desenvolvidas no meio acadêmico com instituições públicas e privadas, de modo que o conhecimento gerado chegue até a sociedade sob a forma de conhecimento técnico-científico aplicado, transformando-se em projetos e obras de engenharia civil para o bem da sociedade.

Palavras chave: Permeabilidade, Inundações, Drenagem.

Abstract:

This paper presents a research about urban floods events. According to the literature, some factors increase flood events in urban areas such and, among them, soil sealing. Under this view, this paper presents quantitative analysis of floods caused by soil sealing effect in a urban area. For this study, a scenario simulation was developed with 03 urban parcels (lot) with different soil sealing rate (100%, 60%, 0%). It is a fictional example and it was adopted a pedological map selecting an area with sand enriched with quartz in Florianópolis/SC. Precipitation data was obtain for a 10-year recurrence in the same municipality and also water infiltration data. In the end, it was verify that in all cases with different soil sealing rates, more than 90% of the pluvial water needs to be artificially drained because of

climate and soil characteristics. After this finding, it is suggested the adoption of new infrastructure measures intending to minimize the impact of intense rain events. It is pointed the importance of the connection between the academy and public/private institutions in a way that the knowledge developed in the academic walls reach the society through applied science transformed in civil engineering projects and built for the society improvement.

Keywords: Permeability, floods, drainage.

1. Introdução

No Brasil e em muitos outros países, a atividade antrópica vem provocando alterações e impactos no ambiente. Com frequência, acontecem inundações que em sua maioria, promove a destruição da infraestrutura das cidades, geram desabrigados, feridos, etc.

As causas mais comuns das inundações são as ocupações desordenadas, falta de estudo e controle de áreas de risco e planejamento, onde a maioria dos projetos atuais transfere o problema de enchentes para a jusante. Portanto, existe uma necessidade de apresentar soluções e estratégias que minimizem e reverta essa situação.

Este artigo, produzido no decorrer da Unidade Curricular de Mecânica dos Solos do Curso Superior em Tecnologia de Construção de Edifícios do IFSC, visa, apresentar uma simulação de cenário com a finalidade de se determinar quanto de água permeia nos solos de três lotes com diferentes índices de permeabilidade fictícios, localizados no município de Florianópolis/SC.

Florianópolis, assim como muitas cidades brasileiras sofre com a problemática das enchentes e inundações causando transtornos e danos materiais aos moradores da região bem como aos turistas que a buscam para desfrutar dos atrativos da paisagem que oferece.

Assim sendo apresenta-se uma análise de dados verídicos aplicados a um conjunto de parcelas (lotes) fictícios os quais servem de base para a geração de dados e suas respectivas análises do regime hídrico pluviométrico local que, em conjunto com o processo de urbanização que impermeabiliza os solos, provoca inundações.

2. Revisão de Literatura

2.1 A problemática das inundações em áreas urbanas

Anteriormente à discussão sobre as inundações em áreas urbanas, necessita-se definir o que é considerado 'inundação'. A figura abaixo ilustra o espaço que pode ser ocupado pelas águas (leito do rio), que se subdivide em três estados (I, II e III):

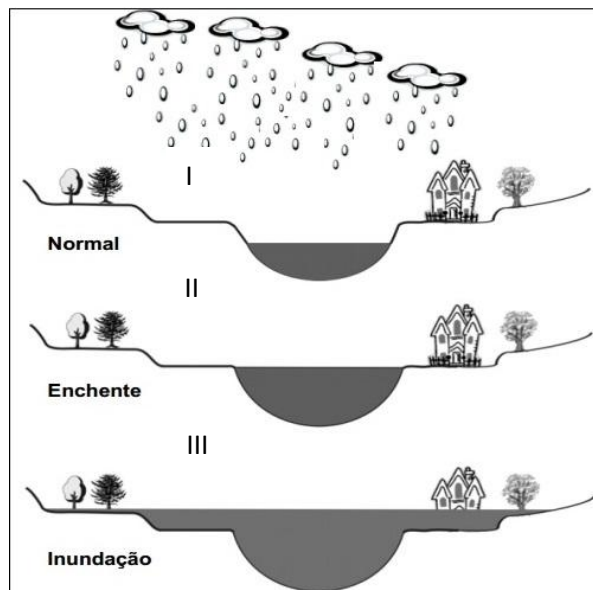


Fig. 1 – Caracterização de cada estado dos rios.
Fonte: Goerl e Kobiyama, (s.d)

- I. Leito normal: é o sulco que comumente escoam as águas;
- II. Leito de enchente: é quando o rio está com o volume elevado até a altura das margens sem transbordar para as áreas adjacentes;
- III. Leito de inundação: o rio se encontra no leito de enchente e quando aumentam ainda mais o nível d'água transborda alagando as várzeas e caracterizando uma inundação. Este, portanto, é o cenário que se irá utilizar para descrever o termo inundação ora adotado.

Pode-se dizer que, o fenômeno de enchente em área urbana é consequência de dois processos que podem ocorrer isoladamente ou simultaneamente: enchentes em áreas ribeirinhas ocupadas devido à falta de planejamento do uso do solo ou, provocadas pela urbanização que impermeabiliza o solo por processos construtivos (Tucci, 2014). As inundações também podem ser analisadas como consequência destes dois processos que, aliados a uma intensa precipitação pluviométrica, uma vez que o volume da água extrapola a calha dos rios causando o deslocamento da água para áreas ocupadas pela população provocando grandes impactos sociais.

Segundo o MMA (Ministério do Meio Ambiente, 2014) as enchentes são fenômenos naturais, recorrentes em certos períodos de tempo, ocorrendo, portanto, com frequência variável. A problemática da inundação tem início a partir da ocupação, por parte da população, do leito dos rios (pois alguns ficam sem sofrer enchentes por muito anos) o que pode ter como consequência perdas de vidas humanas e perdas materiais.

Conforme a população impermeabiliza o solo, o escoamento da água é acelerado através da canalização do fluxo da água por condutos e canais. As somatórias das vazões que chegam ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumentam produzindo inundações. O mesmo não aconteceria se as mesmas áreas fossem permeáveis, pois assim a água percolaria no solo naturalmente. (Tucci e Bertoni, 2003). Percebe-se portanto a necessidade de se analisar a capacidade do solo em permitir a percolação da água através dele.

2.1 Permeabilidade dos Solos

Em 1850, Darcy verificou vários fatores geométricos, representados na Fig. 2, que intervinham na vazão da água, obtendo a seguinte expressão que acabou recebendo seu nome:

$$Q = k \frac{h}{L} A \quad (1)$$

Sendo: Q = vazão

A = área do permeâmetro

k = coeficiente de permeabilidade

A correlação de h (o volume de água que percola no solo) por L (o comprimento do solo que a água percolou) é conhecido como gradiente hidráulico, representado pela letra i. Com isso a Lei de Darcy admite o formato:

$$Q = k i A \quad (2)$$

A velocidade com que a água sai de um solo arenoso é indicada pela divisão da vazão pela área. Essa velocidade v é chamada de velocidade de percolação, logo a Lei de Darcy altera-se para:

$$v = k i \quad (3)$$

A partir dessa expressão, obtém-se o coeficiente de permeabilidade, indicando a velocidade da água quando o gradiente hidráulico é igual a 1.

O coeficiente de permeabilidade pode ser obtido por experimentação sendo, para tanto, empregados os seguintes ensaios:

a) Permeâmetro de carga constante

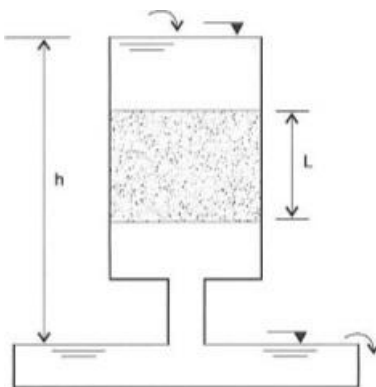


Fig. 2 – Representação de permeâmetro de carga constante.

Fonte: Pinto, 2006.

Normalmente empregados para solos arenosos, o ensaio consiste na repetição da experiência de Darcy, como mostra a Fig. 2, porém é mantida a carga h por um determinado tempo, a água que percola é colhida e o seu volume é medido. Com o conhecimento da vazão e os fatores geométricos, o coeficiente de permeabilidade é calculado diretamente pela Lei de Darcy:

$$k = \frac{Q}{i A} \quad (4)$$

b) Permeâmetro de carga variável

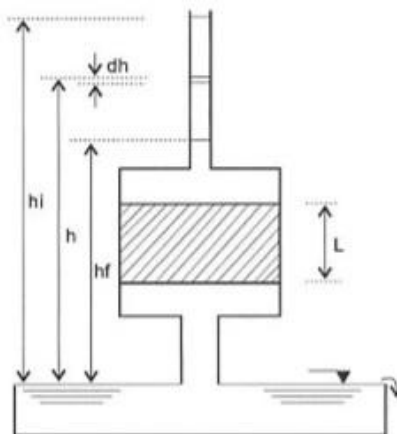


Fig. 3 – Representação de permeâmetro de carga variável.

Fonte: Pinto, 2006.

Esse ensaio é destinado para solos argilosos, quando o coeficiente de permeabilidade é muito pequeno. Nesse ensaio é colocado um volume de água na bureta superior e verifica o tempo que a água leva para baixar da altura inicial h_i à altura final h_f . Num instante t qualquer, a partir do início, a carga é h e o gradiente h/L , como mostra a Fig. 3. Dessa forma, a vazão será:

$$Q = k \frac{h}{L} A \quad (5)$$

A vazão da água que passa pela bureta é a mesma vazão de água que passa pelo solo, portanto a vazão da bureta é determinada como mostra a seguir:

$$Q = -a \frac{dh}{dt} \quad (6)$$

Sendo : a = área da bureta

$a \, dh$ = volume que escoou

dt = tempo que levou para escoar

- = significa que o h diminui com o tempo.

Igualando as expressões obtém - se:

$$-a \frac{dh}{dt} = k \frac{h}{aL} A = \frac{dh}{h} = -k \frac{A}{aL} dt \quad (7)$$

Ao fim tem-se a seguinte fórmula:

$$k = 2,3 \frac{aL}{At} \log \frac{h_i}{h_f} \quad (8)$$

Além da permeabilidade do solo deve-se levar em conta a capacidade de infiltração da água em cada tipo de solo bem como a respectiva taxa de infiltração. A determinação destes valores, no entanto, não é foco deste artigo. Para esta pesquisa foram utilizados valores tabelados de capacidades de infiltração, conforme Método do SCS (*Soil Conservation System*, 1986) mostrado na Tab. 1. Esta tabela indica as capacidades de infiltração através do que foi denominado pelo autor (Canholi, 2005) de grupos hidrológicos. Cada grupo representa um determinado tipo de solo levando em consideração fatores como granulometria do solo, nível do lençol freático e permeabilidade.

Tab. 1 - Capacidade de infiltração para cada um dos grupos hidrológicos dos solos

Fonte: Canholi, 2005.

Grupo hidrológico do solo	Descrição do solo	Capacidade de infiltração (cm/h)
A	Areias e cascalhos profundos ($h > 1,50$ m), muito permeáveis. Possuem alta taxa de infiltração mesmo quando saturados. Teor de argila até 10%	1,20 - 0,80
B	Solos arenosos com poucos finos, menos profundos ($h < 1,50$ m) e permeáveis. Teor de argila até 10%-20%	0,80 - 0,40
C	Solos pouco profundos com camadas subsuperficiais que impedem fluxo descendente da água, ou solos com porcentagem elevada de argila (20%-30%)	0,40 - 0,15
D	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas aargilosas próximas à superfície, o solos rasos sobre camadas impermeáveis	0,15 - 0,00

Observa-se pelos dados acima apresentados que a capacidade de infiltração do solo, ou seja, sua permeabilidade, está diretamente vinculada às características geológicas de formação do solo (granulometria da partícula constituinte do solo) bem como à morfologia da área (nível do lençol freático e espessura da camada de solo). Portanto torna-se imprescindível levar tais parâmetros em consideração quando da análise das inundações em áreas urbanas pois, nos locais em que o solo não se encontra impermeabilizado, pode apresentar grandes variações de permeabilidade.

3. Simulação de Ocupação Urbana para Análise de Inundações

Para se gerar as análises pretendidas acerca da temática inundações em áreas urbanas versus permeabilidade do solo, realizou-se uma simulação de cenário de três situações distintas de lotes. Os lotes e suas respectivas taxas de impermeabilização são fictícios tendo sido escolhida uma área geográfica para sua localização de modo a se obter os dados pedológicos do solo bem como os dados hidrológicos para basear tal simulação. Nos subitens que seguem descreve-se o cenário proposto e, na sequência, a análise dos dados.

3.1 Descrições da área fictícia

Neste item descreve-se os três lotes (parcelas) para os quais adotou-se diferentes porcentagens índice de permeabilidade: 100%, 60% e 0% . Localizou-se a área de estudo fictícia num loteamento supostamente situado no Bairro Lagoa da Conceição do município de Florianópolis – SC. O tipo de solo da região correlacionado com o mapa pedológico da ilha de Florianópolis (Santos, 1994) é areno-quatzoso como mostra a Fig.4.

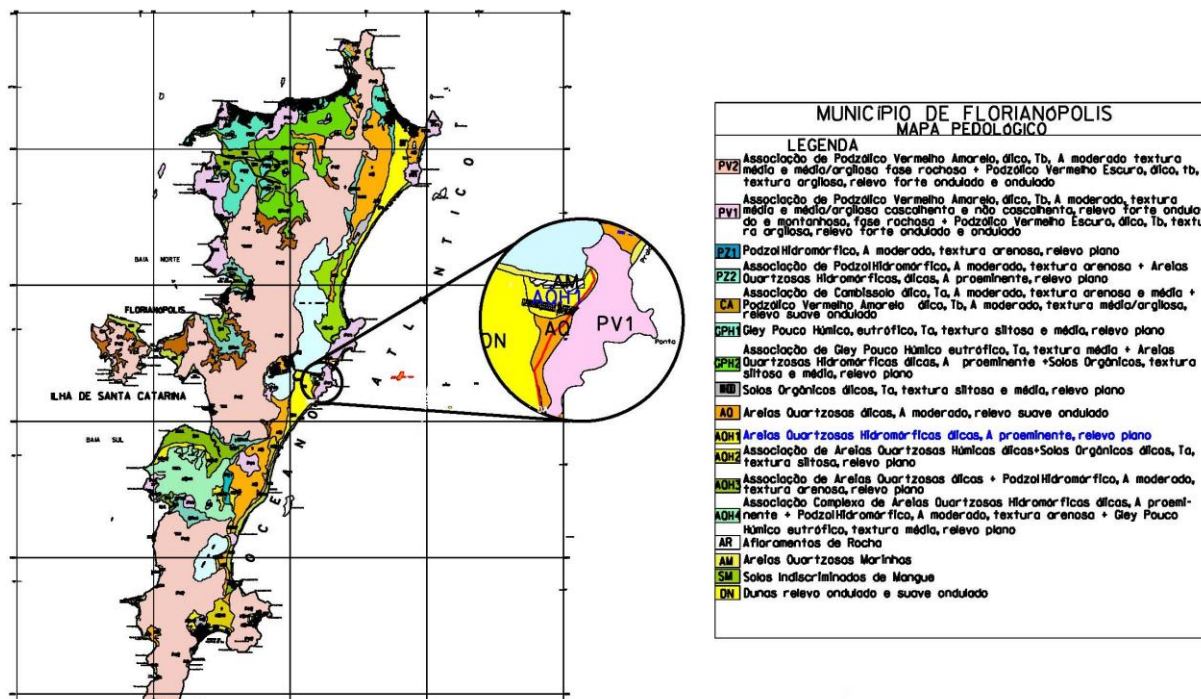


Fig. 4 – Mapa pedológico – Local da Amostragem - Correlação com área de estudo – Solo: areia quartzosas
Fonte: Santos, (1997)

Com o dado do tipo de solo (areno-quartzoso) recorre-se à Tab. 1 e verifica-se tratar de um solo do Grupo Hidrológico ‘B’ tendo, portanto, uma capacidade de infiltração de 0,80 a 0,40 cm/h.

Os dados do município de Florianópolis onde o conjunto de lotes fictícios analisados se localiza são os que seguem:

Tab.2 – Dados da Grande Florianópolis
Fonte: Consultora PROSUL- Projeto de engenharia – PMF Avenida Jorge Lacerda – Estudo hidrológico, 2013.

MUNICÍPIO	FLORIANÓPOLIS
Latitude	27°35'48"
Longitude	48°32'57"
Altitude	25 m
Precipitação média anual	1653 mm
Temperatura média anual	20° C
Media do mês mais quente	24° C
Media do mês mais frio	16° C
Umidade relativa anual	85%

Com relação ao regime hidrológico adotou-se, para esta área do município de Florianópolis, o valor da máxima precipitação para um tempo de recorrência de dez (10) anos de 85mm/hora (Consultora PROSUL- Projeto de engenharia – PMF Avenida Jorge Lacerda – Estudo hidrológico.).

Salienta-se que nesta simulação são analisados somente os dados referentes à precipitação de chuva no perímetro dos terrenos simulados, não se leva em consideração a contribuição do entorno nos terrenos e nem mesmo dos terrenos à jusante na bacia hidrográfica.

3.3 Análises dos dados

Uma vez caracterizada a área de estudos calculou-se o volume de água que infiltra no solo utilizando a capacidade de infiltração média para o Grupo Hidrológico B (0,60 cm/h) bem como a precipitação de 8,5 cm/h. Idealizou-se um lote do tamanho de 700,00 m² para o qual chegou-se ao valor de 55,3 m³ de água em uma hora de precipitação com o índice pluviométrico anteriormente citado. Os resultados obtidos estão expressos na Tab. 3 abaixo:

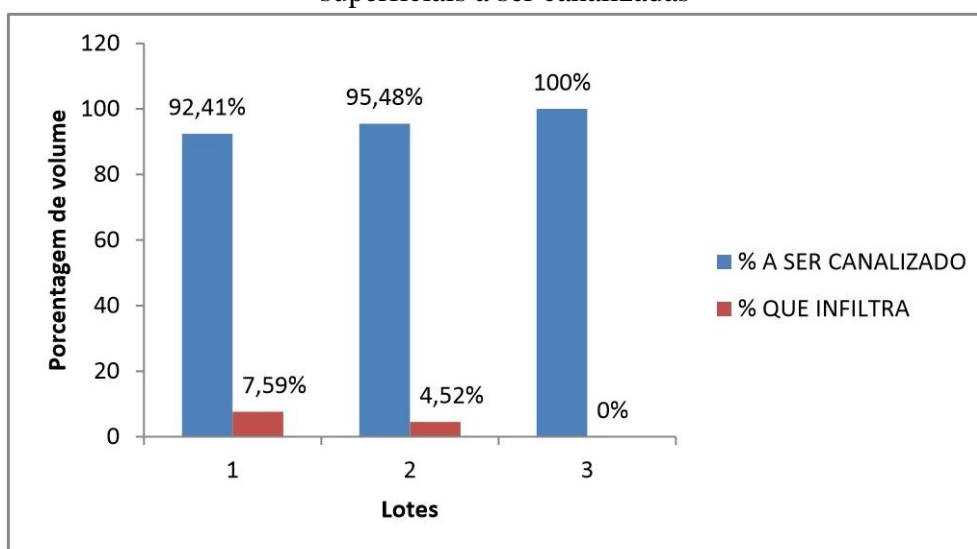
Tab. 3 - Transformação das chuvas máximas para a estação de Florianópolis.
Fonte: Consultora PROSUL- Projeto de engenharia – PMF Avenida Jorge Lacerda – Estudo hidrológico, 2013.

SIMULAÇÃO	VOLUME QUE INFILTRA [m ³]	VOLUME A SER CANALIZADO [m ³]	VOLUME TOTAL	% QUE INFILTRA	% A SER CANALIZADO
CASO 01 100% PERMEÁVEL	4,2	51,1	55,3	7,59	92,41
CASO 02 60% PERMEÁVEL	2,5	52,8	55,3	4,52	95,48
CASO 03 0% PERMEÁVEL	0	55,3	55,3	0	100

Analisando-se os dados acima percebe-se que, para uma área de solo arenoso e pouco profundo, a percentagem de água que infiltra no Caso 01 (100% permeável) tem-se aproximadamente 8% do volume total da precipitação infiltrando no solo. No caso 02 aproximadamente 5% do volume de água infiltra e, no caso do solo totalmente impermeabilizado este valor é, obviamente nulo.

Nos 3 casos mais de 90% do volume de precipitação necessita ser canalizado por não infiltrar no solo (gráfico 1).

Gráfico. 1 – Comparativo das percentagens das águas que infiltram e das águas superficiais a ser canalizadas



Estes dados enfatizam a necessidade de sistemas de drenagem urbanas eficientes para evitar inundações quando da ocorrência de uma precipitação de grande volume como o utilizado para estes cálculos. Além disso, a utilização de outras técnicas da construção civil aplicadas nos projetos das edificações podem contribuir significativamente para a diminuição do volume a ser

drenado artificialmente.

4. Considerações Finais e Sugestões

Como visto nos gráficos, numa condição de solo 100% permeável, em uma quantidade máxima de precipitação, a água não infiltra totalmente e gera um considerável volume de água para ser drenado até os rios das cidades. Essa condição se agrava com a impermeabilização dos solos sem controle e planejamento, pois gera um volume ainda maior a ser canalizado. Logo, como concluído na simulação além de outros fatores é necessário uma drenagem eficiente para captar as águas excedentes.

Existindo a necessidade de encontrar formas para evitar que a drenagem fique sobrecarregada, Canholi (2005, p. 39) diz que:

“Em pesquisas efetuadas por Jacobsen et al. (1996), realizadas a partir das conclusões do Fifth European Junior Scientist Workshop on Stormwater Infiltration – Klinthom (Dinamarca), em 1992, foram comparadas as soluções de incremento da infiltração com outros métodos. Implantou-se uma área experimental com diversos dispositivos de infiltração adiante descritos, na bacia do rio Shirako, Japão. As medições demonstraram que o sistema de infiltração reduziu os picos de vazão em 60% e o volume total de deflúvios em cerca de 50%, em comparação aos sistemas convencionais.”

As contenções na fonte descritas por Canholi tem o objetivo principal reduzir ou armazenar parte do volume escoado e retardar as vazões para a rede de drenagem afim de não realocar um problema existente a jusante, ver na Fig. 5.

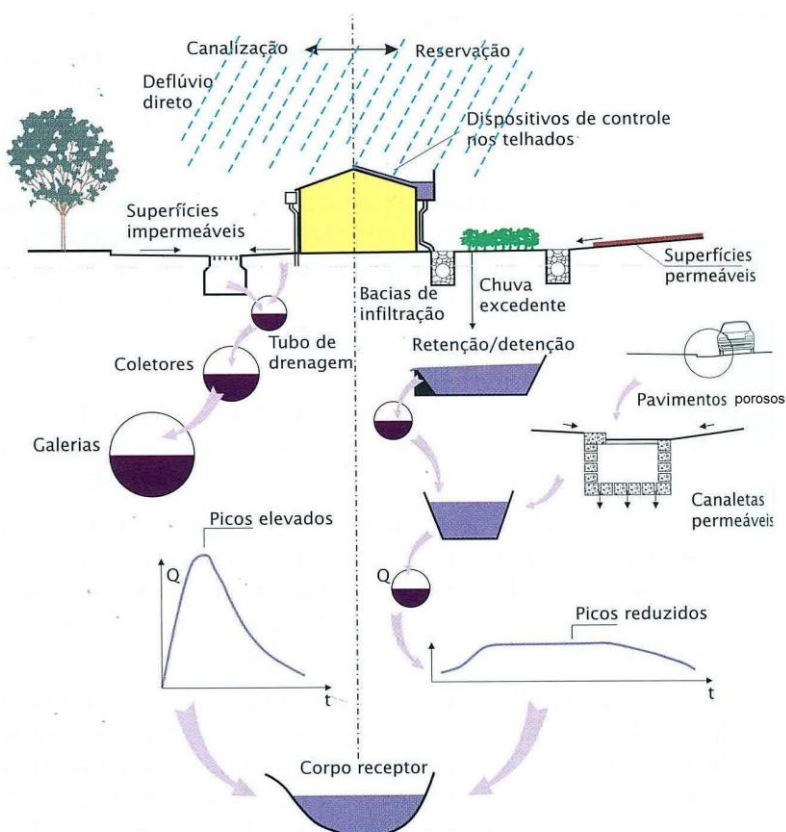


Fig. 5 - Ilustração esquemática dos conceitos de reservação x canalização.

Fonte: Braga (1994)

Dispositivos de infiltração sugeridos:

- 1) Captação de águas no telhado para aproveitamento em descargas de sanitários, irrigação de jardins e lavagem de pisos.
- 2) Depressões em praças públicas, a fim de permear e acumular o máximo de precipitação funcionando como um retardador do volume de água a ser encaminhado para as redes coletoras dos deflúvios resultando em uma diminuição nos picos de vazão.
- 3) Leis que delimitem área permeável mínima de 30% nas parcelas de terrenos em novos loteamentos.
- 4) Canaletas e dispositivos de drenagem que facilitem a infiltração e percolação, substituindo o método tradicional de simples escoamento à jusante.
- 5) Pavimentos porosos em calçadas de vias publicas ou privadas, ver Fig. 6, assim como ruas de asfalto drenante.
- 6) Subdrenos para captação e favorecimento do escoamento a profundidades maiores, alimentado o nível do lençol freático



Fig. 6 - Pavimento poroso – Parque Ibirapuera, São Paulo(1996); Portland e Monterey, EUA (2002)

Fonte: Canholi (2005)

Silveira (2013), por sua vez, propõe em sua tese de doutorado que, para os casos de loteamentos sustentáveis de áreas urbanas, seja adotado um valor mínimo de 25% de área verde a fim de garantir certa permeabilidade na superfície e, que os Planos Diretores Municipais Brasileiros indiquem em seus índices, além da taxa de ocupação máxima do terreno um índice relativo à máxima impermeabilização do solo. Assim, garante-se uma significativa redução de volume de água a ser drenado artificialmente na bacia hidrográfica em que esta vazão é gerada, bem como a jusante.

Dadas as proposições convém salientar a importância da interligação entre as pesquisas desenvolvidas e instituições públicas e privadas de modo que o conhecimento gerado chegue até a sociedade sob a forma de conhecimento técnico-científico aplicado, transformado em projetos e obras de engenharia civil para o bem da sociedade.

5. Referências Bibliográficas

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros técnicos e científicos, 1988. Vol. 1.

SILVEIRA, Samuel João da, **Subsídios para Normativa de Loteamentos Sustentáveis Quanto ao Ciclo Hidrológico**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

GOERL, Roberto Fabris; KOBIYAMA Masato. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. (Disponível em: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 15 maio de 2014)

MMA – Ministério do Meio Ambiente, Controle de Inundações. (Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/controle-de-inunda%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em 04 de junho de 2014).

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

PROSUL – PROJETOS, SUPERVISÃO E PLANEJAMENTO LTDA. Projeto de engenharia – PMF Avenida Jorge Lacerda – Estudo hidrológico. Santa Catarina: Florianópolis, 2013.

SANTOS, Glaci Trevisan. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

TUCCI, Carlos E M.; BERTONI, Juan Carlos (orgs). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. (Disponível em: <http://www.eclac.cl/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/InBr02803.pdf>. Acesso em: 14 maio de 2014).

TUCCI, C. E. M., **Inundações Urbanas**, (Disponível em: http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/ccr4/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF. Acesso em 04 de junho de 2014.)