



ÁGUAS DE CHUVA

Engenharia das águas pluviais nas cidades

3ª edição revista e sensivelmente ampliada

MANOEL HENRIQUE CAMPOS BOTELHO

Blucher

Águas de chuva

Engenharia das águas
pluviais nas cidades

Blucher

MANOEL HENRIQUE CAMPOS BOTELHO

Eng. Civil formado pela

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Águas de chuva

Engenharia das águas pluviais nas cidades

3ª edição revista e sensivelmente ampliada

Colaboração especial:

ARQ. ANGELO S. FILARDO JÚNIOR

Águas de Chuva – Engenharia das águas pluviais nas cidades

© 2011 Manoel Henrique Campos Botelho

3ª edição – 2011

1ª reimpressão – 2012

Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-012 – São Paulo – SP – Brasil

Tel 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Botelho, Manoel Henrique Campos

Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades / Manoel Henrique Campos Botelho; colaboração especial Angelo S. Filardo Júnior – 3. edição revista e sensivelmente ampliada – São Paulo, Blucher, 2011.

Bibliografia.

ISBN 978-85-212-0596-8

1. Água pluviais 2. Escoamento urbano
I. Filardo Júnior, Angelo S. II. Título

10-11623

CDD-628.21

Índice para catálogo sistemático:

1. Águas pluviais: Sistemas de escoamento: Engenharia Sanitária 628.21

Créditos

À memória de meu pai Antenor
e à dedicação de minha mãe Helyeth,
o reconhecimento pelo fato de me terem educado
com uma perspectiva humanista.

A Mauricio e Vinicius,
filhos e companheiros
de uma inesquecível aventura.

Pensamentos

“As cidades serão mais humanas,
quando as calçadas forem contínuas
e as ruas descontínuas...”

(H.C.B.)

“Se você quer entender a hidráulica dos canais,
raciocine primeiro com os conceitos de
calha de escoamento e *vazão*, e depois, só depois,
introduza o conceito de *velocidade da água*...”

(M.H.C.B.)

“El rigor se afina entre nosotros más rápidamente
que la necesidad del rigor...”

(A.P. Maiztegui e Jorge A. Sabato em
Introducción a la Física, Buenos Aires, Octubre, 1950)

Agradecimentos – 1ª edição

Vários colegas colaboraram para este trabalho enviando dados, ou contando suas experiências, ou, ainda, fazendo várias leituras do trabalho na sua fase de preparação.

Assim agradeço aos colegas:

Acácio E. Ito
Antonio Carlos Mingrone
Cauby dos Santos Rego
Cornélia Catharina Leindinger
Erialdo Gazola da Costa
Hilton Felício dos Santos
José Augusto Borges
José Manuel Fernandes
José Martiniano de Azevedo Netto (*in memoriam*)
José Natal Martins Araújo
Júlio Capobianco Filho
Mauro Garcia (*in memoriam*)
Paulina Martorell
Romildo Magnani
Sérgio Akkerman
Waldir Nudelmann

Como só o autor participou da preparação final do texto, são dele, e com exclusiva responsabilidade, as eventuais falhas encontradas.

À Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo – EMURB, o autor agradece a autorização para reproduzir os documentos indicados ao longo deste livro com o código EMURB.

Prefácio da 1ª edição

Aos meus leitores.

Dentro do programa traçado de escrever livros práticos para o dia a dia profissional da engenharia civil e arquitetura, apresento agora: *Águas de chuva* - Engenharia das águas pluviais nas cidades.

Na preparação deste livro, segui a rotina tradicional na produção de meus livros técnicos.

- comecei a conversar com colegas que trabalham na área, seja no campo de projeto, seja no campo de execução;
- entrei em contato com firmas projetistas, construtores e fornecedores de materiais de construção;
- saí a campo para visitar obras em execução e sistemas em operação;
- colecionei artigos, livros e catálogos;
- finalmente, esbocei o livro.

Só depois disso, comecei a escrever.

Vários colegas, sabedores deste meu trabalho, procuraram-me para dar informações, dicas e contar experiências vividas e algumas muito sofridas.

O assunto “Águas Pluviais nas Cidades”, por envolver assuntos de urbanismo, tráfego, hidrologia, hidráulica, mecânica dos solos, construção civil e aspectos jurídicos, é apaixonante e complexo.

Embora de há muito fosse minha intenção escrever sobre o assunto, um fato marcou-me profundamente. Foi minha participação na equipe da Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria da Habitação e Desenvolvimento Urbano e Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo – EMURB – que recuperou o escarpado bairro do Jardim Damasceno, da pobre periferia da cidade de São Paulo. Nesse empreendimento pude sentir dramaticamente:

- a importância do sistema pluvial para conter erosões do terreno, evitar dano à estabilidade de taludes e encostas e para proteger casas e pessoas;

- a importância da mecânica dos solos e de adequados métodos de projeto e de construção e operação para o sucesso do funcionamento do sistema pluvial.

Nas obras de recuperação do Jardim Damasceno, vi, como talvez nunca tivesse visto antes, o assunto “Sistema Pluvial” ser tratado com extrema seriedade.

À sofrida população do Jardim Damasceno e a todos que deram seu melhor esforço para recuperá-lo é dedicado este livro.

M.H.C.B.
agosto, 1985

Apresentação da 3ª edição, revista e sensivelmente ampliada

Face a muitas cartas, *e-mails* e consultas com elogios, críticas e sugestões de novos temas e face às mudanças das normas de tubos de concreto pluviais, nasceu esta 3ª edição, com novos assuntos e temas sobre Águas Pluviais Urbanas.

São poucos os livros sobre águas pluviais urbanas, e então as responsabilidades dos seus autores crescem.

Eu muito apreciaria continuar a receber sugestões de novos temas pra futuras novas edições deste livro.

Um abraço

Manoel Henrique Campos Botelho
março 2011

e-mail <manoelbotelho@terra.com.br>

Conteúdo

1	Explicando as necessidades e funções dos Sistemas de Águas Pluviais nas cidades	17
1.1	Introdução	17
1.2	Evolui a cidade, altera-se a função do Sistema Pluvial	20
2	Uma polêmica sobre o traçado das cidades. Duas concepções urbanísticas antagônicas. Parques públicos junto às margens dos rios ou avenidas de fundos de vale.	23
3	Elementos constituintes de um adequado Sistema Pluvial Urbano.	25
3.1	O traçado correto da cidade.	25
3.2	Liberação de fundos de vale.	28
3.3	A calha viária das ruas.	29
3.4	Guias, sarjetas, sarjetões e rasgos.	30
3.5	Dispositivos de captação e direcionamento de águas pluviais, bocas de lobo, bocas de leão, grelhas, ralos, bocas de lobo contínuas, canaletas e topo e de pé de talude.	34
3.6	Tubos e galerias de condução de águas pluviais	42
3.7	Poços de visitas. Tampões e grelhas	47
3.8	Rampas e escadarias hidráulicas	51
3.9	Dispositivos de chegada de águas pluviais em córregos e rios	56
3.10	Revestimentos de taludes	56
4.	Aspectos legais quanto às águas pluviais. Código Civil, Legislações Municipais	59
4.1	Extratos do Código Civil (Lei Federal n. 10.406, de janeiro de 2002) sobre Sistemas de Águas Pluviais, Prediais e Urbanas	60
5	Patologias do Sistema Pluvial. Erros de projeto, erros de construção, falta de manutenção	63
5.1	Introdução	63
5.2	Exemplos de problemas em sistemas pluviais	64

6.	Especificações para projeto de Sistemas Pluviais..	67
6.1	Algumas palavras filosóficas.	67
6.2	Precipitação e cálculo de vazões	69
6.3	Fixação da capacidade hidráulica de condução das ruas e sarjetas.	71
6.4	Captação de águas pluviais por bocas de lobo, bocas de leão e caixas com grelhas.	75
6.5	Ligação das bocas de lobo à canalização principal.	76
6.6	Canalização principal	76
6.7	Exemplo de projeto de um sistema pluvial.	79
7.	Especificações de construção dos Sistemas Pluviais	87
7.1	Localização da obra.	87
7.2	Abertura da vala	88
7.3	Escoramento da vala	89
7.4	Esgotamento da vala	89
7.5	Execução do lastro dos tubos	93
7.6	Fornecimento, recebimento e assentamento de tubos	93
7.7	Poços de visita (P.V.)	95
7.8	Argamassas de uso geral	95
7.9	Alvenaria de tijolos ou blocos de concreto.	96
7.10	Concreto	96
7.11	Reaterro da vala.	96
7.12	Repavimentação	96
7.13	Guias, sarjetas, sarjetões	96
7.14	Plantio de placas de grama para proteção de taludes contra erosões hidráulicas	97
7.15	Canaleta de topo e de pé de talude	97
7.16	Fornecimento de peças de ferro fundido cinzento (tampões de grelhas)	98
7.17	Testes hidráulicos de funcionamento	98
8.	Calçadas, as incríveis ruas sem calha.	99
8.1	Preliminares.	99
8.2	Critérios adotados nos projetos de calçadas	101
9.	Curiosos e diferentes Sistemas de Águas Pluviais. Sistemas alternativos	103
9.1	O sistema afogado	103
9.2	O sistema ligando boca de lobo a boca de lobo	104

9.3	Bocas de lobo sifonadas	104
9.4	Sistema com microrreservatórios	105
9.5	Galeria técnica de serviços	105
9.6	Construções pluviais com materiais alternativos	106
9.7	Tubulação pluvial captora de águas pluviais	107
9.8	É possível funcionar sistemas pluviais em loteamentos com ruas sem pavimentação? Veja como isso é possível	108

Anexos

A.	Elementos de Hidrologia	109
B.	Uma viagem à Hidráulica de canais	119
	B.1 Primeiras palavras	119
	B.2 Definições	121
	B.3 Tipos de escoamento	123
	B.4 Regimes pluvial, crítico e torrencial	126
	B.5 Cálculo de canais em escoamento uniforme – Fórmulas de Chézy e Manning	134
	B.6 Resolução de problemas de canais retangulares	136
	B.7 Cálculo de canais de calha circular (tubos circulares)	146
C.	Normas e especificações	157
	C.1 Normas da Prefeitura do Município de São Paulo, relacionadas com sistemas pluviais	157
D.	Fotos	159
E.	Explicando as necessidades e funções dos sistemas de águas pluviais nas cidades	169
F.	Problemas sanitários e de meio ambiente relacionados com as chuvas	177
G.	Dissipador de energia	179
H.	Uma viga chapéu diferente	181
I.	Bibliografia de aprofundamento	183

Complementos

I	A importância da drenagem, macrodrenagem, microdrenagem, drenagem profunda e drenagem subsuperficial. Entidades	189
II	Normas da ABNT para sistemas pluviais e assuntos correlatos	191

III	Drenagem profunda (subsuperficial) de solos.	193
IV	<i>Softwares</i> ligados à engenharia pluvial	203
V	Tendências de compreensão do funcionamento autônomo ou conjugado da rede pluvial e da rede de esgotos sanitários	205
VI	Os piscinões nos sistemas pluviais urbanos	211
VII	Curva de 100 anos como instrumento de se evitar ou minimizar inundações em áreas urbanas	217
VIII	Indicação de trabalho (<i>paper</i>) sobre doenças relacionadas à precariedade dos sistemas de drenagem pluvial	221
IX	Retificação e canalização de córregos urbanos	223
X	Pôlders em áreas urbanas. Os casos dos Jardim Romano e Jardim Pantanal, SP na Zona Leste da cidade de São Paulo, SP	227
XI	Avenidas mais baixas que seus rios laterais.	229
XII	Canais pluviais em Santos, SP	231
XIII	Assoreamento e dragagem de rios e lagos	237
XIV	Desassoreamento de lagos urbanos. Cuidados sanitários e ambientais. O caso do lago do Parque do Ibirapuera, São Paulo, SP.	241
XV	Análise de uma situação de emergência envolvendo recursos hídricos e obras hidráulicas	245
XVI	Simbologia para desenhos e documentos pluviais – Identificação e localização de poços de visita	249
XVII	Reprodução de artigo histórico sobre chuvas e poluição das águas.	251
XVIII	Crônicas pluviais	257
XIX	Técnicas e recomendações – ABTC Associação dos Fabricantes de Tubos de Concreto.	265
	Índice de assuntos	295
	Comunicação com o autor	299

Capítulo 1

Explicando as necessidades e funções dos Sistemas de Águas Pluviais nas cidades

1.1 Introdução¹

Era uma vez uma grande área livre próxima a uma cidade que crescia. Essa área era coberta de vegetação e sulcada por cursos de água. Sua forma, sua conformação, era o resultado de milênios de anos de transformação. A ação da chuva e dos ventos a moldara na sua secção de “melhor equilíbrio” (a mais estável) e que resultara do equilíbrio de ações erosivas *versus* sua constituição ou natureza (sua topografia e sua geologia).

Um dia, a cidade se aproximou dessa área, a área se valorizou e decidiu-se urbanizá-la e loteá-la.

A urbanização e o loteamento de uma área significam na prática:

- a) retirar considerável parte de sua vegetação (que a protegia da ação erosiva das águas pluviais);
- b) abrir ruas, fazendo-se cortes e aterros;
- c) criar *plateau* para as edificações;
- d) edificar nos lotes;
- e) pavimentar ruas;
- f) colocar gente na área.

Cria-se, pois, uma nova situação, que não tem mais nada a ver com a milênica situação de equilíbrio anterior. Mas as águas de chuva continuarão a cair na área e escoarão por ela.

¹ Como informação introdutória, não existe na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), até março de 2011, uma norma de projeto de sistemas pluviais urbanos.

Essas águas de chuva, ao escoarem, seguirão caminhos próprios e independentes dos desejos dos novos ocupantes da região.

Se não forem tomados cuidados na área recém-urbanizada, poderão acontecer:

- erosões nos terrenos;
- desbarrancamentos;
- altas velocidades das águas nas ruas, danificando pavimentos;
- criação de pontos baixos onde a água se acumulará;
- ocupação por prédios de locais de escoamento natural das águas (pontos baixos e fundos de vale). A ocupação desses locais impede a água de escoar, exigindo obras posteriores de correção.
- assoreamento dos córregos pelo acúmulo de material erodido dos terrenos.

Todos esses fenômenos são agravados pela impermeabilização da área. As vazões pluviais (superficiais), que ocorrerão, serão então muito maiores que as que antes ocorriam, pois, antes, significativa parte das águas, ao cair, se infiltrava no terreno, e, agora, com a impermeabilização, a maior parte das águas corre pela superfície, sem poder se infiltrar.

Tudo isso vai ocorrer em maior ou menor escala e dependendo dos cuidados a tomar no tipo de urbanização a ser adotado.

Dependendo, pois, do tipo de urbanização adotado, poderemos ter as seguintes alternativas:

Alternativa A

Projetar-se um tipo de urbanização que “respeite” as características topográficas e geológicas da área, resultando que, com pequenas obras de correção e direcionamento, se evitem danos maiores.

Alternativa B

Adota-se um tipo de urbanização sem atender às características naturais do terreno e ao mesmo tempo fazem-se custosas obras de proteção (muros de arrimo, complexo sistema pluvial, canalização de córregos). As consequências não são danosas, mas o custo das obras é vultoso.

Alternativa C

Adotar-se um tipo de urbanização sem atender às vocações do terreno, não se fazendo as obras de contenção. As consequências desta alternativa serão danosas e também perigosas.

Os custos das futuras obras de recuperação serão altos e, às vezes, quase proibitivos.

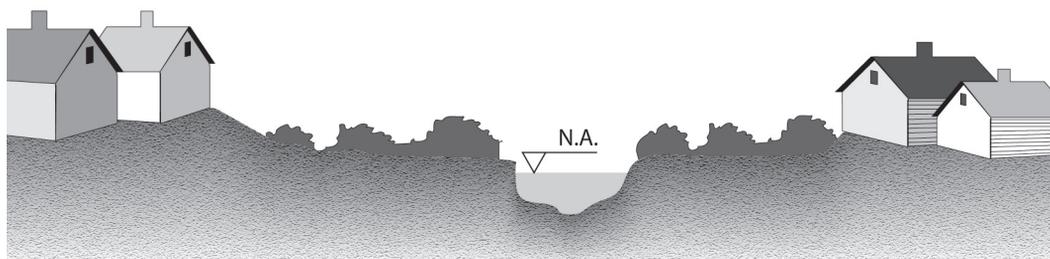
A Alternativa C tem sido, reconhecemos, infelizmente a mais adotada das práticas.

O presente livro procura dar subsídios, fornecer critérios de urbanização e elementos para orientar tecnicamente a implantação das Alternativas A e B.

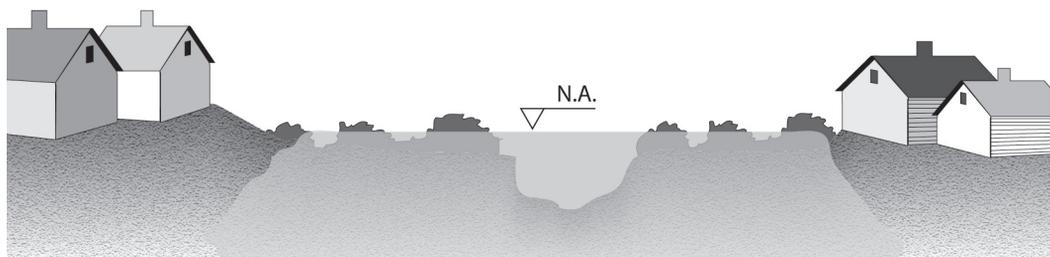
A gerência de águas pluviais urbanas deve levar em conta, portanto:

- a topografia e a geologia da área;
- os tipos de urbanização das ruas a implantar;
- a proteção contra erosões;
- a proteção aos pavimentos;
- a redução do alagamento das ruas pela passagem das águas;
- eliminação de pontos baixos de acumulação de água;
- a diminuição das inundações.

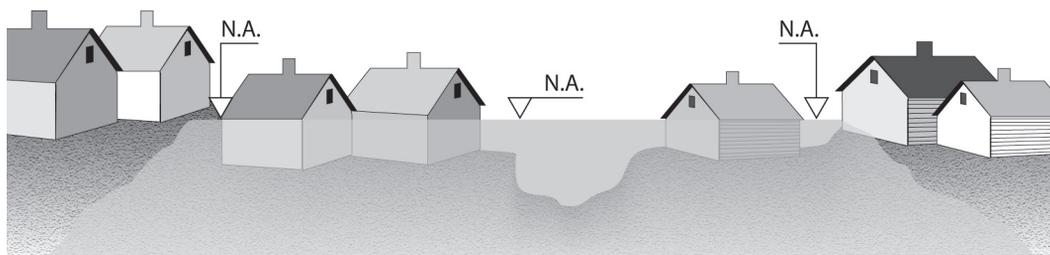
Notar que rios e riachos sempre têm *enchentes periódicas*. Só ocorrem *inundações* quando a área natural de passagem da *enchente* de um rio foi ocupada para conter uma avenida (avenida de fundo de vale) ou foi ocupada por prédios.



Rio na vazante.



Rio na enchente, várzea não ocupada, não há inundação.



Rio na enchente, casas na várzea, há inundação.

Assim, poder-se-á dizer que todo curso de água tem *enchente*. Quando *inundada* é porque a urbanização falhou.

O estudo de águas pluviais de uma cidade não pode se limitar a apreciar tão somente os aspectos hidrológicos e hidráulicos, pois assim estaríamos caindo na Alternativa B, ou seja, dada uma urbanização a implantar e dada a topografia e geologia da área, como protegê-la a qualquer custo.

A gerência das águas pluviais nas cidades deve abranger todos os aspectos urbanos, para que se possam utilizar áreas sem incorrer em altos custos de construção. Dessa maneira, o Sistema Pluvial a se projetar em novas áreas deverá estar integrado aos demais aspectos de uso adequado do solo urbano.

O autor deste livro não esconde, pois, sua simpatia pela Alternativa A.

Quando o Sistema Pluvial é projetado para uma área já urbanizada, com urbanização feita sem maiores cuidados, o Sistema Pluvial será corretivo. Seus frutos serão possivelmente menores e os custos das obras serão mais altos.

1.2 Evolui a cidade, altera-se a função do Sistema Pluvial

Admitamos que a área livre em questão foi loteada dentro da Alternativa C. Aconteceram, então, erosões no terreno. Face a isso, perderam-se lotes, os córregos foram assoreados pelo material erodido carreado pelas enxurradas, mas mesmo assim o loteamento foi sendo ocupado e lotes foram sendo edificadas.

Face a tudo isso, a área foi sendo impermeabilizada e aumentaram os picos de vazão pluvial que correm pelas ruas, pelas dificuldades de infiltração das águas. Devido a isso, em alguns locais as enxurradas aumentadas aceleram as erosões.

Com o tempo, a prefeitura interviu parcialmente na área, corrigiu o traçado das ruas bastante transformado pelas erosões, pavimentou o sistema viário e criou o Sistema Pluvial. Alguns lotes fortemente erodidos se perderam, resultando grotas que se estabilizaram com o tempo, estabilidade esta contra a erosão ajudada pela vegetação que voltara a crescer.

Portanto, a um alto custo social, a região progressivamente cicatriza-se e equilibra-se, e a ocupação dos lotes remanescentes completa-se quase que totalmente.

Com a área agora quase que totalmente urbanizada, os picos de vazão nas ruas aumentam ainda mais, criam-se novas necessidades de galerias pluviais e os rios da região começam agora a inundar áreas nunca dantes inundadas.

Os esgotos sanitários não coletados correm pelas sarjetas, entram nas bocas de lobo e chegam a esses córregos.

Entra novamente a prefeitura para tomar medidas corretivas contra as inundações dos córregos. Obras caras de desassoreamento são feitas, o rio é retificado no seu traçado. Para isso são necessárias providências de desapropriação e remoção

de habitantes, pois os fundos de vale estão parcialmente ocupados por edificações e favelas. O bairro prospera e os últimos lotes são ocupados. Aumenta-se ainda uma vez mais a impermeabilização da área, e o córrego, aumentadas mais suas vazões, com novas enchentes, começa a inundar novas áreas.

Aí o Poder Público (leia-se recursos públicos) intervém mais uma vez, e o córrego tem sua caixa aumentada, sendo então canalizado em galerias de concreto armado.

Face a todas as obras, as águas escoam agora facilmente e rapidamente na área.

Quando tudo parecia resolvido, começa-se a lotear uma área a jusante de nossa área em estudo, e tudo começa outra vez, com o agravante de que o rio tem um outro comportamento. Ele ficou nervoso e sensível, pela impermeabilização da área a montante, e pela retificação e canalização do seu traçado, ele agora reage rapidamente às chuvas. Suas vazões de enchente crescem rapidamente em relação à situação prévia à época da implantação do loteamento.

Com a área totalmente urbanizada, nota-se uma coisa curiosa. Mesmo nos meses secos há águas correndo pelas galerias pluviais.

Como o loteamento não tem rede de esgoto, os esgotos sanitários correm pelas sarjetas, entram nas bocas de lobo e chegam aos córregos.

Aí se projeta a rede de esgotos sanitários.

A rede de esgotos sanitários encontra, pois, uma situação de fato:

- as ruas já existem e estão pavimentadas;
- já existem galerias pluviais cujo eventual remanejamento seria custoso;
- os fundos de vale, parcialmente ocupados, não deixaram locais fáceis para passagem das canalizações de esgoto.



Não há dúvida de que essa rede de esgotos a implantar será agora muito mais cara que a rede de esgotos que se poderia ter tido ao projetar o loteamento, já com essa melhoria.

E a história continua por aí...

Veja no Anexo E, numa criação do Arq. Angelo Salvador Filardo Jr., a recriação dessa história utilizando uma nova linguagem plástica.