

FACULDADE DE ENGENHARIA E FACULDADE DE ARQUITECTURA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Reposição da Permeabilidade dos Solos

Desafios para o Urbanismo Futuro

Manuel Alexandre Nunes Teixeira

Licenciado em Planeamento Regional e Urbano
pelo Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Dissertação submetida para satisfação parcial dos
requisitos do grau de mestre
em
Planeamento e Projecto do Ambiente Urbano

Dissertação realizada sob a supervisão de
Professor Doutor Paulo Jorge Rodrigues Farinha Marques,
da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Porto, Dezembro de 2005

Resumo

Esta dissertação tem por objectivo, contribuir para uma compreensão abrangente e integrada, dos problemas resultantes do fenómeno da impermeabilização massiva dos solos urbanos e das formas de os resolver. O assunto é deliberadamente tratado de forma alargada, o que, se por um lado limita o aprofundamento do conhecimento técnico de algumas matérias, por outro, eleva esta abordagem do tema, a um patamar maior de pluridisciplinaridade, característica obrigatória a qualquer acção de ordenamento do território. A reflexão construída nesta dissertação vai evidenciar que o problema da impermeabilização dos solos, constitui sobretudo de um problema de planeamento e ordenamento do território, residindo na sua correcta prática, a chave da resolução dos problemas.

A reflexão que sustenta esta evidência, assenta em três vertentes. A primeira, reconhece a dimensão dos problemas resultantes da impermeabilização dos solos e elege as suas duas tipologias maiores: as cheias urbanas e o efeito de ilha de calor urbana. A segunda, desenvolve o conhecimento dos vários métodos e cálculos existentes para se proceder à medição dos problemas encontrados, os quais se tornam fundamentais no dimensionamento das soluções a adoptar. Nesta sequência, são aqui exploradas também, as características das várias soluções existentes, dirigidas quer à prevenção, quer à mitigação dos problemas identificados, bem como a sua forma de actuação cumulativa e combinada. Finalmente, a terceira vertente enfatiza a importância que deve ter o conhecimento das dificuldades de implementação das soluções identificadas. Só com esse conhecimento se torna possível preconizar de forma séria, a introdução efectiva de soluções em grande escala. Para esse efeito, são analisados vários tipos de normativo dos instrumentos de planeamento do território no que respeita às suas preocupações com a questão do controlo da impermeabilização dos solos, desde o nível nacional até ao nível municipal, em Portugal. Com base nas três vertentes acima enunciadas, conclui-se que o problema de impermeabilização dos solos tem uma característica muito particular, a do seu efeito cumulativo sobre o território. Conclui-se em consequência, que devem estar na base das políticas de planeamento e ordenamento do território, princípios de sustentabilidade, onde se evidencia a importância das contribuições individuais para o sucesso de soluções globais.

Abstract

This work aims to be a contribution, for a better including and integrated understanding, of the massive urban ground waterproofing resultant problems, and the forms of solving them. The subject is deliberately dealt in a widened form, what, if on the other hand it limits the deepening technician knowledge of some substances, for another one, raises this subject boarding, to a pluridisciplinarity higher platform, essential characteristic to any territory intervening. The reflection constructed along this work, evidences that the ground waterproofing problem, over all, constitutes an urban planning problem, being its correct practical, the key of the problems resolution. The reflection that supports this evidence, seats in three sources. The first one recognizes the resultant problems dimension of ground waterproofing and elects its two bigger typologies: urban flooding and urban heat island effect. Second, it develops the knowledge of some existing methods and calculations, used to measure the found problems, which become useful in sizing adopting solutions. In this sequence, characteristics of existing solutions are also explored here, as with related prevention, as with related identified problems mitigation, as well, its cumulative and combined actuation form. Finally, the third source emphasizes the importance that must have the knowledge on implementation difficulties of the identified solutions. Only with this knowledge, becomes possible to praise in a serious form, an effective large-scale introduction of solutions. For this effect, some normative types of planning instruments are analyzed, in that it respects to its concerns with the question of the ground waterproofing control, since the national level until the city council level, in Portugal. Based on above enunciated three sources, it's concluded that the ground waterproofing problem has a very peculiar characteristic, its territorial cumulative effect. In consequence, it is also concluded that, on the bases of the urban planning politics, there must be sustainable principles, where the individual contributions are determinant, for the success of global solutions.

Prefácio

" Em 1971, um arquitecto paisagista aparecia na RTP explicando as causas para a catástrofe que ceifara a vida a quase 300 pessoas, quatro anos antes, numa noite diluviana de Novembro. Não era a primeira vez que dissertava sobre este assunto na televisão pública. Meses antes dessa calamidade que transformou as ribeiras dos subúrbios de Lisboa num mar de lama e pedra que soterrou casas, animais, homens, mulheres e crianças, esse técnico já alertara para os riscos de se construir habitações nas zonas baixas, nos leitos de cheia, de alterar as margens e de provocar estrangulamentos e obstáculos à livre passagem das águas das chuvas. Mesmo se a Censura ainda estava em vigor, o tal arquitecto paisagista terminava as suas explicações, com desenhos e esquemas que qualquer criança entenderia, denunciando que a causa para a catástrofe das cheias eram "a falta de planeamento, a inépcia, a ignorância e a incompetência".

Hoje, mais de três décadas depois, as palavras desse arquitecto paisagista, de seu nome Gonçalo Ribeiro Telles, mantêm-se tristemente actuais. Na verdade, as circunstâncias para se repetirem as consequências nefastas de uma grande cheia em Lisboa e nos seus subúrbios até aumentaram, com a intensificação da urbanização, a impermeabilização dos solos e os estrangulamentos dos fluxos de água, quer superficiais e subterrâneos. " (Maré Cheia - Grande Reportagem, Pedro Almeida Vieira, 14/02 2004)

Índice geral

Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Prefácio.....	iv
Índice geral.....	v
Índice de figuras.....	viii
Índice de tabelas.....	x

Capítulo 1

Apresentação.....	1
1 Motivações.....	2
2 Introdução.....	3
3 Objectivos.....	3
4 Metodologia.....	4

Capítulo 2

Impermeabilização dos solos – os problemas físicos.....	5
1 Introdução.....	6
2 Enquadramento.....	7
4 Problemas resultantes da impermeabilidade.....	13
5 Quantificação dos problemas.....	19
6 Tipificação dos problemas.....	24
6.1 <i>As cheias</i>	26
6.2 <i>A ilha de calor urbano</i>	30

Capítulo 3

Formas de medição do problema.....	33
1 Introdução.....	34
2 Medição das Cheias.....	35
2.1 <i>Método racional</i>	38
2.2 <i>Método tempo-área</i>	39
2.3 <i>Noções sobre hidrograma unitário</i>	44
2.4 <i>Hidrograma unitário</i>	46
3 Medição da Ilha de Calor.....	50

Capítulo 4

Mitigação - zonas consolidadas	53
1 Introdução	54
2 Enquadramento	56
3 Modelos	57
3.1 Modelos tradicionais de drenagem	57
3.2 Novos Modelos de drenagem	58
3.2.1 Pavimentos sustentáveis	59
3.2.2 Cobertura dos edifícios	60
3.2.3 Vegetação	64
3.2.4 Bacias de percolação, retenção e detenção	65

Capítulo 5

Planeamento e prevenção – expansões urbanas	68
1 Introdução	69
2 Enquadramento	70
3 Planeamento urbanístico hidrologicamente sustentável	72
3.1 Retenção e detenção na fonte	74
3.2 Medidas de microdrenagem	76
3.3 Medidas de macrodrenagem	79
3.3.1 Reservatórios e barragens	79
3.3.2 Corredores verdes	80
3.3.3 A estrutura ecológica urbana	81
3.3.4 Regras básicas para novas urbanizações	82

Capítulo 6

Normativo do problema da permeabilidade	84
1 Introdução	85
2 Enquadramento	86
3 Ordenamento do território e urbanismo nacionais	87
3.1 Lei geral	88
3.1.1 Reserva Ecológica Nacional	88
3.1.2 Servidões e restrições de utilidade pública	89
3.2 Planos especiais	90
3.3 Planos regionais	90
3.4 Planos de bacia hidrográfica	91
3.5 Planos directores municipais	92
3.6 Planos de urbanização	93
3.7 Planos de pormenor	94
3.8 Loteamentos	95

3.9 Considerações sobre o enquadramento legal nacional.....	96
4 Regulamentos de planos com preocupações de permeabilidade em Portugal	97
4.1 Exemplos em PDM.....	98
4.2 Exemplos em PU.....	101
4.3 Exemplos em PP	102
5 Regulamentos de planos com preocupações de permeabilidade.....	104
5.1 Exemplo de Plano Director de Drenagem Urbana	104
 Capítulo 7	
Conclusões	106
1 Síntese conclusiva	107
 Referências bibliográficas	110
 Anexos	
Reproduções <i>fac simile</i> dos regulamentos de planos usados no capítulo 6	115

Índice de figuras

FIGURA 1. EFEITO DA URBANIZAÇÃO NO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO	7
FIGURA 2. CICLO HIDROLÓGICO	8
FIGURA 3. CICLO URBANO DA ÁGUA	8
FIGURA 4. COMPONENTES DO CICLO URBANO DA ÁGUA.	8
FIGURA 5. INUNDAÇÕES NO MONDEGO	13
FIGURA 6. FREQUÊNCIA DAS GRANDES INUNDAÇÕES NO SÉCULO XX.....	14
FIGURA 7. EVOLUÇÃO DA TAXA DE IMPERMEABILIZAÇÃO	15
FIGURA 8. ÁGUAS PLUVIAIS NAS SUPERFÍCIES URBANAS E RURAIS.	16
FIGURA 9. EFEITO DA ILHA DE CALOR URBANO	17
FIGURA 10. DESVIO DAS TEMPERATURAS ANUAIS DE INVERNO E DE VERÃO.....	23
FIGURA 11. HIDROGRAMA EM FUNÇÃO DA ÁREA URBANIZADA	27
FIGURA 12. RECTIFICAÇÃO DO CURSO DE UMA LINHA DE ÁGUA.	27
FIGURA 13. EVOLUÇÃO TÍPICA DA DRENAGEM URBANA.....	28
FIGURA 14. CARACTERÍSTICAS NOCTURNAS E DIURNAS DE UMA ILHA DE CALOR URBANA	31
FIGURA 15. TIPOS DE CONCENTRAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	36
FIGURA 17. HISTOGRAMA DE PRECIPITAÇÃO TOTAL	42
FIGURA 18. HIDROGRAMA DE CHEIA.....	43
FIGURA 19. HIPÓTESES DE MODELO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO	46
FIGURA 20. HUT DO SCS	47
FIGURA 21. ILHAS DE CALOR EM ATLANTA	50
FIGURA 22. URBANIZAÇÃO EM LEITO DE CHEIA.....	54
FIGURA 23. EXEMPLO DA ESTRUTURA DE 2 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.....	59
FIGURA 24. COLOCAÇÃO VERTICAL DE ELEMENTOS DE DETENÇÃO PLUVIAL	60
FIGURA 25. TELHADO VERDE EM BERLIM	61
FIGURA 26. CONSTITUIÇÃO DE UM TELHADO VERDE	61
FIGURA 27. TELHADO VERDE - ZONA CENTRAL DA CIDADE DE ATLANTA, EUA	61
FIGURA 28. CONCEITO ECOLÓGICO EM PLANO DE ORDENAMENTO.....	62
FIGURA 29. IMPORTÂNCIA DA ÁRVORE EM MEIO URBANO	64
FIGURA 30. BACIA DE PERCOLAÇÃO.....	65
FIGURA 31. BACIA DE RETENÇÃO	65
FIGURA 32. BACIA DE DETENÇÃO	65

FIGURA 33. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UMA ESTRUTURA DE ARMAZENAMENTO.....	66
FIGURA 34. EXEMPLO DE BACIA DE DETENÇÃO NA FONTE	66
FIGURA 35. EXEMPLO DE DETENÇÃO NA FONTE COM FUNÇÕES DE FILTRO.....	67
FIGURA 36. ESQUEMA DE MICRORRESERVATÓRIO NA FONTE (LOTE).....	76
FIGURA 37. RESERVATÓRIO DE AMORTECIMENTO EM SANTO ANDRÉ.....	77
FIGURA 38. RESERVATÓRIO DE AMORTECIMENTO DO LOTEAMENTO	77
FIGURA 39. DELIMITAÇÃO DE CÉLULAS DE ESCOAMENTO EM MEIO URBANO.....	78
FIGURA 40. RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO EM SÃO PAULO	80

Índice de tabelas

TABELA 1. COEFICIENTES DE ESCOAMENTO PARA ZONAS URBANAS.	11
TABELA 2. VALORES DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRECTO - SÃO PAULO	12
TABELA 3. VALORES TÍPICOS DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (C)	12
TABELA 4. FREQUÊNCIA DAS GRANDES INUNDAÇÕES NO MUNDO	14
TABELA 5. VALORES TÍPICOS DE C.....	39
TABELA 6. RELAÇÃO TEMPO-ÁREA PARA A BACIA	41
TABELA 7. INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO TOTAL E EFETIVA	41
TABELA 8. CÁLCULO DO HIDROGRAMA DE CHEIA	43
TABELA 9. HIDROGRAMA UNITÁRIO DO SCS.....	47
TABELA 10. TELHADOS VERDES INTENSIVOS E EXTENSIVOS	63
TABELA 11. PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO I - LOTEAMENTOS.....	95
TABELA 12. PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO II - LOTEAMENTOS	96

Capítulo 1

Apresentação

1 Motivações

Um dos grandes desafios que se coloca hoje à humanidade, é um “desafio urbano”. Já em 1984, segundo a Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento da ONU, se exploravam e anteviam as questões do sobre crescimento urbano: “(...) no fim deste século (XX) cerca de metade da população habitará em cidades; o mundo do século XXI será um mundo essencialmente urbano. Durante apenas 65 anos, a população urbana do mundo em desenvolvimento decuplicou, passando de cerca de 100 milhões em 1920 para mil milhões hoje em dia. Em 1940, um indivíduo em cada cem, habitava numa cidade de 1 milhão ou mais habitantes; em 1980, 10 em cada 100 viviam em cidades desse tipo. Entre 1985 e o ano 2000 as cidades do Terceiro Mundo poderão ver a sua população aumentada em cerca de três quartos de um bilião, o que aponta para a necessidade de, nos próximos anos, o mundo em desenvolvimento aumentar em cerca de 65% a sua capacidade de produzir e gerir infra-estruturas urbanas, serviços e alojamento, de forma a, simplesmente, manter as condições extremamente precárias que se verificam hoje em dia.”

Muitas cidades nos países em vias de desenvolvimento e também nos países ditos desenvolvidos, experimentarão os mesmos fenómenos de crescimento urbano embora em ritmos menos acelerados.

No caso português, assistiu-se a um aumento da população urbana de 40%, entre 1960 e 1981. De acordo com as estimativas da ONU, em 2015, a região de Lisboa e Vale do Tejo vai ter 45,3% do total da população do país, passando de 3.861.000 habitantes para 4.544.000 habitantes.

É nos problemas resultantes do aumento das carências infra-estruturais urbanas relativas à drenagem de águas pluviais que incidirá este trabalho.

As motivações que levam à necessidade de debruçar a atenção de uma tese sobre esta questão particular dos crescimentos urbanos, vem da constatação de que este tipo de infra-estrutura tem tido um tratamento menor relativamente às demais, sobretudo quanto à avaliação das suas repercussões no sistema global. No caso português, esta ausência de importância tem sido uma constante até nas décadas mais recentes, verificando-se até mesmo nos vários Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT's).

2 Introdução

A presente tese desenvolve-se tendo em mente uma visão globalizada que vai ao encontro das respostas às questões de fundo da impermeabilização dos solos, socorrendo-se somente do estudo das questões específicas ou de pormenor quando o seu somatório tenha evidentes reflexos na construção das soluções globais.

O problema aqui é colocado numa base de princípio teórico onde está subjacente o pressuposto de que a resolução do problema deve ter lugar exactamente na área de influência onde é originada. Como tal, para quê saber a fundo sobre todas as especificidades dos materiais e pavimentos nas suas características de permeabilidade e escoamento, quando a questão que se coloca para a resolução dos problemas é muito mais simplista.

A tese procura desenvolver uma abordagem defensora da unidade territorial, como unidade “auto-suficiente” em termos de contenção dos caudais de ponta gerados em meio urbano.

Na linha de raciocínio explorada, entendem-se como unidades territoriais, as unidades operativas de planeamento (UOP's), as áreas objecto de planos municipais de ordenamento do território (PMOT's) de grande escala e ainda as bacias e sub-bacias hidrográficas que lhes servem de suporte.

A tese aplica ainda à questão da permeabilidade dos solos o abrangente conceito do “desenvolvimento sustentável”.

3 Objectivos

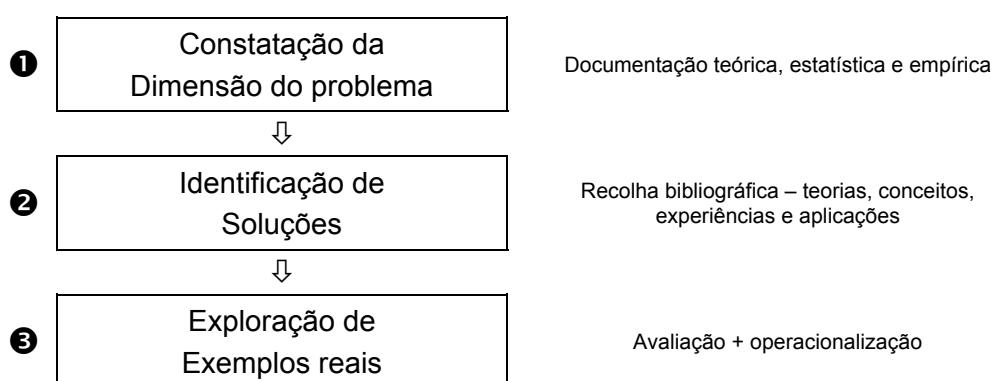
Os objectivos da tese serão, numa primeira fase, conhecer a fundo a dimensão dos problemas associados à impermeabilização dos solos em meio urbano, por onde passa obrigatoriamente a tipificação dos problemas e as suas quantificações.

Numa segunda fase, conhecer todas as formas que existem para minimizar os problemas referidos nas zonas urbanas já consolidadas, bem como conhecer todas as formas que possam ser aplicadas numa acção preventiva, em unidades territoriais ainda por urbanizar ou colmatar.

Como objectivo final, a presente tese integra os conhecimentos explorados nos dois objectivos anteriores e o enquadramento legal e operativo existente, que permite a sua efectiva aplicação.

4 Metodologia

Para atingir os objectivos anteriormente avançados, o processo de pesquisa e investigação assenta em três fases essenciais:



1. A primeira fase centra-se na documentação teórica e empírica (ex. notícias de jornal, *internet*, etc.) relativamente a toda a problemática associada à impermeabilização dos solos não planeada e à inexistência de avaliação, quer das capacidades de carga das bacias hidrográficas quer das repercussões microclimáticas associadas - constatação da dimensão do problema.
2. Recolha bibliográfica – bibliotecas, *internet*, entrevistas, catálogos comerciais de pavimentos, etc. – sobre as teorias, conceitos, experiências e casos-estudo, identificando nas várias formas de intervenções, as particularidades dos sistemas e soluções, bem com as situações em que serão aconselhados para mitigar os problemas, tendo o cuidado de dar relevo a novas tendências emergentes associadas à crescente consciência ambiental.
3. Exploração de vários exemplos de instrumentos de planeamento existentes e das suas componentes integradoras de preocupações de impermeabilização dos solos. Nesta fase final serão procuradas as formas de operacionalizar as soluções técnicas e científicas encontradas na fase 2.

Capítulo 2

Impermeabilização dos solos – os problemas físicos

1 Introdução

Como se evidenciou no capítulo anterior, a presente tese não têm entre os seus objectivos o conhecimento profundo da física e a mecânica dos solos e dos escoamentos, onde a permeabilidade constitui uma das características fundamentais. Contudo esta tese não deixa de abordar a base de sustentação científica e sistemática na explanação dos diversos temas ao longo dos vários capítulos.

Deste modo, torna-se desde logo obrigatório aflorar conceitos, definições e unidades de medida, de forma a enquadrar os desenvolvimentos mais à frente, na dimensão e na linguagem técnica que são próprias a estas matérias.

O presente capítulo, começa exactamente pela descrição dos conceitos e de alguns indicadores de medida do fenómeno da drenagem, para depois os aplicar numa fase de prognóstico onde são identificados os problemas.

Mais adiante é então explorada a fase de diagnóstico onde são tipificados e quantificados os problemas identificados.

Concluindo, o presente capítulo introduz-nos, com a profundidade necessária, à problemática da permeabilidade dos solos não deixando de explanar todas as formas possíveis de abordagem.

Só após adquirido o conhecimento de todos os contornos sobre a problemática em causa, fará sentido avançar para o conhecimento das formas de medir (capítulo 3.) e combater o problema (capítulo 4.).

O ordenamento do território também tem implicações profundas no ciclo hidrológico ou no ciclo natural da água que não têm origem somente na impermeabilização dos solos. Veja-se na figura 2. o processo natural e nas figuras 3 e 4 as interferências introduzidas através dos usos urbanos do solo, (barragens, captações, eliminação da floresta, etc.).

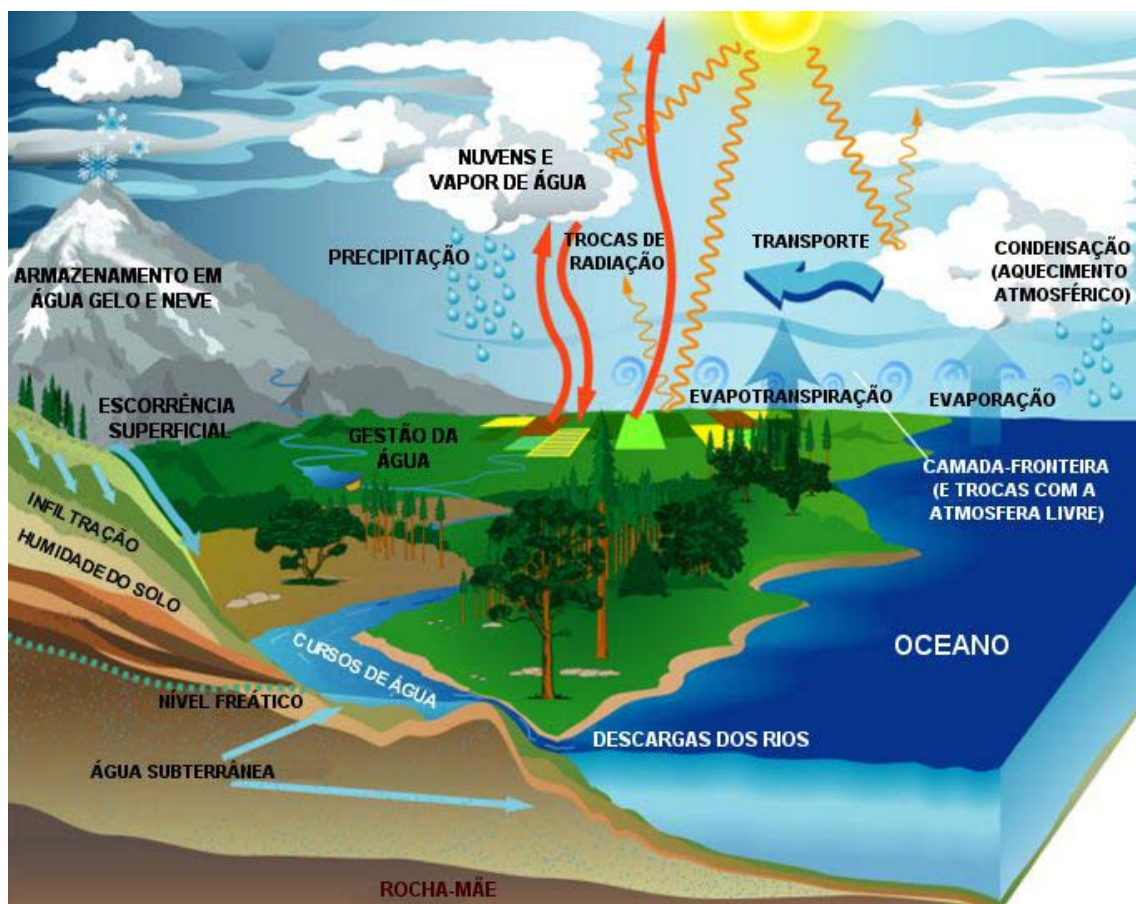


Figura 2. Ciclo hidrológico (adaptado de USGCRP, 2004).

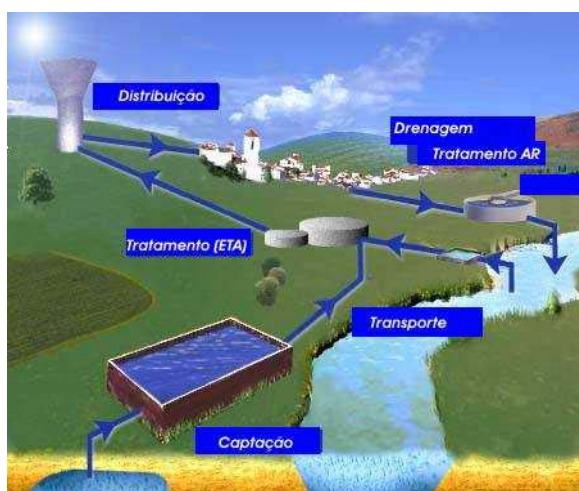


Figura 3. Ciclo urbano da água (Tovar, 2004).



Figura 4. Componentes do ciclo urbano da água (INAG, 2005).

Dadas as implicações maiores que o uso urbano tem nos recursos hídricos, chega-se mesmo a falar em *ciclo urbano da água* (INAG, 2005), tendo a drenagem pluvial e de águas residuais uma importância maior nos custos resultantes de processos de urbanização hidrologicamente desequilibrados.

3 Conceitos

Apesar de abordarmos aqui questões que se prendem com as ciências exactas, não podemos dizer que existe apenas uma única definição para uma mesma propriedade ou comportamento físico ou mecânico. Por conseguinte, as definições abaixo referenciadas resultam de uma selecção, sendo estas as que se julgaram mais consensuais ou que não diferiam significativamente das demais.

Drenagem urbana: escoamento em áreas urbanizadas, geralmente pequenas bacias (a urbanização amplia os caudais devido à canalização e à impermeabilização) (UFMG, 2005).

Inundação ribeirinha: processo natural resultado do aumento da caudal dos rios durante os períodos chuvosos (as inundações podem ser ampliadas ou terem maiores efeitos em função da acção do homem) (UFMG, 2005).

Ilha de calor: porção de espaço urbano em que a temperatura do ar é mais elevada do que a dos arredores rurais próximos (Pinho, 1997).

Permeabilidade (r), “é o teor de água móvel dum material; exprime-se em fracção decimal do volume aparente, num dado instante” (Taveira, 1949).

Porosidade (P), “é a capacidade total em água estável e móvel dum dado maciço filtrante, Mede-se também em fracção decimal do volume total quando completamente saturado de água” (Taveira, 1949).

Grau de humidade máximo (h), “é a capacidade máxima dum material em água estável, expresso como acima, em fracção decimal ” (Taveira, 1949).

A permeabilidade (r) pode assim ser calculada em função da porosidade e do grau de humidade máximo de determinado material:

$$r = P - h$$

O coeficiente de escoamento (C) é a razão entre o escoamento superficial e a precipitação numa determinada área (Taveira, 1949).

A permeabilidade é inversamente proporcional ao coeficiente de escoamento sendo os valores deste último coeficiente aproximadamente conhecidos para diversas zonas tipo, em meio urbano.

Como se pode observar nas tabelas abaixo apresentadas, existem valores padrão para cada tipo de uso do solo nas zonas urbanas mais ou menos consensuais - no que respeita ao coeficientes de escoamento médios -, podendo este valores ser usados para calcular os efeitos aproximados esperados para a impermeabilização dos solos de determinada zona.

Tabela 1. Coeficientes de Escoamento para Zonas Urbanas (Taveira, 1949).

Designação das zonas			Coeficiente de escoamento	
			mínimo	máximo
Zonas Comerciais	Áreas Centrais das Cidades		0,70	0,95
	Áreas nos Subúrbios		0,50	0,70
Zonas Residenciais	Moradias Unifamiliares		0,30	0,50
	Blocos isolados		0,40	0,60
	Blocos em banda		0,60	0,80
	Áreas suburbanas		0,25	0,40
	Apartamentos em áreas residenciais		0,50	0,70
Zonas Verdes	Parques e jardins		0,10	0,25
Zonas Especiais	Terrenos e jogos		0,20	0,35
	Caminhos-de-ferro		0,20	0,40
	Áreas não Edificadas	Terrenos permeáveis	0,10	0,25
		Terrenos impermeáveis	0,20	0,45
	Auto-estradas e zonas portuárias		0,60	0,90
Zonas Industriais			0,40	0,60

Tabela 2. Valores do coeficiente de escoamento superficial directo - São Paulo (Wilken, 1978).

ZONAS	C
Edificação muito densa: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 - 0,95
Edificação não muito densa: Partes adjacente ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 - 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 - 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 - 0,50
Subúrbios com alguma edificação: Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10 - 0,25
Matas, parques e campos de esporte: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05 - 0,20

Tabela 3. Valores típicos do coeficiente de escoamento (C) (Ponce, 1989).

Descrição da área de drenagem		Valores típicos de C
Residenciais	Unifamiliares	0,30 - 0,50
	Edifícios com área verde contígua	0,60 - 0,75
	Áreas residenciais com ocupação densa	0,70 - 0,95
	Áreas residenciais suburbanas	0,25 - 0,40
Áreas comerciais densamente ocupadas		0,80 - 0,95
Industriais	Densas	0,60 - 0,90
	Pouco densas	0,50 - 0,80
Vias em asfalto ou concreto		0,70 - 0,95
Vias com pavimento tipo paralelepípedo		0,70 - 0,85
Áreas de estacionamento pavimentadas		0,80 - 0,95
Áreas verdes e parques		0,10 - 0,25
Cemitérios		0,10 - 0,80
Áreas desocupadas		0,10 - 0,60

4 Problemas resultantes da impermeabilidade

Os problemas mais evidentes, resultantes do fenómeno de impermeabilidade dos solos em grande escala, estão frequentemente associados às cheias e inundações, sobretudo por os danos daí resultantes, terem grande expressão socio-económica, em termos imediatos.



Figura 5. Inundações no Mondego, Montemor-o-Velho (Correia, 2001).

As inundações aumentam continuamente em todos os países da Terra. A cada ano elas têm surgido com ímpeto redobrado, acarretando a destruição de cidades e vilas, perdas agrícolas, doenças e mortes (Júnior, 2004).

Apesar das mudanças climáticas globais - amplamente conhecidas - que estão em curso e do ritmo de ocupação de zonas naturais de leito de cheia a que se vem assistindo nas últimas décadas, os fenómenos artificiais resultantes da impermeabilização em massa dos solos urbanos e resultantes da desflorestação envolvente, vieram agudizar em muito a dimensão das inundações (Júnior, 2004).

De acordo com dados do World Almanac, em todo o século XIX foram registadas três grandes inundações, onde pereceram cerca de 938 mil pessoas. No século XX, até Agosto de 1996, haviam ocorrido 82 grandes inundações em diversos pontos do globo, as quais mataram aproximadamente 4 milhões e 72 mil pessoas. Um exemplo localizado é o rio Mississipi, nos Estados Unidos, que ocasionou apenas uma grande inundação em todo o século XIX (em 1844); no século XX, esse mesmo rio provocou oito grandes inundações

(até 1993). A tabela a seguir mostra o número de grandes inundações por década no século XX (World Almanac Books 1995,1996,1997).

Tabela 4. Frequência das grandes inundações no mundo

(World Almanac Books - 1995,1996,1997).

Década	Número de Inundações
1900 a 1909	2
1910 a 1919	3
1920 a 1929	2
1930 a 1939	3
1940 a 1949	2
1950 a 1959	6
1960 a 1969	16
1970 a 1979	18
1980 a 1989	15
1990 a 1996	26

Observe-se o extraordinário aumento do número dessas inundações nas últimas décadas do século passado. Nos primeiros 40 anos (1900 a 1939) houve 10 grandes inundações. Nos 40 anos seguintes (de 1940 a 1979) houve 41 grandes inundações. Se transformarmos os dados da tabela acima num gráfico de barras, teremos uma visão clara da mudança de patamar do número de inundações por década durante o século XX:

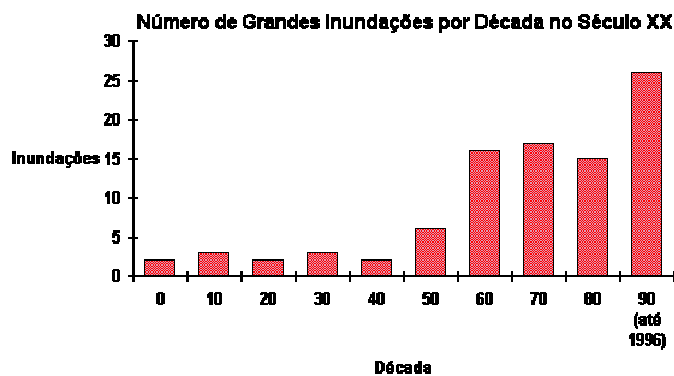


Figura 6. Frequência das Grandes Inundações no Século XX

(World Almanac Books, 1995,1996,1997).

Perante a evidência demonstrada no gráfico, torna-se claro que as preocupações em torno da impermeabilização dos solos e da eliminação do coberto vegetal original, já não podem ser tão ténues como há algumas décadas atrás.

Sublinhe-se que a alteração de coberto vegetal original, pode ser considerado uma forma de impermeabilização do solo, seja a alteração resultante de causas naturais (fogos florestais, etc.) ou humanas (alteração de culturas florestais e agrícolas em grande escala, expansão urbana e alteração de usos do solo, etc.)

Não menos importantes, existem outros problemas resultantes da impermeabilização do solo, consistindo estes nas consequências negativas provenientes da seca dos lençóis freáticos, conduzindo ao aumento dos encargos relacionados com a rega dos parques e jardins e ainda com as infra-estruturas relacionadas com o escoamento pluvial.

Estas consequências podem mesmo atingir proporções idênticas às das cheias, quando analisado o seu efeito cumulativo em grandes cidades e áreas metropolitanas

Veja-se na figura abaixo, como a ocupação urbana tradicional pode transformar taxas naturais de infiltração pluvial superficial de 25% para 10% e infiltração pluvial em profundidade de 25% para 5%, traduzindo-se numa alteração global de 50% para 15% de taxa de infiltração.

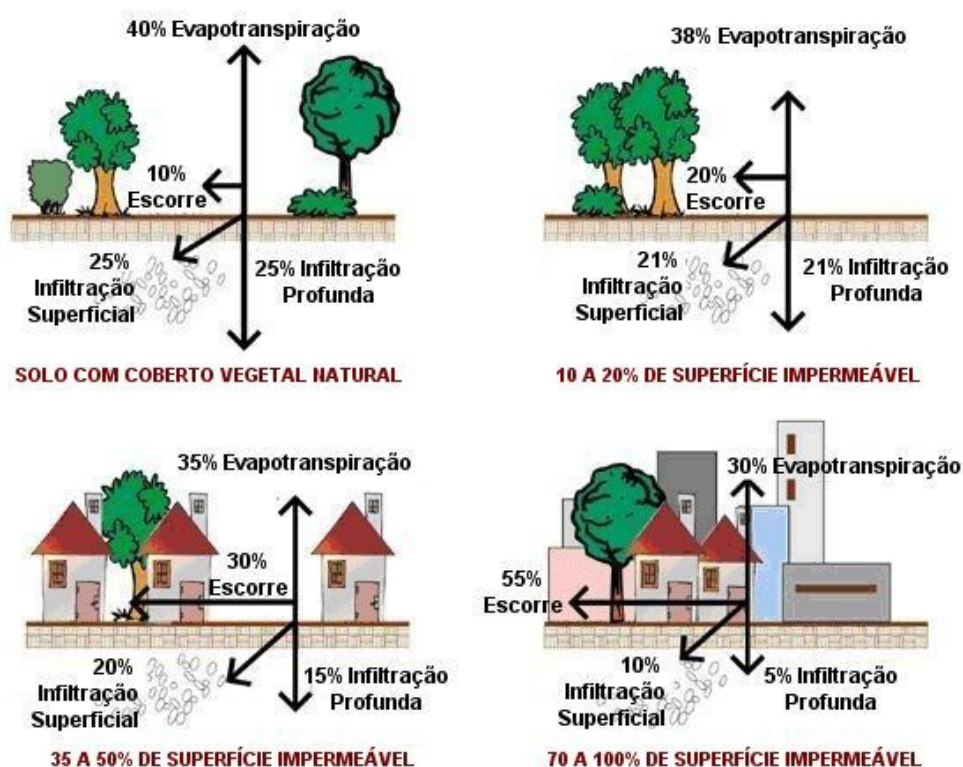


Figura 7. Evolução da taxa de impermeabilização, à medida que o uso do solo se altera (adaptado de MMSD,2005).

Problemas indirectos ainda podem surgir associados à incapacidade de abastecimento dos lençóis freáticos existentes, tais como a seca de poços e fontes, obrigando a adopção de soluções alternativas de rega dos espaços verdes, as quais são mais onerosas, ora por obrigarem ao recurso de fonte de água de proveniências distantes, ora por a água geralmente utilizada ser a do abastecimento geral a qual já foi alvo de caros processos de tratamento e depuração.

A figura abaixo é bem representativa de como a infiltração é mínima em meio eminentemente urbano, traduzindo-se numa incapacidade clara em abastecer lençóis freáticos que possam servir como recurso hídrico na cidade, sobretudo vocacionado para a rega dos parques e jardins.

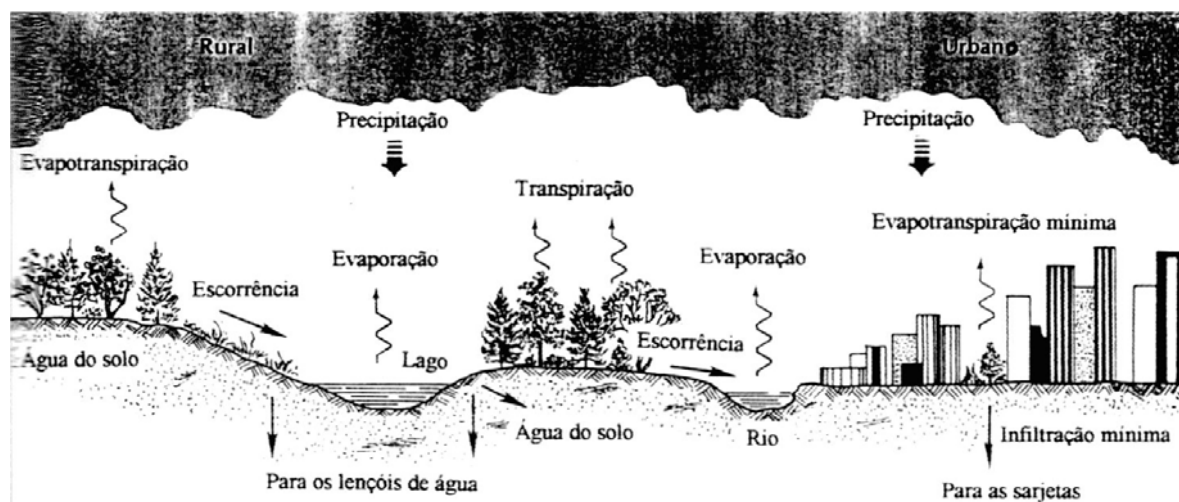


Figura 8. Águas pluviais nas superfícies urbanas e rurais (Hidore, 1993).

Por fim, referenciam-se consequências negativas relativas às alterações microclimáticas provocadas pela redução da humidade relativa no meio urbano e consequente aumento da amplitude térmica diária, reduzindo o conforto térmico urbano, uma vez que associada à impermeabilização dos solos se encontra a redução do coberto vegetal.

A acentuação da amplitude térmica referida, contribui para o efeito de ilha de calor urbana, de que as grandes cidades já padecem, em resultado da distorção do balanço energético das áreas urbanas, seja ele devido ao comportamento térmico dos materiais

usados no revestimento de edifícios, ruas e espaços envolventes, seja ele devido às alterações que os traçados urbanos e os usos do solo introduzem na propagação do calor (Gómez, 1985).

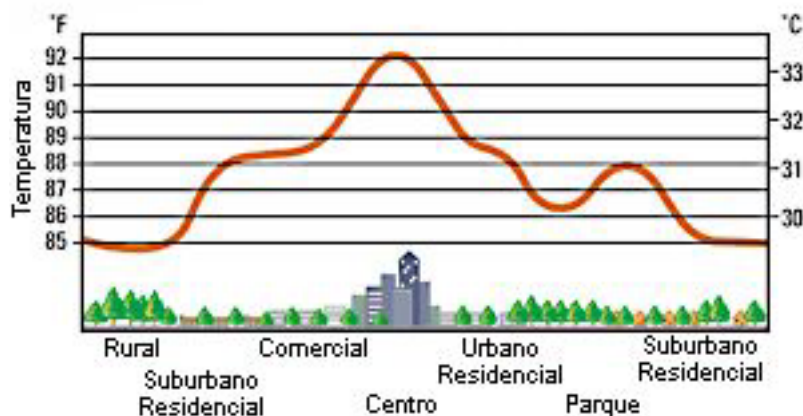


Figura 9. Efeito da Ilha de calor urbano

(US Environmental Protection Agency, 2005).

Os efeitos relativos às alterações microclimáticas, são mais dificilmente mensuráveis, visto os seus efeitos serem cumulativos e graduais ao longo do tempo. Contudo, é inegável a grande expressão socio-económica que estes efeitos têm, onde se destacam os problemas de saúde pública associados.

Quando rompidas as condições de conforto térmico humano, produz-se um mal estar que se denomina de “stress bioclimático” e que em casos extremos pode chegar ao choque térmico, à doença e, se não se corrigir, inclusivamente à morte (Gómez, 1985).

A variação da mortalidade e morbilidade com os factores climáticos é devida, principalmente, a doenças que são potenciadas pelo frio ou pelo calor como as doenças cardiovasculares e respiratórias em geral, e em particular as doenças arterioescleróticas do coração, os enfartes de miocárdio, as lesões vasculares afectando o sistema nervoso central, as doenças respiratórias crónicas e até mesmo casos de cancro, diabetes, acidentes e homicídios (Driscoll, 1985).

O centro de controle e prevenção da doença dos Estados Unidos (Center for Disease Control and Prevention - CDC) também afirma que o tempo extremamente quente pode causar doença – incluindo afectações psicológicas e danos em órgãos - e mesmo na morte. Vagas de calor ou os aumentos abruptos e dramáticos da temperatura, são particularmente perigosos e podem resultar nas taxas de mortalidade acima da média. O CDC diz ainda que o calor excessivo reivindica em cada ano, mais vidas nos Estados

Unidos do que furacões, relâmpago, tornados, inundações, e terremotos combinados (US Environmental Protection Agency, 2005).

Contam-se ainda entre os problemas, os danos causados pela poluição.

Além da impermeabilização dos solos causar problemas de escorrência massiva e de erosão, o rápido escoamento urbano de uma torrente de água é portador de muitos poluentes tóxicos e orgânicos, em direcção às linhas de água naturais.

Fertilizantes, lixo doméstico dos quintais, sucatas, óleos de motores e outros líquidos que escapam dos veículos automóveis, são descarregados directamente nas linhas de água pela acção da escorrência.

Estas substâncias tóxicas e a matéria orgânica dissolvida ou em suspensão - como o fósforo e o azoto – poluem as linhas de água e ameaçam os seres que nelas vivem.

Portanto, e em síntese, podem enumeram-se da seguinte forma os problemas resultantes da impermeabilização excessiva dos solos urbanos e da eliminação de coberto vegetal original:

1. Aumento da probabilidade de inundações nas zonas a jusante e seus danos directos (perda de vidas e bens).
2. Erosão (em consequência das inundações).
3. Poluição das linhas de água (pelo efeito concentrado da lavagem repentina dos solos impermeabilizados).
4. Perda de habitats naturais (flora, microfauna, macroinvertebrados, etc.).
5. Afectação da alimentação natural dos aquíferos.
6. Aumento dos custos de infra-estruturação relativos à drenagem pluvial e à rega.
7. Aumento do efeito de ilha de calor urbana e todas as consequências daí resultantes.

5 Quantificação dos problemas

É extremamente importante olhar para os exemplos práticos e clarividentes, para se ter a noção da dimensão dos problemas que se encontram em questão, quando falamos sobre a questão da impermeabilização exaustiva dos solos, da eliminação do coberto vegetal original e a ocupação urbana em zonas de risco de cheia. Todos estes factores contribuem para potenciar os efeitos uns dos outros, dando origem a casos por vezes dramáticos que importa aqui mencionar.

Descriminam-se assim, abaixo, alguns relatos de acontecimentos reais que têm uma forte relação com as questões do ordenamento do território hidrologicamente desequilibrado. São problemas de inundações e de desconforto térmico relacionados com o fenómeno em estudo, as quais permitem afastar qualquer hipótese de minoração da importância do tratamento desta matéria com a seriedade e profundidade científicas a que deve ser remetida.

- “As cheias extremas são o tipo de catástrofe natural mais comum na Europa. Prevê-se que as alterações climáticas, incluindo a crescente intensidade das chuvadas fortes, venham a tornar ainda mais frequente a ocorrência de cheias fluviais extremas em certas regiões, em especial no centro, norte e nordeste da Europa.” (AEA, 2005)
- “Mau tempo volta a fustigar o Norte e o Centro do País. Rio transbordou e invadiu casas e lojas. O sucedido fez recordar o panorama calamitoso de há dois anos. Antiga ponte ruiu no concelho de Águeda. Dando forma a um cenário muito próximo do registado há dois anos, quando conheceu as maiores cheias de sempre, a zona histórica da cidade de Águeda, no distrito de Aveiro, voltou ontem a ser inundada. Por efeito da chuva intensa as águas do rio Águeda invadiram residências e estabelecimentos comerciais. Um pouco mais longe, mas ainda dentro dos limites do concelho, o mau tempo fez ruir uma ponte. A área mais marginal ao rio está novamente inundada, resumia, a meio da tarde de ontem, o presidente da câmara. Foi tudo muito rápido, em praticamente duas horas, e temos algumas casas com uma altura de água superior a 1,5 metros, explicava Castro Azevedo. (...) Até ao final da tarde de ontem, o Centro de Coordenação de Socorros (CCS) de Aveiro tinha registado a ocorrência de algumas inundações nas zonas de Anadia, Mealhada, Pampilhosa, Oliveira do Bairro e Vagos.” (Público, 03/01/2003)

- “(...) durante as cheias de 1967 registou-se em Lisboa uma pluviosidade de cerca de 100 milímetros no espaço de 24 horas, um valor que entretanto apenas foi excedido por mais duas vezes. No primeiro caso, em Novembro de 1983, Cascais ficou completamente inundada e mais tarde, em Janeiro de 1997, repetiu-se a situação um pouco por toda a região de Lisboa. Contudo, esses são casos bastante extremados, pois as inundações são o pão-nosso de cada dia; de dias de chuva mais intensa, está visto. “Quando existe uma chuva mais forte em Lisboa e sobretudo se a maré está cheia surge o caos”, salienta Fernando Curto, presidente da Associação Portuguesa dos Bombeiros Profissionais, que acrescenta “haverá sempre grandes dificuldades se surgir um caso idêntico a 1967”. Para este responsável, a principal culpa está na falta de cultura de planeamento e de prevenção, o que potencia os danos. (...) Atendendo aos dados meteorológicos de Lisboa, nos anos 80 verificaram-se 65 ocorrências com pluviosidade superior a 9 milímetros, na década de 90 registaram-se 85 situações e na actual década já ultrapassaram as duas dezenas. É certo que não se repetiu, felizmente, casos tão graves como em 1967, mas todos estão recordados do pandemónio dos dias em que estradas e casas são inundadas, causando prejuízos avultados.”. (Maré Cheia - Grande Reportagem, 14/02 2004)
- “Em Agosto de 1950, 489 pessoas morreram afogadas e 10 milhões ficaram desabrigadas em decorrência do transbordo dos rios Hwai e Yang Tse, na China; cerca de 890 mil habitações foram destruídas e mais de dois milhões de hectares de terras cultivadas ficaram alagados.
- Em Setembro de 1978, 1.300 pessoas morreram afogadas em Bengala em consequências de inundações, e 15 milhões, do total de 40 milhões de habitantes do país, ficaram desabrigados.
- As enchentes que se abateram sobre a China em Julho de 1994 atingiram 13 de suas 30 províncias, afectando de uma maneira ou de outra 134 milhões de pessoas, muitas das quais ainda não se haviam recuperado das enchentes de 1991. Cerca de 83 mil chineses perderam tudo que possuíam.
- Em 1995 as inundações voltaram a castigar a China, desta vez com ímpeto redobrado. De 15 de Maio a 30 de Junho o país experimentou as seis maiores tempestades já registadas em seu território, as quais afectaram 22 das suas províncias. A precipitação média no período foi de 700 mm, com um nível recorde de 1.720 mm. Numa determinada região choveu 340 mm em quatro

horas... As inundações numa das províncias foram as piores desde 1888. Nas oito províncias mais afectadas morreram 1.450 pessoas, cerca de dois milhões de casas foram destruídas, outras 6,5 milhões sofreram danos e 7,5 milhões de hectares de terras agrícolas foram destruídos. Em Julho havia duas mil aldeias submersas.

- Ainda em 1995, na Coreia do Norte, as chuvas torrenciais que caíram entre os meses de Julho e Setembro – as mais intensa em décadas – transformaram as terras aráveis do país em campos de lama e detritos, destruíram 19 mil casas, 4 mil pontes e mataram meio milhão de animais, dando início a um período de fome que iria matar centenas de milhares de coreanos nos anos seguintes (uma estimativa de 1998 falava em dois milhões de mortos).
- Em 1996, segundo dados oficiais, as inundações chinesas mataram 3.048 pessoas e feriram 363.800, repetindo-se as cenas de destruição dos anos anteriores, porém em escala aumentada. Em 2 de Julho, o rio Yang-Tse estava 33,18 metros acima do nível normal, correspondendo a 4,68 metros acima do "nível de perigo". Centenas de vilas e cidades ficaram submersas. Só na província de Hunan registrou-se 12 mil pontes derrubadas, 8 mil km de linhas de transmissão e 5 mil km de linhas telefónicas destruídas, 130 mil hectares de terra cultivada submersos e cerca de 1,5 milhão de casas arrasadas. Segundo o Word Disasters Report, a duração das chuvas, a área inundada e a magnitude dos danos fizeram de 1996 o pior ano de inundações em toda a história da China. O ano trouxe ainda as piores enchentes em Sumatra desde 1950, na África do Sul desde 1938, no noroeste dos Estados Unidos desde 1930, na Roménia desde 1925 e em Jacarta desde 1920.
- Em Fevereiro de 1997, dois povoados do Peru desapareceram sob uma capa de lodo, em consequência de um gigantesco deslizamento de terra provocado por chuvas torrenciais, sepultando de uma só vez aproximadamente 300 pessoas. Naquele mês, Portugal e Espanha experimentaram as chuvas mais fortes já registradas em todos os tempos, enquanto que o Vietname era atingido pela pior tempestade desde 1904. Em Julho, o sul da Polónia ficou submerso; especialistas da Universidade de Wroclaw afirmaram que desde a Idade Média não ocorriam inundações daquele tipo no país. Em Agosto, no Paquistão, 140 pessoas morreram na pior inundação dos últimos cem anos. No final do ano, a Somália contabilizava perto de duas mil mortes e 800 mil desabrigados, em

decorrência de inundações sem precedentes no país. O ano de 1997 foi também o mais chuvoso em Hong Kong desde 1884. “ (Júnior, 2004)

- Entre 1979-1998, estima-se que 7.421 mortes resultaram da exposição ao calor excessivo nos E. U.. Em 1995, uma onda de calor em Chicago ilustra bem a razão pela qual as vagas de calor e o efeito de ilha de calor urbano são preocupação actual. Este episódio de tempo raramente quente resultou na morte de 700 pessoas (EPA, 2005).
- “Embora não se conheçam ainda dados conclusivos, o número de mortes relacionadas com a vaga de calor que recentemente (2003) assolou o nosso país é preocupante. Dados de França, indicam que, nesse país, o número de mortos decorrentes desta anormal alteração climática deverá ultrapassar os 10.000. Este facto levou um representante do Instituto de Meteorologia a relembrar a vaga de calor de 1981, que originou um total de 1900 óbitos, tornando-a assim a maior catástrofe natural em Portugal, desde o terramoto de 1755, e a necessidade de prevenção. O Sistema ICARO (Importância do calor - repercussão sobre os óbitos), criado em 1999 e desenvolvido pelo Observatório Nacional de Saúde e pelo Instituto de Meteorologia permite determinar as ondas de calor e os seus efeitos na mortalidade das populações. Para além das mortes directas, as ondas de calor também têm as suas consequências em termos de morbilidade, com o aparecimento ou agravamentos de patologias, essencialmente em idosos” (APS, 2003).
- “O calor já fez com que o director-geral de Saúde de França, Lucien Abenhaim, tivesse apresentado, na segunda-feira, a demissão ao ministro da tutela, Jean-François Mattei, "devido às actuais polémicas pelo número de mortes associado à onda de calor". Já na altura, Mattei considerava como "plausível" o número de 5 mil mortos devido à onda de calor e questionou os sistemas de alerta e de informação transmitidos à população. O ministro evocou ondas de calor anteriores, indicando que se registaram 3 mil mortos em 1976 e 3.244 em 1983, mas afirmou que estes números só foram conhecidos muito tempo depois. Nos últimos 15 dias, a França registou uma onda de calor quase sem precedentes, com temperaturas atingindo ou ultrapassando os 40°C” (Lico, 2003).
- “Nos últimos 100 anos e, em especial nas últimas décadas (figura 10.) a Europa registou aumentos de temperatura consideráveis. O ano mais quente da Europa foi o de 2000, sendo os sete anos mais quentes sido registados nos últimos 14 anos. Calcula-se que a vaga de calor que se fez sentir em quase toda a Europa

em Agosto de 2003, considerando o mês de Agosto o mais quente do hemisfério norte, tenha custado a vida a 35.000 pessoas.” (AEA, 2005)



Figura 10. Desvio das temperaturas anuais de Inverno e de Verão na Europa entre 1850 e 2000 (AEA, 2005 - CRU, 2003).

Como se pôde observar, a grandeza da dimensão dos problemas relacionados com as cheias e as vagas de calor é inquestionável. Estes problemas serão logicamente minimizados se atentar cada vez mais a um planeamento urbanístico hidrologicamente sustentável. O reforço desta atitude no planeamento torna-se ainda maior se olharmos ao facto de estes acontecimentos (cheias e vagas de calor) se encontrarem a seguir uma tendência crescente cujo ritmo se prevê vir a acentuar a prazo.

6 Tipificação dos problemas

Para analisar os problemas de forma sistematizada, é sempre vantajoso proceder à tipificação dos problemas para depois adequar cada solução ao contexto do tipo de problema a enfrentar.

Começemos assim pela evidência de que as ruas, os telhados, as entradas de automóveis e o solo comprimido, não permitem que a água se infiltre para o solo e subsolo através do filtro natural que constitui a terra, até ao nível freático. Ao contrário, a chuva escorre pelas superfícies não ficando retida, causando situações de erosão bem como situações de transporte de quantidades crescentes de sedimentos para os rios, lagos e zonas húmidas baixas. Esta situação, combinada com a água bombeada do subsolo para servir à comunidade, resulta na diminuição dos níveis de reserva dos aquíferos e das zonas húmidas e ainda na redução dos níveis de qualidade da água nas nascentes, linhas de água e lagos, por a alimentação dos aquíferos ser diminuta. (Jim Beal, 2001)

A escorrência em excesso dá origem às inundações, as quais podem ter lugar em zonas de génese geomorfológica bastante distinta. Quanto a esta característica, podemos dividi-las fundamentalmente em dois tipos: as que ocorrem em zonas naturalmente alagáveis e que nem deviam constituir um problema, e as que ocorrem em zonas onde as cheias constituem “novidade”.

Definiremos, umas como cheias naturais e outras como cheias artificiais para melhor tipificação do tema em estudo.

As cheias naturais acontecem em função dos períodos de retorno mais ou menos alargados e são passíveis de alguma previsibilidade, pois têm uma ocorrência temporal cíclica e limites de máxima cheia relativamente bem conhecidos.

Os problemas resultantes das cheias naturais são tanto maiores quanto maior for a ocupação humana dentro dos tradicionais limites dos leitos de cheia da respectiva bacia hidrográfica, com destaque para os usos instalados incompatíveis com esta periodicidade de retorno.

As inundações que ocorrem em zonas onde naturalmente não ocorriam cheias, resultam maioritariamente de causas artificiais, as quais podem ter uma expressão de grande escala, se tiverem a abrangência de uma grande bacia hidrográfica.

Geralmente, cheias destas a que denominámos artificiais, estão associadas a alterações a montante, do coberto vegetal com grande abrangência territorial, ora pela

substituição de espécies florestais autóctones ora pela ocorrência de incêndios ora pela impermeabilização dos solos pela urbanização massiva, à escala metropolitana ou regional.

Em antagonia aos problemas apontados, que ocorrem em períodos de pluviosidade elevada, temos os problemas que ocorrem nos longos períodos de ausência de pluviosidade e que resultam também do processo da impermeabilidade dos solos – são eles os problemas associados às alterações do microclima urbanos e à acentuação do fenómeno da ilha de calor urbano.

Em conclusão, identificam-se assim duas tipologias maiores de problemas associados à impermeabilização dos solos:

- um relacionado com as cheias;
- e o outro relacionado com as alterações microclimáticas.

Em ambas as situações, o problema tem que ser estudado em grande escala, dados ambas apresentarem uma relação directa com o efeito cumulativo na dimensão da área espacial associada.

É sobre a impermeabilização massiva dos solos que vai incidir o aprofundamento dos próximos parágrafos, dado que por os seus efeitos terem pouca visibilidade à escala local não se dá a importância necessária, esquecendo-se assim que depois a sua soma tem efeitos arrasadores no risco de perdas de vidas e bens e ainda na qualidade de vida das populações.

O processo de urbanização traz consigo a impermeabilização do solo e o drástico aumento dos coeficientes de escoamento do solo. Se o aumento destes não constitui problema localmente ou mesmo ao nível de uma unidade de vizinhança, como já se disse, este aumento passa a constituir problema quando somado a tantas outras unidades de vizinhança existentes à escala de uma cidade, área metropolitana, ou grande bacia hidrográfica.

6.1 As cheias

O problema das cheias constitui, de facto, uma tipologia maior de problemas associados à impermeabilização dos solos, dado que constitui a problemática cujas consequências têm maior visibilidade aos olhos da população em geral e dos decisores políticos.

As cheias propriamente ditas encerram um conjunto de questões diversas que interessa também aqui explanar. Assim, associadas ao problema das cheias resultantes da impermeabilização dos solos encontramos (UFMG, 2005):

- Uso do sistema de drenagem para esgotos domésticos e industriais, substituindo os processos de infiltração natural;
- Ocupação de leitos de cheia pela população, depois de largos períodos (anos) sem ocorrência de grandes cheias;
- Aumento da produção e transporte de sedimentos;
- As áreas mais atingidas são geralmente carenciadas e com populações pobres;
- Inexistência de tradição no planeamento de medidas preventivas para áreas afectadas por inundações;
- Concepção antiquada dos projectos de drenagem.

Sendo os seus maiores impactos resultantes ao nível de (UFMG, 2005):

- Bacias de pequena dimensão, onde se concentra a área impermeabilizada;
- Aumento do pico e antecipação da ocorrência;
- Aumento do volume do escoamento superficial;
- Diminuição da evaporação e da recarga subterrânea;
- Aumento da poluição de origem pluvial;
- Aumento da produção de sedimentos;
- Aumento dos custos das infra-estruturas de drenagem.

O gráfico apresentado abaixo reproduz de forma esclarecedora o comportamento de aumento dos caudais de escorrência superficial conducentes a fenómenos de cheia urbana.

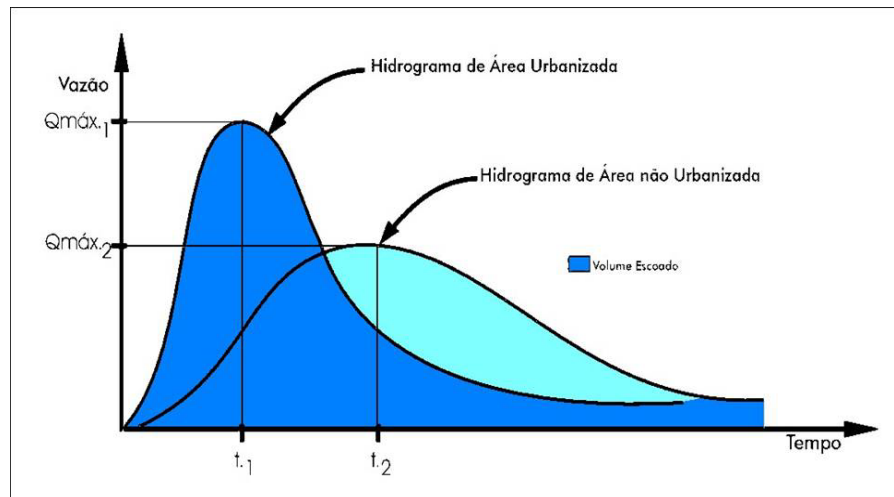


Figura 11. Hidrograma em função da área urbanizada (UFMG, 2005).

Aplicando o hidrograma anterior a uma situação conceptual de alteração do percurso da linha de água, podemos verificar a relação entre a alteração do hidrograma e diminuição da capacidade de abrandamento da velocidade de escoamento verificado.

Veja-se então abaixo, na situação inicial temos um curso irregular e com meandros o qual com o tempo e após várias obras de rectificação do curso de água que culmina numa situação tipo canal rectilíneo. É evidente a alteração do comportamento do hidrograma a jusante com o aumento do volume de água escoado e com a diminuição do tempo em que ocorrem os caudais máximos de drenagem.

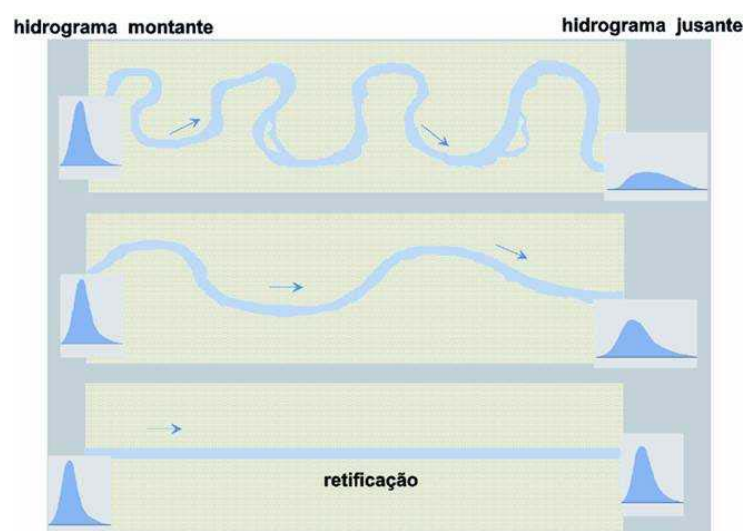


Figura 12. Rectificação do curso de uma linha de água (SEMADS, 2001).

Verifica-se assim que todo o processo de ocupação do solo que passe pela canalização de linhas de água sem que haja uma devida análise de impactos a jusante, se converte facilmente num processo de transferência de inundações de um ponto para outro mais a jusante. A figura abaixo ilustra exactamente esse efeito de inundação para jusante.

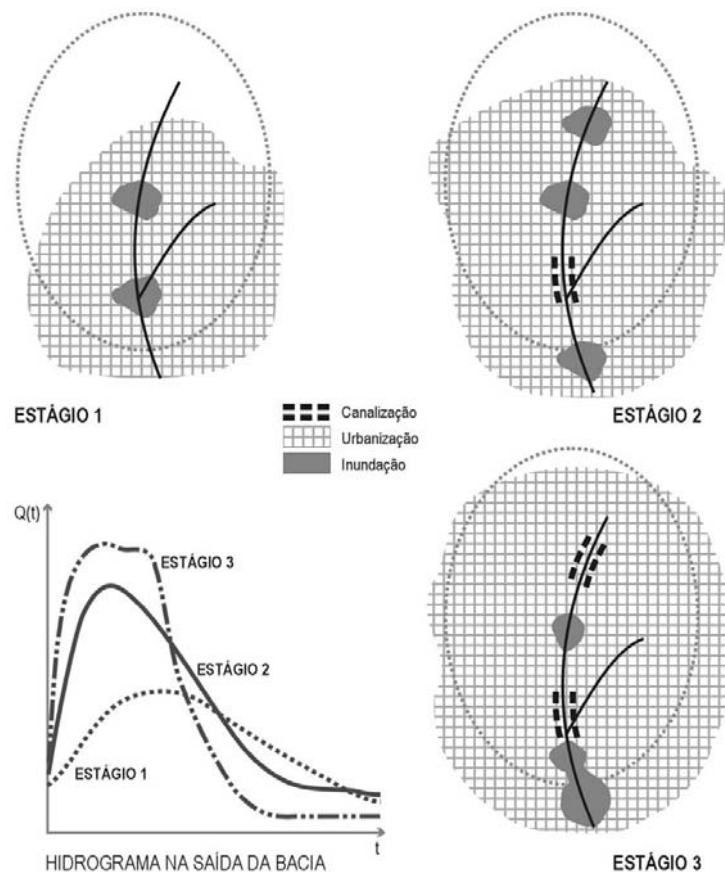


Figura 13. Evolução típica da drenagem urbana (UFMG, 2005).

Em conclusão temos que:

Se um novo processo de ocupação do solo com usos urbanos ocorrer a jusante de bacias urbanizadas, a nova área urbanizada corre o risco de poder vir a sofrer inundações.

Se esse processo se verificar a montante, então este poderá causar inundações a jusante.

Se dentro da nova área alvo do processo de urbanização existem pequenas bacias localmente, então a nova urbanização pode vir a registar problemas dentro dos seus próprios limites.

Conclui-se também que a contribuir para a dimensão do problema, encontram-se as actuais políticas de ordenamento que estão perfeitamente enraizadas e generalizadas, as quais se baseiam na canalização do escoamento, apenas se preocupando em transferir as inundações para jusante. Encontra-se subjacente a essa prática, a ideia de que: “a melhor drenagem é a que escoo o mais rapidamente possível a precipitação” (UFMG, 2005). Contudo a verdade é que este tipo de políticas conduz a dois tipos de perdas: custo mais alto das infra-estruturas e maiores inundações.

6.2 A ilha de calor urbano

O problema da alteração microclimática urbana constitui a segunda tipologia maior de problemas associados à impermeabilização dos solos, não pela sua visibilidade aos olhos da população em geral e dos decisores políticos, mas sim pela abrangência dos dimensão dos seus impactos que se estendem desde a economia urbana até à saúde pública.

A alteração do microclima urbano, tal como nas cheias, também encerra um conjunto de questões diversas que interessa aqui explicar. Assim, associadas ao problema alteração do microclima urbano, resultantes da impermeabilização dos solos encontramos:

- O efeito de ilha de calor urbana;
- Aumento da amplitude térmica urbana;
- Aumento do consumo energético em arrefecimento e aquecimento urbano;
- Aumento do desconforto térmico para o ser humano;
- Consequências na saúde pública;
- Aumento dos custos para manter a salubridade e o conforto humano nos edifícios e nos espaços exteriores.

O efeito de ilha de calor urbana constitui a questão maior, sendo as restantes um consequência directa da sua existência.

O termo do "ilha de calor" caracteriza-se pelo comportamento térmico local onde se verifica que os valores das temperaturas do ar urbano e da superfície são muito mais elevados do que nas áreas rurais envolventes.

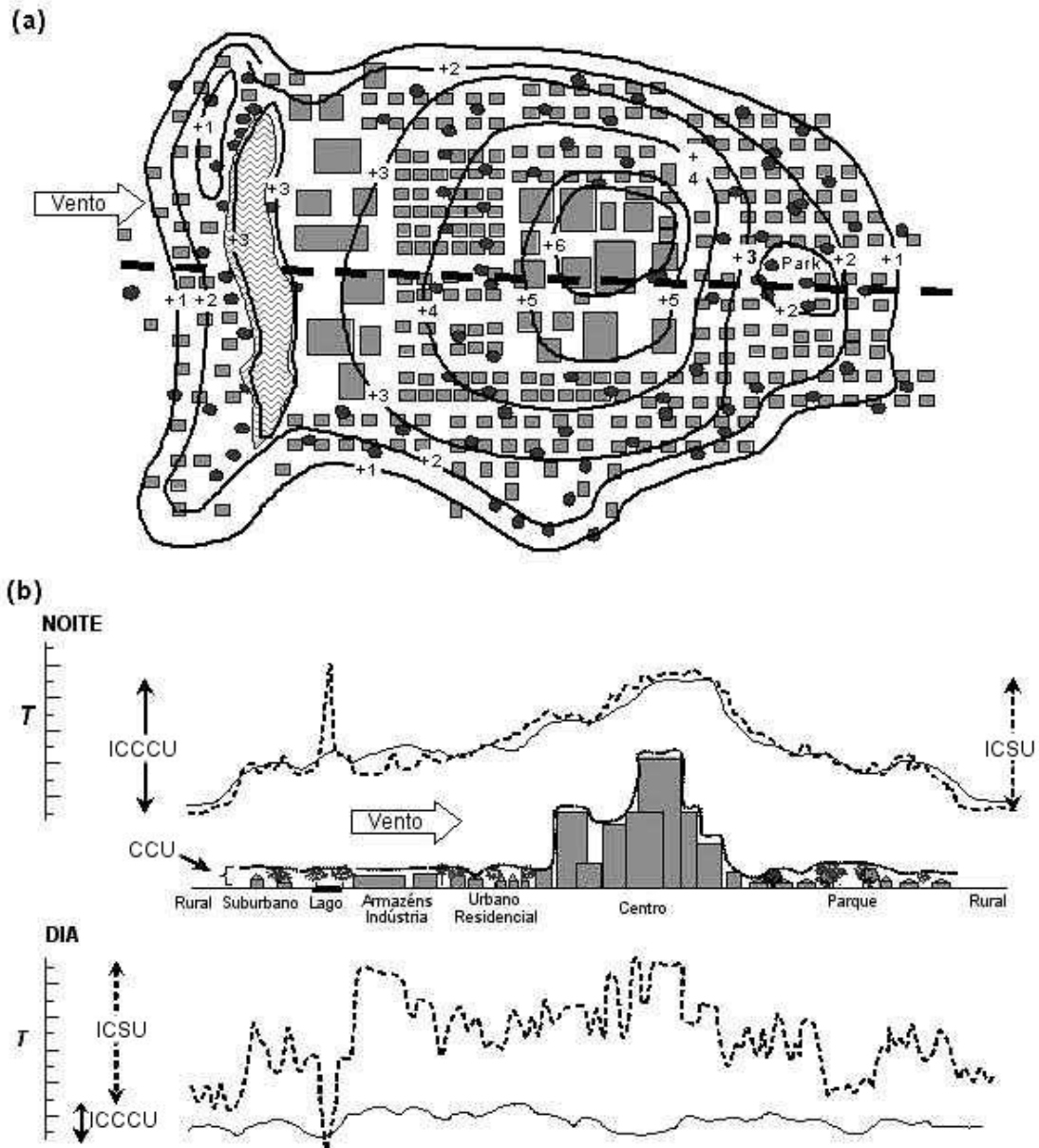
Muitas cidades e subúrbios dos Estados Unidos têm temperaturas de ar até 6°C superiores às temperaturas do ar registadas nas zonas verdes envolventes (EPA, 2005).

O esquema de ilha de calor, que se mostra abaixo, clarifica o perfil de uma ilha de calor numa cidade e suas características nocturnas e diurnas.

Aí está representado como as temperaturas urbanas são tipicamente mais baixas na faixa urbano-rural do que em áreas centrais e densas. O gráfico mostra também como os parques, o "open space", e os corpos de água podem criar umas áreas mais frescas.

Aí também se indica a intensidade da ilha de calor, a qual representa a medida da força ou do valor da ilha de calor, através de linhas isotérmicas. Durante a noite, a intensidade da ilha de calor na camada das copas das árvores está tipicamente na escala

de 1° a 3°C, mas sob condições favoráveis, intensidades até de 12°C foram registadas (Oke, T.R., 1997).



a) Vista em planta, do padrão espacial da temperatura do ar nocturno, a qual é representada pelo perfil da ilha de calor da camada de *coberto* urbano (ICCCU). b) Secções onde se procedeu a medições da temperatura do ar dentro da camada de *coberto* urbano (CCU) e temperaturas de superfície (ex. observadas por sensor remoto) sobre condições óptimas para ocorrência de ilha de calor, durante a noite e o dia. ICSU representa a ilha de calor de superfície urbana.

Figura 14. Características nocturnas e diurnas de uma ilha de calor urbana

(adaptado de Voogt, 2004).

As ilhas de calor surgem à medida que as cidades substituem o coberto vegetal natural dos solos, com o pavimento, edifícios e outras infra-estruturas. Estas mudanças contribuem para elevar a temperaturas urbanas nas seguintes formas:

- O arranque de árvores e vegetação minimiza os efeitos de refrigeração natural através da sombra e da evaporação de água do solo e das folhas (evapotranspiração);
- Os edifícios altos e as ruas estreitas podem reduzir a capacidade de circulação de ar e podem aquecer o ar aí retido;
- O calor libertado pelos veículos, fábricas, aparelhos de ar condicionado, pode adicionar calor à sua envolvente, exacerbando adicionalmente o efeito de ilha de calor.

Logicamente, a intensidade de uma ilha de calor urbano depende de outros factores como o a topografia, o clima e a proximidade a rios, albufeiras e ao mar. Apesar de no Inverno algumas cidades em climas frios poderem beneficiar do efeito de ilha de calor, por aquecer alguns graus o gélido ambiente envolvente, esses benefícios não compensam os prejuízos sentidos no Verão. No Verão os efeitos experimentados serão: aumento significativo de necessidades de ar condicionado, poluição de ar, emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa, contribuição para o aquecimento global, doença e mortalidade resultantes da redução do conforto térmico. Em geral, os impactos prejudiciais das ilhas de calor durante o Verão são maiores que os benefícios no Inverno, e a maioria de estratégias da redução do efeito de ilha de calor podem reduzir os malefícios no Verão sem eliminar benefícios no Inverno (EPA, 2005).

Capítulo 3

Formas de medição do problema

1 Introdução

Como se viu no capítulo 2., foram descritos os problemas resultantes da impermeabilização dos solos, tendo sido identificadas duas tipologias maiores de problemas as quais têm em comum a grande dimensão que os seus impactos podem atingir, economicamente ou na saúde pública – cheias e ilha de calor urbana.

Para comprovar a dimensão dos seus impactos, formam transcritos relatos dos média, os quais apontam para números aos quais não conseguimos ficar indiferentes.

Dado que estes problemas têm impactos tão elevados na nossa sociedade, era quase obrigatório tomar conhecimento, na presente tese, das formas que existem para medir o problema de determinada zona. Qualquer processo de medição é altamente importante pois permite: numa primeira linha tomar-se conhecimento da ordem de grandeza de um problema; numa segunda linha permite estabelecer ordens de grandeza relativa e estabelecer programas de monitorização; e numa linha final, permite com base nas medições dimensionar medidas de controlo e combate às causas do problema.

As próximas páginas do presente capítulo vão falar-nos de como poderemos medir os dois grandes tipos de problemas seleccionados – as cheias e a ilha de calor urbano.

2 Medição das Cheias

Para se partir para a medição da concentração dos escoamentos numa bacia hidrográfica é necessário estabelecer dois pressupostos (Ponce, 1989):

- Assumir a ocorrência de uma precipitação de longa duração, intensidade constante e distribuição uniforme sobre a superfície de uma bacia hidrográfica;
- Assumir também, a precipitação efectiva decorrente como uniforme em toda bacia hidrográfica, ou seja, a altura de precipitação efectiva é a mesma em toda a superfície da bacia hidrográfica.

Em consequência, o escoamento superficial fará com que os caudais à saída da bacia aumentem gradualmente.

Decorrido um certo tempo, mesmo os escoamentos gerados nas superfícies mais distantes contribuem para a formação desses caudais à saída da bacia.

Nesse momento, o caudal máximo causada pelo evento de precipitação é atingida e um estado de equilíbrio é alcançado, implicando que (Ponce, 1989):

- O escoamento superficial concentrou-se à saída da bacia;
- A taxa de água deixando o sistema da bacia hidrográfica, por escoamento superficial (caudal à saída), iguala-se à taxa de água que entra no sistema na forma de precipitação efectiva (intensidade de precipitação efectiva).

O tempo necessário ao alcance do equilíbrio de escoamento superficial, no contexto descrito, é conhecido como tempo de concentração.

O caudal de equilíbrio é calculado por:

$$Q_p = 0,278 I_e A \quad (\text{Eq. 1})$$

sendo:

Q_p : Caudal máximo, ou caudal de equilíbrio ou caudal de pico [m^3/s]

I_e : intensidade de precipitação efectiva [mm/h]

A : área da bacia hidrográfica [km^2].

Existem três tipos distintos de concentração de escoamento superficial podem ter lugar quando (Ponce, 1989):

- A duração da chuva efectiva é exactamente igual ao tempo de concentração da bacia (Fig. 15A);
- A duração da chuva efectiva é superior ao tempo de concentração da bacia (Fig. 15B) ;
- A duração da chuva efectiva é inferior ao tempo de concentração da bacia (Fig. 15C).

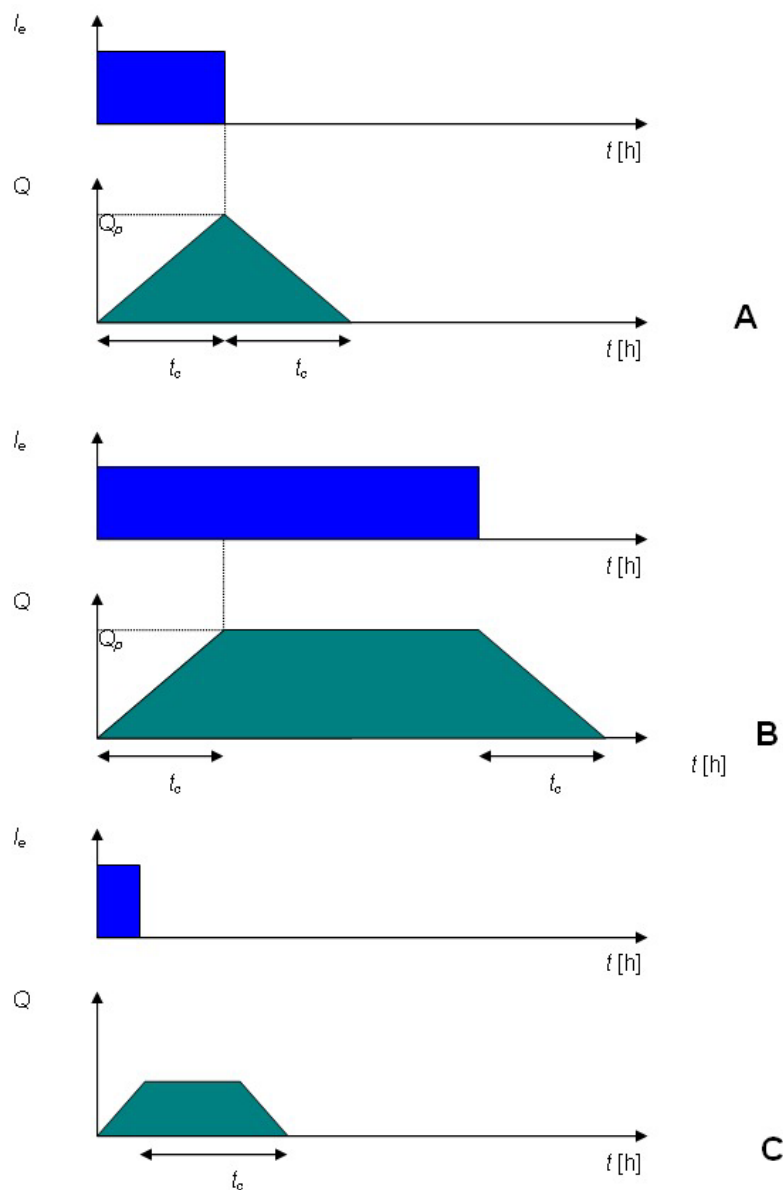


Figura 15. Tipos de concentração de escoamento superficial (Ponce, 1989).

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica, particularmente no caso de pequenas bacias urbanas, constitui um parâmetro importante para a estimativa de caudais de cheia. A maioria das equações disponíveis é empírica. Alguns exemplos são listados a seguir (Ponce, 1989):

- Fórmula de Kirpich:

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (\text{Eq. 2})$$

sendo:

t_c : tempo de concentração [min]

L : comprimento total da bacia, medido ao longo do talvegue principal até o divisor de águas [km]

ΔH : diferença de nível entre o ponto mais a montante da bacia e seu exutório, em [m].

- Fórmula de Ventura

$$t_c = 76,3 \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{I}} \quad (\text{Eq. 3})$$

sendo:

A : área da bacia hidrográfica [km²]

I : declividade média da bacia hidrográfica $I = 100 \cdot \frac{\Delta H}{L}$ [%].

- Fórmula de Passini

$$t_c = 64,8 \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{I}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Método Cinemático do Soil Conservation Service (SCS)

$$t_c = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \quad (\text{Eq. 5})$$

sendo,

t_c : tempo de concentração [s]

L_i : comprimento de um trecho i do talvegue principal [m]

V_i : velocidade do escoamento no trecho i de comprimento L_i [m/s].

Nesse caso, o talvegue principal é dividido em n trechos. Para cada trecho é estimada a velocidade de escoamento em calha cheia. Nos casos de talvegues dispostos de calhas bem definidas ou de canalizações, adopta-se a equação de Manning, em regime de escoamento uniforme para a estimativa da velocidade (Ponce, 1989).

2.1 Método racional

O método racional é dos mais conhecidos e antigos modelos para o cálculo do caudal de pico à saída de uma bacia hidrográfica. Aplica-se a pequenas bacias hidrográficas, ou seja, às que se adaptam aos seguintes critérios (Ponce, 1989):

- Assumpção de distribuição uniforme da precipitação, no tempo e no espaço;
- Duração da precipitação usualmente excede o tempo de concentração da bacia;
- Há predomínio de escoamento superficial, como é o caso em áreas urbanizadas;
- Efeitos de armazenamento superficial, durante o escoamento, são desprezíveis.

A equação geral do método racional é semelhante à Eq. 1:

$$Q_p = 0,278.C.I_{t,T}.A \quad (\text{Eq. 6})$$

sendo,

Q_p : caudal de pico [m^3/s]

C : coeficiente de escoamento

$I_{t,T}$: intensidade média da chuva para uma duração t e um tempo de retorno T [mm/h]

A : área da bacia hidrográfica [km^2].

C é, sobretudo função do tipo de uso do solo, podendo-se igualmente fazer intervir em seu cálculo outras variáveis tais como o tipo de solo, os declives da bacia hidrográfica, a intensidade da precipitação, o tempo de retorno na precipitação (Ponce, 1989).

A tabela abaixo, relaciona alguns valores típicos adoptados para C em áreas urbanas.

Tabela 5. Valores Típicos de C (Ponce, 1989).

Descrição da área de drenagem		Valores típicos de C
Residenciais	unifamiliares	0,30-0,50
	edifícios com área verde contigua	0,60-0,75
	áreas residenciais com ocupação densa	0,70-0,95
	áreas residenciais suburbanas	0,25-0,40
Áreas comerciais densamente ocupadas		0,80-0,95
Industriais	densas	0,60-0,90
	pouco densas	0,50-0,80
Vias asfaltadas ou concretadas		0,70-0,95
Vias com calçamento tipo paralelepípedo		0,70-0,85
Áreas de estacionamento pavimentadas		0,80-0,95
Áreas verdes e parques		0,10-0,25
Cemitérios		0,10-0,80
Áreas desocupadas		0,10-0,60

A intensidade da precipitação é obtida directamente por meio de equações de chuvas intensas, do tipo IDF, para a duração do evento feita igual ao tempo de concentração da bacia e segundo o tempo de retorno adoptado em projecto (Ponce, 1989).

2.2 Método tempo-área

O método racional não se aplica a bacias hidrográficas com áreas de drenagem superiores a 1 km². Bacias hidrográficas urbanas, com áreas de drenagem superiores a 1 km² e inferiores a 200 km², são usualmente adaptadas aos seguintes critérios de classificação, aplicáveis a bacias ditas médias (Ponce, 1989):

- Assumpção de distribuição uniforme da precipitação no espaço;
- Intensidade da precipitação variável no tempo;

- Duração da precipitação usualmente excede o tempo de concentração da bacia;
- Escoamento em redes de cursos de água e canais torna-se relevante;
- Efeitos de armazenamento superficial, durante o escoamento, são desprezíveis.

O método tempo-área é uma extensão do método racional podendo, entretanto, considerar variações de intensidade da precipitação ao longo do tempo e maior diversidade de uso do solo na bacia hidrográfica.

Esse método baseia-se no estabelecimento de uma função relacionando áreas de contribuição na bacia ao tempo necessário para que essas áreas contribuam à formação de caudais à saída da bacia.

Considere-se, a título de exemplo, uma bacia de forma triangular como a ilustrada pela Figura 16.

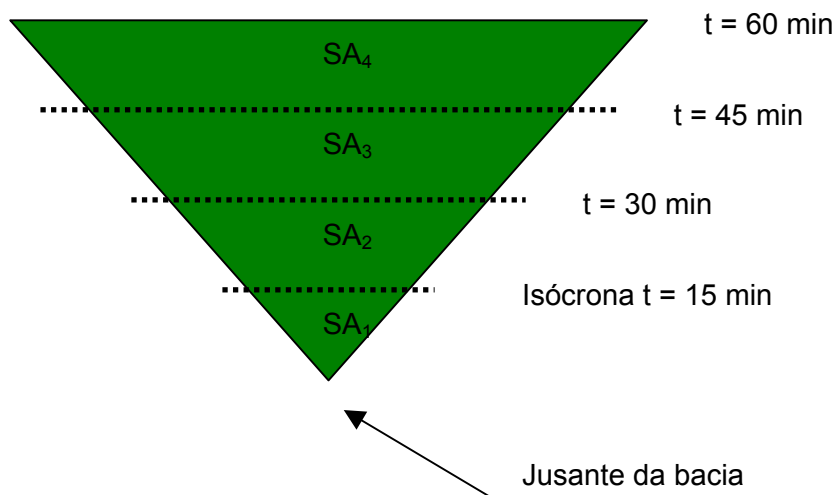


Figura 15.

(Ponce, 1989).

Na Figura 2 são identificadas as sub-áreas de contribuição (SA_1 , SA_2 , SA_3 e SA_4) e as linhas isócronas, com os respectivos tempos de contribuição dos escoamentos à saída (jusante) da bacia.

O tempo de concentração da bacia é de 60 minutos e sua área de drenagem total é de 12 km².

A Tabela 6 contém a relação tempo-área para essa bacia, enquanto a Figura 17 e a Tabela 7 trazem, respectivamente, o histograma e os valores de precipitação total e efectiva de um evento para o qual se deseja calcular o hidrograma de cheia resultante.

A precipitação efectiva foi calculada considerando-se um valor de coeficiente de escoamento uniforme e igual a 0,8 ($C = 0,8$) em toda a bacia.

Tabela 6. Relação tempo-área para a bacia exemplificada por meio da Figura 2 (Ponce, 1989).

Sub-área	A_{SA}	t
	[km ²]	[min]
SA ₁	0,75	15
SA ₂	2,25	30
SA ₃	3,75	45
SA ₄	5,25	60
Total	12,00	60

Tabela 7. Intensidades de precipitação total e efetiva (Ponce, 1989).

Bloco	t	I	I _e
	[min]	[mm/h]	[mm/h]
1	15	10	8
2	30	20	16
3	45	15	12
4	60	10	8
5	75	5	4
6	90	2,5	2

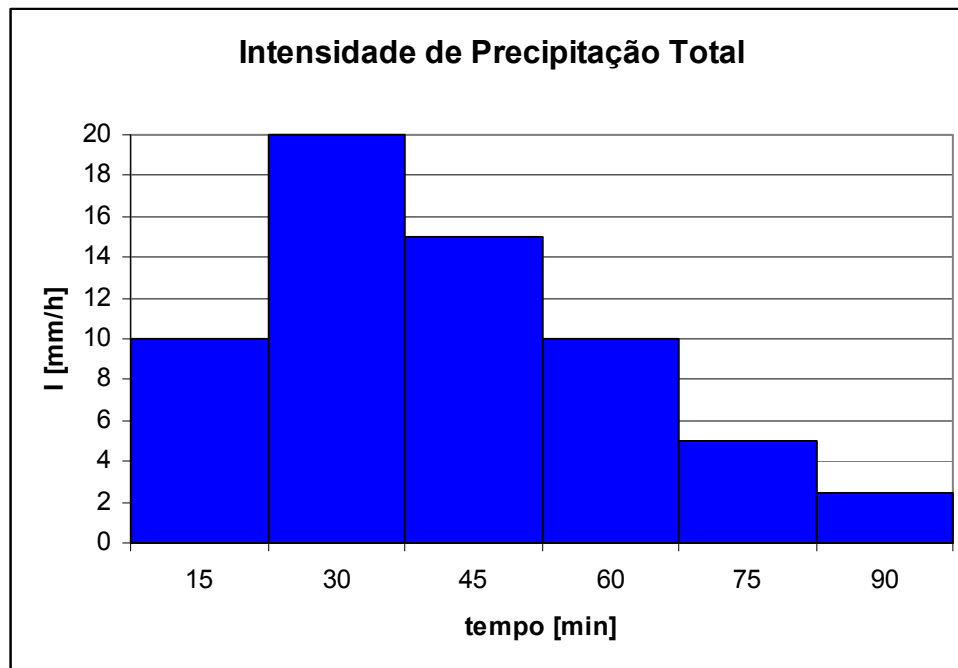


Figura 16. Histograma de precipitação total (Ponce, 1989).

No primeiro intervalo de tempo, o bloco 1 de precipitação atinge toda a bacia, mas apenas o escoamento superficial proveniente da sub-área SA1 se concentra à saída da bacia.

O caudal resultante é calculada por (Ponce, 1989):

$$Q_1 = 0,278.C.I_1.A_{SA1} = 0,278 * 0,8 * 10 [mm/h] * 0,75 [km^2] = 1,67 \text{ m}^3/\text{s}.$$

No segundo intervalo de tempo, o escoamento superficial proveniente da sub-área SA2 decorrente do bloco 1 de precipitação concentra-se à saída da bacia.

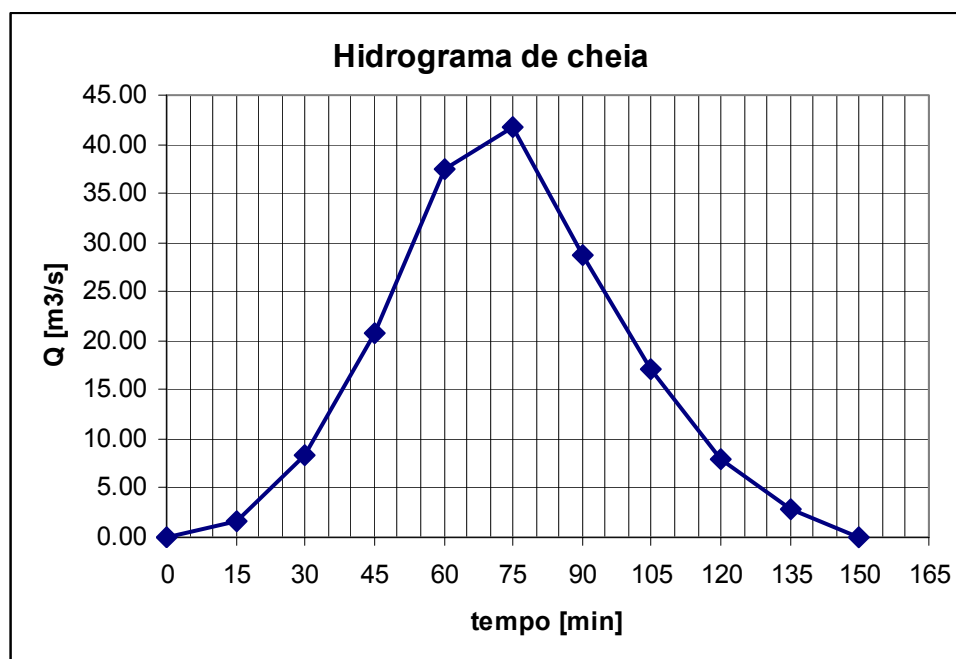
A essa contribuição soma-se o escoamento superficial proveniente da sub-área SA1 decorrente do bloco 2 de precipitação, resultando em (Ponce, 1989):

$$Q_1 = 0,278.C.(I_2.A_{SA1} + I_1.A_{SA2}) = 0,278 * 0,8(20 * 0,75 + 5 * 2,25) = 8,34 \text{ m}^3/\text{s}.$$

A Tabela 8 ilustra o procedimento completo de cálculo. A Figura 18 contém o hidrograma de cheia resultante.

Tabela 8. Cálculo do hidrograma de cheia (Ponce,1989).

t [min]	Contribuições de escoamento segundo o bloco de precipitação						Q = □ [m ³ /s]
	10 mm/h	20 Mm/h	15 mm/h	10 mm/h	5 mm/h	2,5 mm/h	
0							0,00
15	1,67						1,67
30	5,00	3,34					8,34
45	8,34	10,01	2,50				20,85
60	11,68	16,68	7,51	1,67			37,53
75		23,35	12,51	5,00	0,83		41,70
90			17,51	8,34	2,50	0,42	28,77
105				11,68	4,17	1,25	17,10
120					5,84	2,09	7,92
135						2,92	2,92
150							0,00

**Figura 17. Hidrograma de cheia** (Ponce,1989).

2.3 Noções sobre hidrograma unitário

O modelo do hidrograma unitário (HU) foi proposto por Sherman em 1932. É definido como o hidrograma resultante de uma precipitação efectiva de altura igual a 1 mm, uniformemente distribuída no espaço, com intensidade constante no tempo, com duração característica τ e que atinge toda a bacia hidrográfica. Originalmente, Sherman denomina esse hidrograma de unitário em razão da duração característica τ (Wiesnes, 1984).

Verifica-se a tendência de se interpretar o termo unitário por referência a uma lâmina de escoamento superficial de 1 mm, usualmente empregada para se construir um hidrograma unitário. A escolha da lâmina de 1 mm prende-se a razões práticas de emprego do modelo. Como será visto em seguida, nada impede de se construir um hidrograma com características de HU e com lâmina de escoamento superficial de, por exemplo, 2,7 mm (Wiesnes, 1984).

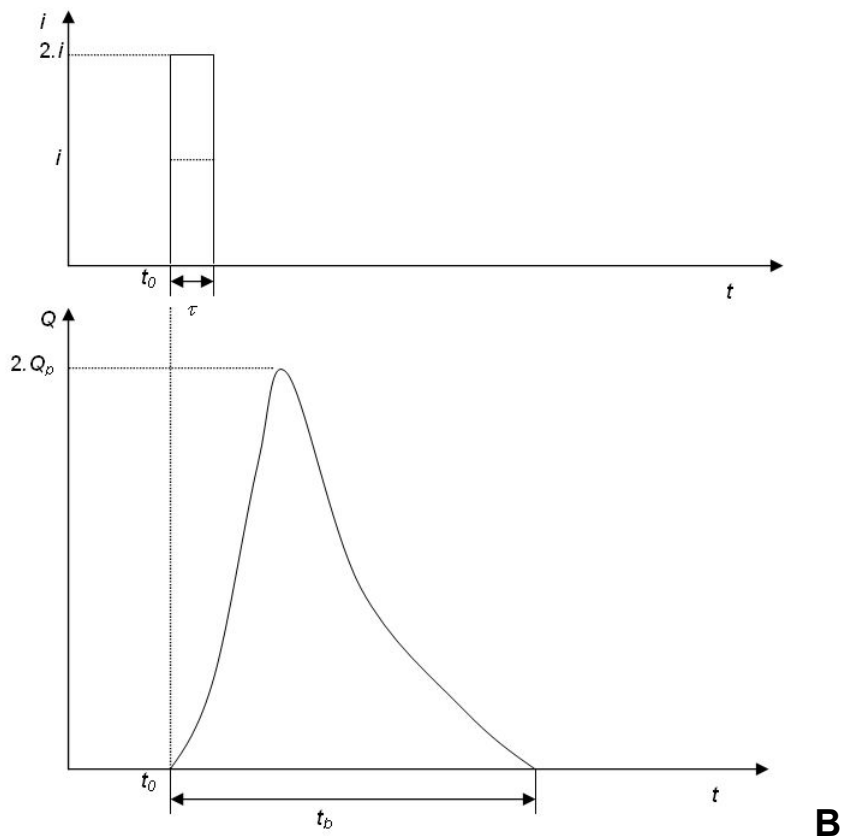
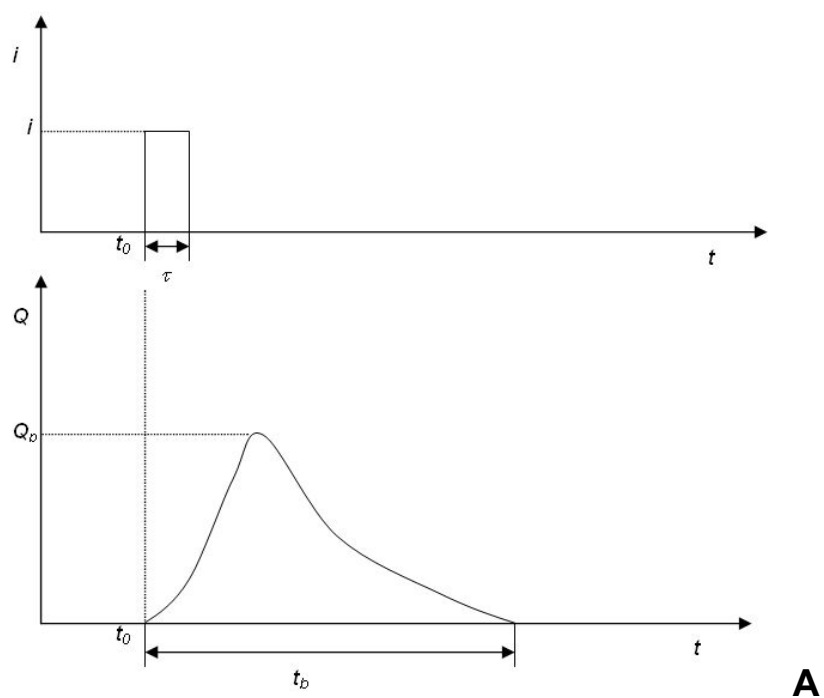
As hipóteses subjacentes ao modelo do hidrograma unitário relativas à precipitação são as seguintes (Ponce, 1989):

- A precipitação efectiva que produz um hidrograma de cheia com característica de HU, possui intensidade constante no tempo.
- Essa precipitação é uniformemente distribuída em toda a bacia hidrográfica e, portanto, gera escoamento superficial generalizado.

As hipóteses subjacentes ao modelo do hidrograma unitário relativas ao próprio HU (Ponce, 1989):

- Hipótese de invariância no tempo: O hidrograma de escoamento superficial resultante da ocorrência de uma precipitação efectiva como a descrita acima (precipitação de duração unitária τ) reflecte o conjunto das características morfológicas, de tipo e uso do solo da bacia.
- Os tempos característicos do hidrograma unitário (tempo de subida, tempo de recessão e tempo de base) são sempre constantes.
- Hipótese de linearidade: as ordenadas do hidrograma unitário são directamente proporcionais à altura de precipitação de duração unitária.

As hipóteses adoptadas pelo modelo do HU podem ser representadas por meio da Figura 19.



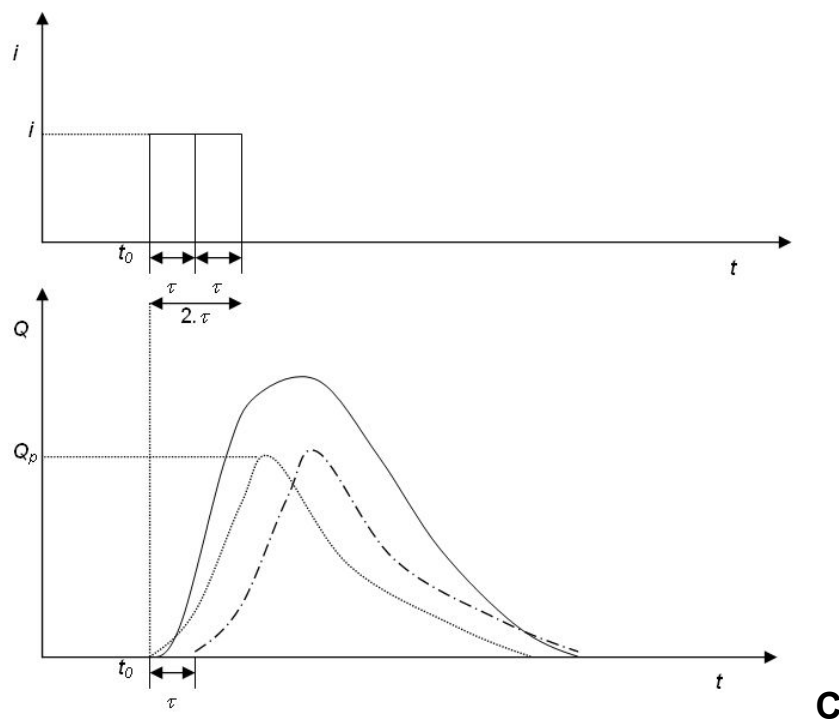


Figura 18. Hipóteses de modelo do hidrograma unitário.

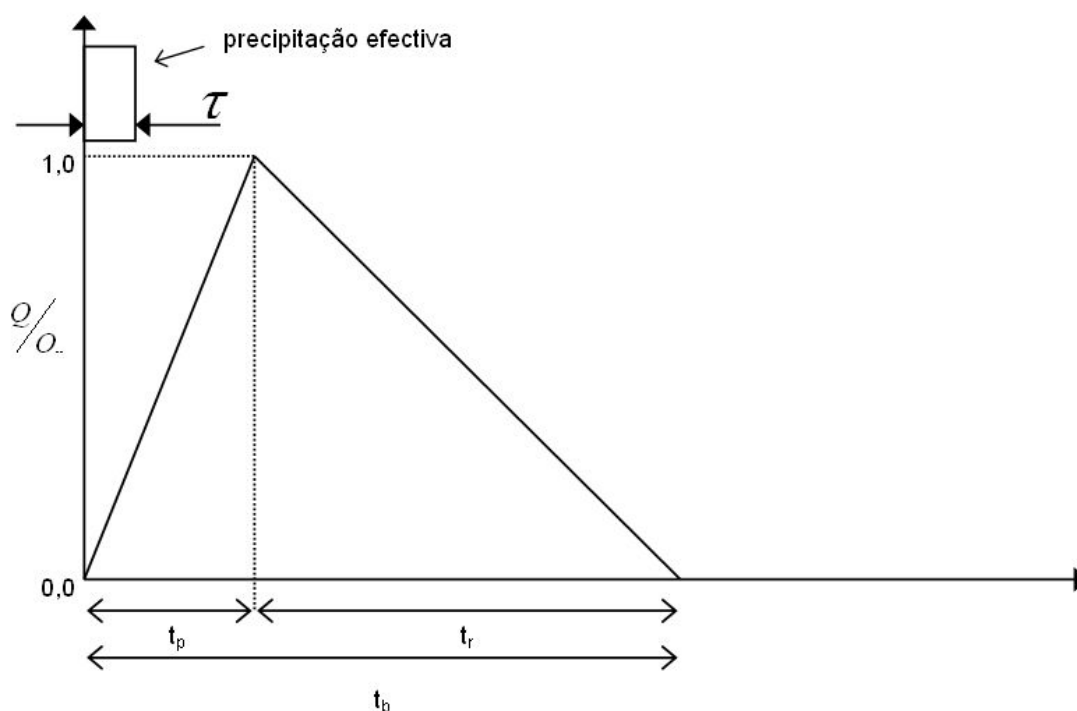
2.4 Hidrograma unitário

O SCS (Soil Conservation Service, antigo organismo do governo dos EUA) propõe dois tipos de hidrograma unitário. Ambos são fundamentados no estudo de um grande número de bacias hidrográficas localizadas no território dos EUA. Para cada uma destas bacias foi desenvolvido um hidrograma unitário a partir de dados observados de precipitação e escoamento. Cada um desses hidrogramas foi dimensionado pelo caudal de pico e pelo tempo de subida. Um hidrograma unitário médio foi então, construído a partir dos hidrogramas de todas as bacias analisadas (Tabela 9) (Wiesnes, 1984).

Tabela 9. Hidrograma unitário do SCS (Wiesnes, 1984).

t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0,25	0,14	1,50	0,68	2,75	0,08	4,00	0,015
0,50	0,48	1,75	0,43	3,00	0,06	4,25	0,010
0,75	0,87	2,00	0,28	3,25	0,04	4,50	0,005
1,00	1,00	2,25	0,19	3,50	0,03	4,75	0,005
1,25	0,90	2,50	0,12	3,75	0,02	5,00	0,000

O hidrograma unitário adimensional descrito na Tabela 9 pode ser aproximado por um hidrograma unitário triangular, abaixo apresentado, conhecido por HUT do SCS.

**Figura 19. HUT do SCS** (Wiesnes, 1984).

Portanto, o hidrograma unitário específico para uma dada bacia hidrográfica pode ser obtido conhecendo-se seu caudal de pico e seu tempo de subida característicos.

A área sob o HUT é igual ao volume de escoamento superficial (VES):

$$VES = \frac{1}{2} Q_p (t_p + t_r) \quad (\text{Eq. 7})$$

ou

$$Q_p = \frac{2 VES}{(t_p + t_r)} = \frac{VES}{t_p} \left[\frac{2}{1 + t_r/t_p} \right] = K \frac{VES}{t_p} \quad (\text{Eq. 8})$$

mas, a partir da geometria do HUT obtém-se:

$$t_b = \frac{8}{3} t_p$$

portanto,

$$t_r = \frac{8}{3} t_p - t_p = 1,67 t_p \quad (\text{Eq. 9}).$$

Substituindo-se a equação 9 na equação 8, obtém-se:

$$Q_p = 0,75 \frac{VES}{t_p} \quad (\text{Eq. 10}).$$

O SCS fornece, ainda, as seguintes relações envolvendo o tempo de concentração da bacia (t_c), a duração da precipitação unitária (τ) e o tempo de subida do HUT (t_p):

$$t_c + \tau = 1,7 t_p \quad \text{e} \quad 0,6 t_c + \frac{\tau}{2} = t_p, \text{ ou } t_c + \tau = 1,7 \left(0,6 t_c + \frac{\tau}{2} \right)$$

ou seja,

$$\tau = 0,133 t_c \quad (\text{Eq. 11})$$

e ainda,

$$t_p = \frac{2}{3} t_c \quad (\text{Eq. 12}).$$

Substituindo-se a equação 12 na equação 10, obtém-se:

$$Q_p = 1,125 \frac{VES}{t_c} = 1,125 \frac{AIES}{t_c} \quad (\text{Eq. 4.7}).$$

sendo:

A = área da bacia hidrográfica [m²]

IES = lâmina de escoamento superficial [m]

tp = tempo de subida [s]

tc = tempo de concentração da bacia [s].

3 Medição da Ilha de Calor

As ilhas de calor podem ser identificadas de duas formas. Uma é pela medição das temperaturas de superfície da terra e a outra é pela medição das temperaturas do ar.

Uma forma de medição da temperatura de superfície passa pelo recurso aos dados recolhidos pelos satélites. A imagem satélite de Atlanta, GA é um exemplo de medida de temperatura de superfície, a qual se caracteriza pelo registo das emissões de radiação, ou de energia reflectida e emitida da terra, incluindo telhados, pavimentos, vegetação, solo sem vegetação e água. Todas as superfícies libertam energia térmica ou emissões de radiação, que é emitida em diferentes comprimentos de onda. Estes comprimentos de onda podem ser identificados e medidos usando um detector remoto. A detecção remota é um processo em que são usados instrumentos para captar e determinar a relação entre objectos e materiais observáveis a determinada distância. O uso de radiómetros montados em aviões ou satélites, permite que os investigadores colectem facilmente um grande número observações de superfície. Diversas cidades usam dados do satélite Landsat (satélite americano) para classificar a superfície da terra posteriormente identificar ilhas de calor (EPA, 2005).

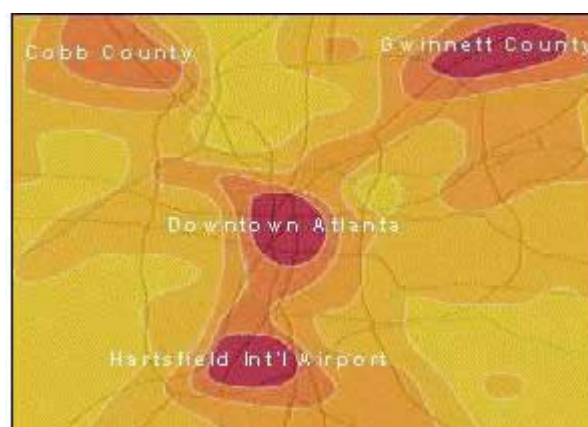


Figura 20. Ilhas de calor em Atlanta (EUA) - Imagem obtida a partir de satélite (EPA, 2005).

Quanto à forma de medição da temperatura do ar, esta é feita normalmente a 1,5 metros acima do solo, ponto onde também são realizadas as observações climatéricas padrão. Várias fontes podem ser usadas para levar a cabo estas medições (EPA, 2005):

- Estações dos serviços nacionais de meteorologia.
- Estações meteorológicas militares.
- Redes meteorológicas urbanas.
- Redes regionais de estações meteorológicas - agricultura, qualidade do ar, e outras redes de serviço público.
- *Estudos de campo* (esforços de monitorização intensiva em uma área pequena a qual dura algumas semanas ou meses. Esta técnica da pesquisa no solo é usada para monitorizar diferenças da temperatura dentro das cidades, e entre áreas urbanas e rurais (Pinho, 1997).
- *Estudos de percurso* (medição das mudanças de temperatura ao longo de um percurso, ou área da amostra, usando frequentemente equipamento portátil montado em carros ou em aviões. Quando o trajecto escolhido se destinar a medir o efeito do ilha de calor, este deve abranger um leque alargado de coberturas e usos do solo. A hora e as condições de tempo são também factores importantes, porque a magnitude das ilhas de calor é frequentemente maior no final da noite (Pinho, 1997).

Os dados recolhidos nas fontes referidas podem ser usadas para fazer avaliações de tendência da temperatura do ar, no longo prazo. Algumas das fontes apontadas têm registos de temperatura e outras observações meteorológicas para períodos superiores a 100 anos.

Apesar das medições referidas comportarem sustentações inegáveis para o conhecimento científico dos fenómenos do aquecimento das cidades e do aquecimento global, há que ter alguns cuidados no manuseamento nos dados dessas mesmas medições (EPA, 2005):

- As medidas de temperatura de superfície, feitas usando imagens de detecção remota, não capturam inteiramente emissões de radiação das superfícies verticais, tais como a parede de um edifício. Isto é porque o equipamento observa primariamente as emissões das superfícies horizontais como ruas, coberturas de edifícios, e copas de árvores.

- Os dados da detecção remota representam a radiação que viajou através da atmosfera duas vezes, porque a radiação medida nos satélites propagou-se do sol à terra e depois da terra à atmosfera. Assim, os dados necessitam ser corrigidos para estimar exactamente as propriedades de superfície incluindo a reflectância e a temperatura solares.
- Usar medições de temperatura do ar para avaliar uma ilha de calor, constitui um processo complexo que requer encontrar estações meteorológicas dentro da cidade e em áreas não urbanas perto da cidade. Os investigadores necessitam considerar mudanças na instrumentação, na amostragem, nos métodos de registo de dados, e no microclima da estação.
- As temperaturas do ar podem, por vezes, não constituir um indicador de alta confiança das propriedades térmicas de várias superfícies, dependendo sobretudo da altura em que é realizada a medida. O facto é que a atmosfera tem propriedades fluidas e o relacionamento entre a superfície e a temperatura de ar diminui com altura.

Apesar de todas estas limitações, a detecção remota constitui uma poderosa forma de representação do fenómeno das ilhas de calor urbano, a qual pode ser combinada com os dados de medição de temperaturas do ar, tornado a temperatura do ar num indicador útil para a determinação da grandeza do fenómeno de ilha de calor (EPA, 2005).

Capítulo 4

Mitigação - zonas consolidadas

1 Introdução

Como se viu nos capítulos anteriores, o problema da impermeabilização dos solos constitui sobretudo um problema de ordenamento do território. Se não tivessem ocorrido os processos massivos de urbanização, de drenagem generalizada, de ocupação urbana de leitos de cheia e, por fim, de amplificação dos leitos naturais de cheia, pela humanização dos usos de solo impermeabilizantes das áreas circundantes (cabeceiras de linhas de água e zonas geomorfológicas de infiltração), as consequências dos períodos extremamente chuvosos seriam consideravelmente menores ou inexistentes.

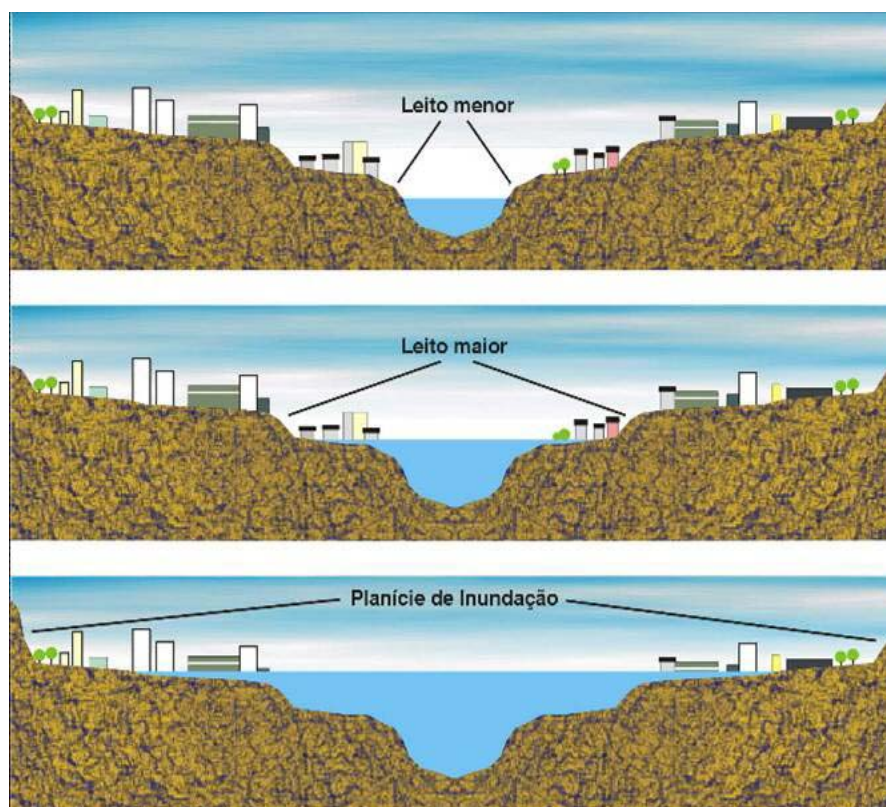


Figura 21. Urbanização em leito de cheia.

(UFMG, 2005).

Como tal, para minorar os actuais problemas decorrentes da impermeabilização dos solos há que, sobretudo, reduzir os impactos do mau ordenamento nas zonas urbanisticamente consolidadas, através da inversão de usos do solo ou através da implementação de micromedidas de correcção, lançadas em grande escala.

Nas novas zonas de expansão, será o ordenamento integrado e hidrologicamente sustentável que deverá tomar lugar, no sentido de se combater os problemas referidos nos capítulos anteriores.

O presente capítulo incidirá primordialmente sobre as questões relativas às medidas correctivas a implementar em zonas urbanisticamente consolidadas.

2 Enquadramento

Os sistemas modernos de drenagem urbana de águas pluviais foram desenvolvidos e implantados a partir da segunda metade do Século XIX. As primeiras cidades a adoptarem sistemas de drenagem pluvial generalizados segundo conceitos empregados ainda na actualidade, foram Londres e Paris e algumas cidades americanas. Esses sistemas continuam em operação até os dias de hoje, alguns com mais de 150 anos de funcionamento (UFMG, 2005).

Porém, sistemas de drenagem de águas pluviais são encontrados em cidades ou ruínas de cidades bem mais antigas. No período anterior à Era Cristã, são notáveis os sistemas implantados pelos persas e pelos gregos. Redes de drenagem implantadas pelos romanos podem ser observadas ainda hoje, com pequenos trechos ainda em funcionamento. O mesmo ocorre em ruínas de cidades construídas pelos povos pré-colombianos, em diferentes países da América Latina (UFMG, 2005).

Verifica-se assim uma relação já antiga entre a urbanidade e necessidade de acautelar as questões de drenagem pluvial resultante da impermeabilização dos solos de uso urbano.

Só mais recentemente se verificam preocupações relativas à necessidade de passar a resolver a drenagem pluvial combatendo a excessiva impermeabilização dos solos, ao invés de a assegurar exclusivamente com recurso aos sistemas de drenagem canalizada, anteriormente referidos.

É sobre as soluções que existem para minorar a escorrência superficial e para minorar a necessidade de sistemas de drenagem canalizada, com o objectivo de aumentar a permeabilidade dos solos e respectivos benefícios, que vão incidir os próximos parágrafos.

3 Modelos

3.1 Modelos tradicionais de drenagem

Os sistemas urbanos de infra-estrutura de drenagem pluvial podem ser classificados segundo diferentes critérios. Por exemplo, se as águas de origem pluvial são drenadas por uma rede de condutas diferente e independente da rede de drenagem do esgoto sanitário, pressupondo-se que não haja conexão entre elas, o sistema é chamado de separador absoluto. Caso se adopte por uma rede única para a drenagem dos esgotos pluvial e sanitário, o sistema é denominado unitário.

A drenagem urbana de águas pluviais é realizada por redes de canais superficiais e subterrâneas. Por exemplo, o sistema viário, as guias, as sarjetas e as bocas de lobo são parte integrante da drenagem superficial. As condutas de águas pluviais enterradas fazem parte da rede subterrânea de drenagem, como é evidente pela própria classificação.

Para efeito de concepção e projecto de um sistema de drenagem, feita a escolha entre sistema unitário ou separador absoluto, a classificação seguinte mais importante está relacionada com as áreas a serem drenadas, os valores de caudal e de volume de água pluvial a tratar pelo sistema (transportar, armazenar, fazer infiltrar, etc.) e, em consequência, as dimensões das estruturas de drenagem, a escolha de materiais, as dificuldades construtivas, os custos de implantação e manutenção e o nível de risco de falha do sistema. Consoante o caso, fala-se em sistema de microdrenagem e sistema de macrodrenagem (UFMG, 2005).

O sistema de macrodrenagem, é responsável pela drenagem de caudais mais significativos, provenientes de áreas de drenagem maiores, ou seja, sub-bacias com superfície da ordem de alguns hectares a alguns quilómetros quadrados. Compõem os sistemas de macrodrenagem as galerias pluviais, os cursos de água (córregos, ribeiros, riachos, etc.) canalizados ou não, os bueiros, as pontes etc. Entre as técnicas alternativas de macrodrenagem encontram-se as bacias de retenção, as áreas pré-dimensionadas para o armazenamento e infiltração de águas pluviais (grandes áreas de estacionamento, praças, parques desportivos), os parques lineares implantados no fundos dos vales, as áreas húmidas naturais ou artificiais, etc. (UFMG, 2005).

O sistema de microdrenagem drena escoamentos reduzidos e volumes provenientes de pequenas áreas urbanizadas, ou seja, sub-bacias com superfície da ordem de 1 ha ou inferiores. Compõem o sistema de microdrenagem: as vias, as sarjetas, as bocas de lobo, os tubos e conexões e os poços de visita. Recentemente, novos modelos alternativos de drenagem têm surgido, visando a redução dos impactos da urbanização sobre o comportamento hidrológico das bacias, como os reservatórios domiciliares de águas pluviais, as trincheiras de infiltração, as valas de retenção, o armazenamento e a detenção em coberturas, o armazenamento e a infiltração em áreas de estacionamento, entre outras, que são igualmente parte do sistema de microdrenagem (UFMG, 2005).

3.2 Novos Modelos de drenagem

As comunidades urbanas podem adoptar um conjunto de medidas não tradicionais para fazer diminuir os impactos da impermeabilização dos solos. Estas medidas incluem:

- Substituição dos materiais de revestimento de solos;
- Instalação de “telhados verdes”;
- Densificação do coberto vegetal urbano;
- Criação de bacias artificiais de percolação, retenção e detenção.

A dimensão em que as áreas urbanas podem beneficiar das estratégias da redução dos efeitos da impermeabilização, depende de diversos factores. Alguns destes factores, como os padrões climáticos prevalentes e a geografia, estão na sua maior parte, para além da influência da política local. Contudo, os factores tais como a distribuição dos usos do solo urbano, os materiais usados na construção de estradas e edifícios, e ainda a densidade de cobertura de árvores e vegetação urbanas, podem ser directamente influenciadas pelos decisores das políticas urbanas. É aqui que reside a importância das políticas e dos programas para reduzir os impactos da impermeabilização.

3.2.1 Pavimentos sustentáveis

Os pavimentos permeáveis ou porosos, permitem que a água se infiltre no solo, mantendo ao mesmo tempo, enquanto húmidos, o pavimento e a atmosfera locais frescos. Os pavimentos permeáveis podem ser construídos com vários materiais, incluindo o betão, o asfalto e ainda estruturas plásticas tipo grelha, cheias com solo, cascalho e grama.

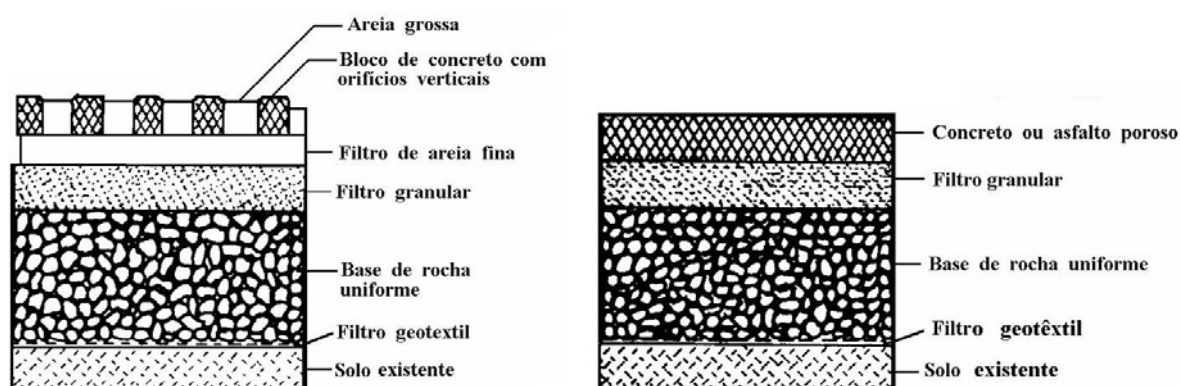


Figura 22. Exemplo da estrutura de 2 pavimentos permeáveis (UFMG, 2005).

Uma vez que uma das consequências da impermeabilidade é o fenómeno a ilha de calor, não se poderia também aqui deixar de falar nos *pavimentos frios*. Os materiais usados nos ditos *pavimentos frios* minimizam a absorção do calor solar e transferência subsequente deste calor a atmosfera local (UFMG, 2005).

Se os materiais porosos, pela sua própria natureza, já podem ser considerados *frios*, um segundo grupo menos evidente, também assim é apelidado e é constituído por materiais de cores claras. Os materiais de cor clara têm uma reflectância solar mais elevada, absorvendo assim menos da energia solar e em consequência permanecem mais frescos e conservam durante mais tempo a humidade envolvente (UFMG, 2005).

Os materiais mais claros comercializados aparecem nos tons de barro branco, bege, cinzento claro e de terra. Embora não haja nenhum programa padrão ou normativo oficial para designar materiais adequados aos *pavimentos frios*, as comunidades interessadas em reduzir o efeito da ilha de calor devem considerar a reflectância e a permeabilidade de superfície - conjuntamente com os outros custos e benefícios - ao seleccionar um produto para pavimentação.

3.2.2 Cobertura dos edifícios

A solução alternativa e complementar aos materiais anteriormente apresentados, traduz-se na utilização dos *telhados verdes*, os quais consistem na instalação de um jardim de vegetação rasteira no topo dos edifícios. Uma utilização em larga escala de *telhados verdes* numa cidade, contribuirá decisivamente para a redução das velocidades de escorrência pluvial, bem como para a redução dos efeitos de ilha de calor urbana.

Paralelamente, existem ainda soluções mais inovadoras como *vasos de retenção pluvial* colocados nas paredes verticais dos edifícios, as quais partilham os mesmos objectivos dos telhados verdes.

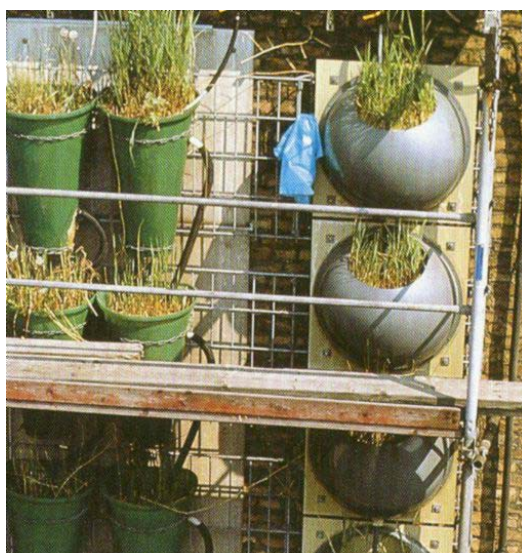


Figura 23. Colocação vertical de elementos de retenção pluvial - Manteuffelstrasse 40/41

(Lebenswert Wohnen, 1990).

O *telhados verdes* e os *vasos de retenção pluvial* substituem as tradicionais superfícies altamente absorventes de calor por vegetação rasteira, arbustos e mesmo árvores de pequeno porte que contribuem para a refrigeração do ar ambiente, através retenção de água e posterior evapo-transpiração.

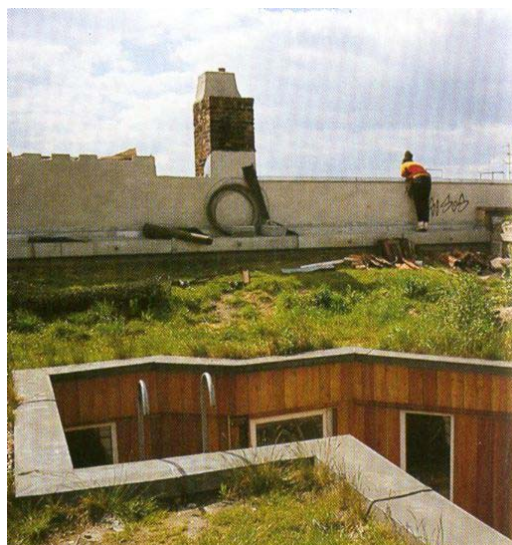


**Figura 24. Telhado verde em Berlim
- Manteuffelstrasse 40/41**

(Lebenswert Wohnen, 1990).

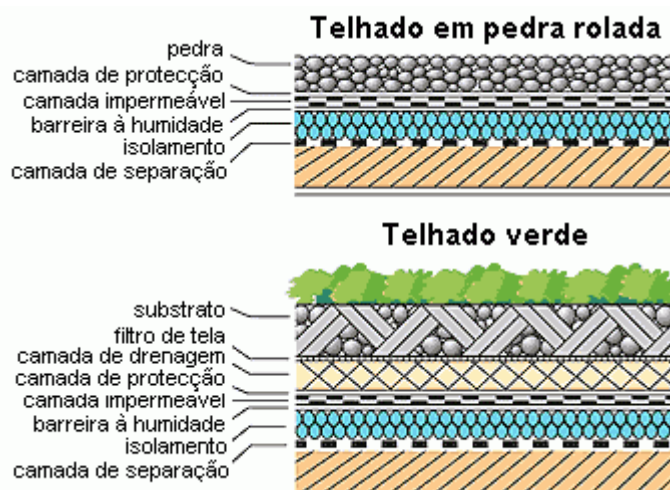


Figura 25. Constituição de um telhado verde

(adaptado de EPA, 2005).

A evapo-transpiração é o processo através do qual as plantas libertam água para o ar envolvente dissipando dessa forma o calor. Segundo o Departamento de Energia de Lawrence Berkeley National Laboratory – Califórnia, EUA – uma única árvore adulta, devidamente regada com uma copa de 9 metros de diâmetro, pode evapo-transpirar mais de 150 litros de água durante um dia. Ainda segundo o mesmo departamento, a plantação de árvores em larga escala pode reduzir a temperatura do ar envolvente.

Do mesmo modo, os *telhados ajardinados* remanescem significativamente mais frescos do que um telhado construído dos materiais tradicionais, absorventes de calor. Adicionalmente, os *telhados verdes* reduzem as necessidades de ar condicionado nos períodos de Verão, por reduzirem o ganho do calor do edifício (EPA, 2005).



Figura 26. Telhado verde - Zona central da cidade de Atlanta, EUA (EPA, 2005).

A título de exemplo, num quente e ensolarado dia do Verão na Califórnia, um telhado revestido com materiais tradicionais pode alcançar temperaturas de pico de 88°C (190°F). Pela comparação, os ditos *telhados frios* (*cool roofs*) alcançam somente temperaturas máximas de 49°C (120°F) (EPA, 2005).

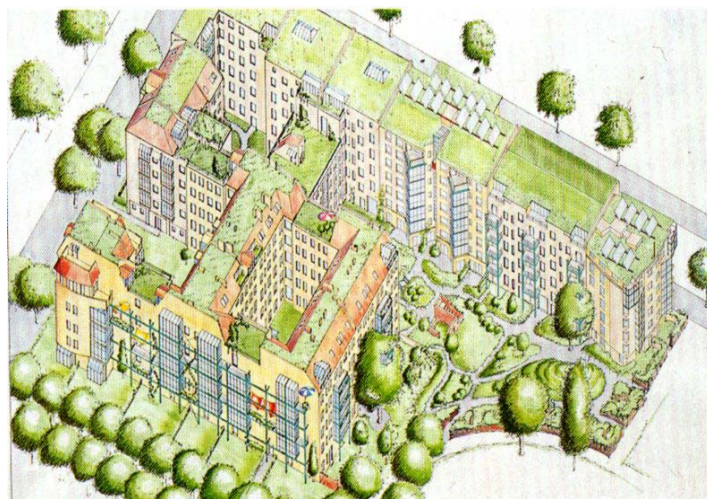


Figura 27. Conceito ecológico em plano de ordenamento

- Reunificação de Berlim, 1990 (Lebenswert Wohnen, 1990).

O termo "telhado frio" é vulgarmente usado nos Estados Unidos para descrever o material da cobertura que tem uma elevada reflectância solar. Estes materiais reflectem uma grande parcela da energia do sol. Os *telhados frios* também podem ter uma grande capacidade de para libertar calor absorvido. Isto mantém os materiais mais arrefecidos, ajudando, por conseguinte, também a reduzir o efeito de ilha de calor.

Há ainda a referir um benefício adicional que os telhados verdes possuem, que se caracteriza pela filtragem da poluição que a chuva arrasta quando atravessa a atmosfera (poeiras e poluentes gasosos). Isto é conseguido através da conhecida capacidade que a vegetação tem, em conseguir remover poluição do ar, através da sua acção física (folhas). Os telhados verdes e as copas das árvores verdes também reduzem a poluição urbana provocada pelo azoto e pelo fósforo dissolvidos, actuando na fonte do escoamento, através da sua acção biológica (EPA, 2005).

Por fim, há ainda que ter em consideração que, para se aplicarem medidas deste tipo em meio urbano, existem duas dois tipos de telhado verde, consoante a dimensão da intervenção e os cuidados a ter na manutenção da cobertura verde: o *telhado verde intensivo* e o *telhado verde extensivo*, conforme se pode observar na tabela abaixo:

Tabela 10. Telhados verdes intensivos e extensivos (adaptado de Schloz-Barth, 2001).

Característica	<i>Telhado verde intensivo</i>	<i>Telhado verde extensivo</i>
Solo	Requer no mínimo 30 cm de solo	Requer no mínimo 2,5 a 12,5 cm de solo
Vegetação	Consegue alojar árvores pequenas, arbustos e jardins bem tratados	Consegue alojar uma vasta gama ervas e vegetação rasteira.
Carga	Carga de 390 a 732 Kg/m ² na estrutura do edifício	Carga de 60 a 244 Kg/m ² na estrutura do edifício
Acesso	Encoraja-se o acesso regular de pessoas	Ocasional, não desenhado para acesso público.
Manutenção	Requer manutenção significativa	Manutenção anual deverá ser mantida até a vegetação consolidar
Drenagem	Inclui sistema de irrigação e drenagem complexo	O sistema de drenagem e irrigação é simples

3.2.3 Vegetação

Aumentando a cobertura de árvores e a vegetação numa cidade, é uma maneira simples e eficaz reduzir o efeito de ilha de calor urbano. As árvores fornecem uma larga escala de outros benefícios, desde o valor de propriedade crescente até à redução das torrentes de escorrência de água em períodos de grande pluviosidade. A sombra das árvores também podem contribuir para que os edifícios sejam energeticamente mais eficientes. Os cientistas estimam que uma plantação estratégica de árvores e vegetação contribui significativamente para refrigeração do ambiente, conseguindo proporcionar poupanças em consumo de energia até 25%. Para muitos, esta pesquisa não revela nenhuma surpresa - as árvores têm vindo a ser usadas para ambientar climaticamente casas e quintais desde há séculos (UFMG, 2005).

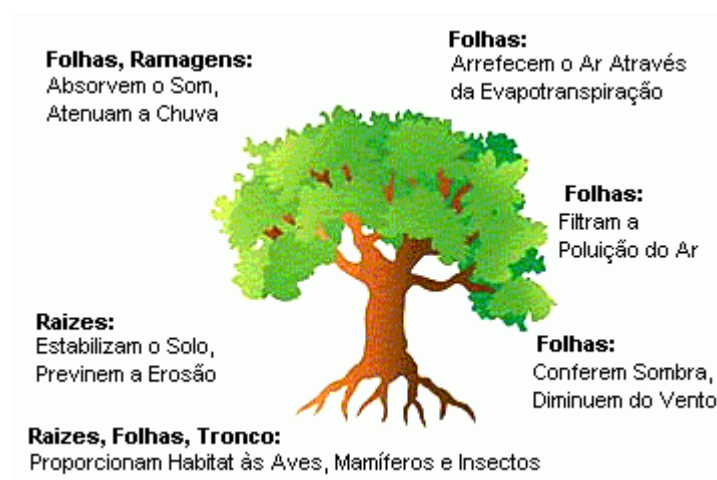


Figura 28. Importância da árvore em meio urbano (adaptado de EPA, 2005).

3.2.4 Bacias de percolação, retenção e detenção.

A forma talvez mais eficaz de combater os problemas da drenagem urbana excessiva consiste na utilização de bacias de percolação, retenção e detenção. As vantagens relativamente às soluções apresentadas anteriormente consistem sobretudo na sua grande capacidade volumétrica, conseguindo, consoante a sua dimensão resolver problemas de grandes áreas urbanas. Têm, contudo, a pesar contra si, relativamente às demais soluções os avultados custos associados e a menor integração ambiental.

Veja-se abaixo como funciona cada um destes modelos de bacia:

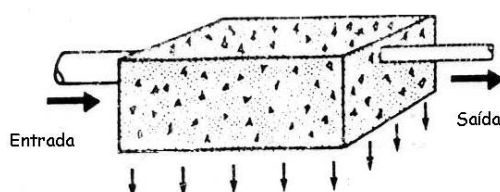


Figura 29. Bacia de percolação (UFMG, 2005).

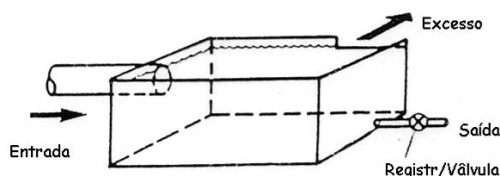


Figura 30. Bacia de retenção (UFMG, 2005).

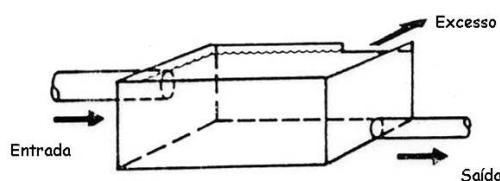


Figura 31. Bacia de detenção (UFMG, 2005).

Os princípios subjacentes a estes modelos podem ser aplicados, tanto a extensas, como a pequenas áreas. Veja-se nas duas próximas figuras três exemplos práticos de aplicação.

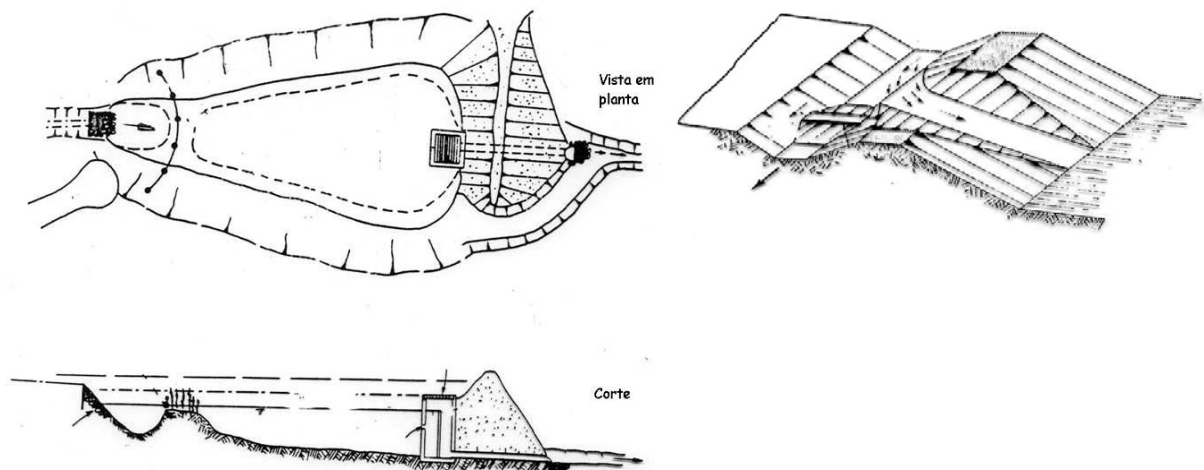


Figura 32. Características físicas de uma estrutura de armazenamento (UFMG, 2005).

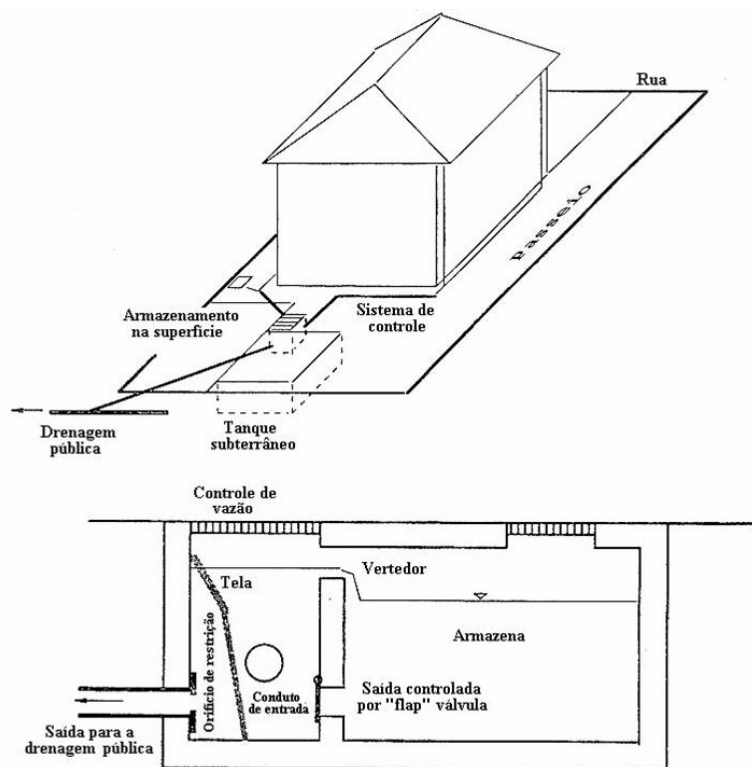


Figura 33. Exemplo de bacia de detenção na fonte (UFMG, 2005).

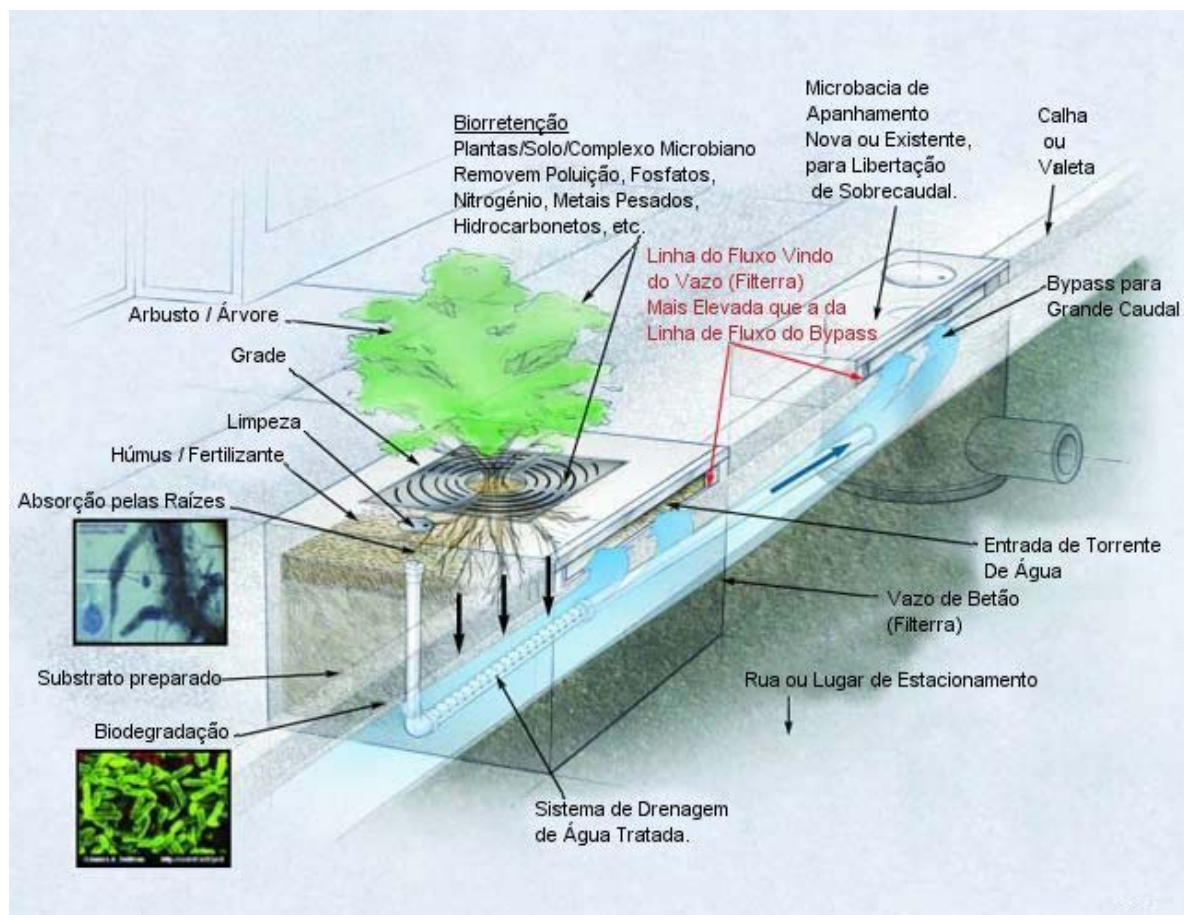


Figura 34. Exemplo de detenção na fonte com funções de filtro (adaptado de AmericaCast, 2005).

Capítulo 5

Planeamento e prevenção – expansões urbanas

1 Introdução

Como foi referenciado no capítulo 2., se um novo processo de ocupação do solo com usos urbanos ocorrer a jusante de bacias urbanizadas, a nova área urbanizada corre o risco de poder vir a sofrer inundações. Por outro lado, se esse processo se verificar a montante, então este poderá causar inundações a jusante. E, por fim, se dentro da nova área alvo do processo de urbanização existirem pequenas bacias, então a nova urbanização pode vir a registar problemas dentro dos seus próprios limites.

Adicionalmente, verificou-se existir um efeito cumulativo nos problemas causados pela impermeabilização, sejam eles relacionados com as cheias, sejam eles relacionados com os efeitos de ilha de calor urbana.

O presente capítulo, aflorará a necessidade de se fazer um planeamento preventivo, quando se procede à implementação de novas expansões urbanas, as quais não têm necessariamente que ser de dimensões excepcionalmente grandes, podendo confinar-se a loteamentos com algumas dezenas de fogos. É aqui que reside a natureza do planeamento integrado, o qual não subestima as intervenções menores, pois os grandes problemas urbanísticos, relacionados com a impermeabilidade dos solos, advêm em maior medida do somatório das pequenas intervenções do que propriamente das grandes intervenções isoladamente.

Não esqueçamos que, conforme já referenciado, de acordo as estimativas da ONU, em 2015, a região de Lisboa e Vale do Tejo vai ter 45,3% do total da população do país, passando de 3.861.000 habitantes para 4.544.000 habitantes. O facto é que, independentemente dos saldos fisiológicos estarem a entrar em contenção ou mesmo em regressão, mesmo em países desenvolvidos, os fenómenos de crescimento urbano ou metropolitano parecem não querer ainda abrandar num futuro próximo. Tal situação, justifica a presença deste capítulo na presente tese, o qual é sobretudo dirigido às acções que deverão ser garantidas nos novos crescimentos urbanos ou na colmatação dos grandes hiatos urbanos que ainda estão por preencher no miolo dos aglomerados urbanos. A colmatação desses grandes espaços obrigará necessariamente à exploração de formas adicionais não afloradas no capítulo anterior, as quais passam pela consolidação ou criação de verdes contínuos em meio urbano com funções hidrológicas e climáticas. Esses contínuos, para além de deverem ser congregadores das soluções apresentadas no capítulo anterior, deverão ser elementos fundamentais de uma estrutura

ecológica urbana responsável por um maior equilíbrio hídrico, térmico, natural e social do meio urbano.

2 Enquadramento

Antes de abordarmos as medidas a tomar, propriamente ditas, convém fazer um enquadramento com algum cariz histórico uma vez que muitas das medidas a tomar nas novas expansões urbanas já vêm a ser defendidas desde há décadas atrás, apesar de na generalidade dos casos não terem sido levadas em consideração. A maior parte dessas medidas encerram princípios de sustentabilidade.

Até meados do século vinte, a maior parte da comunidade parecia acreditar na existência de estáveis períodos cíclicos de crescimento e decadência, adormecimento, nascimento e morte e por fim de renascimento. Esses períodos não eram entendidos como eternos, alguns seriam longos enquanto que outros seriam curtos. Desde há cerca de doze mil anos - altura em que o desenvolvimento da agricultura ocorreu - e com maior destaque nos últimos dois séculos – início do período industrial – grandes e repentinas mudanças foram encetadas pela humanidade. A vocação humana para a mudança foi combinada com a sua habilidade técnica para alterar uma grande parte da paisagem da terra (Lyle, 1985).

Só mais recentemente, surgiu uma nova forma de entendimento da interação do Homem com a Natureza a qual deu origem à definição de desenvolvimento sustentável.

“Desenvolvimento sustentável é aquele que permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias” (Acsehrad, 2001).

É com a preocupação ambiental sobre os recursos naturais utilizados pelas pessoas que surgem as primeiras reflexões sobre a sustentabilidade, tendo início na década de 70 do século XX. Em consequência do aparecimento dessa questão, surgem diversas discussões no âmbito global, envolvendo a consciencialização dos diversos países (Miranda, 2004). Como resultado dessas discussões, o conceito de sustentabilidade é elaborado, primeiramente com a visão ecológica, e posteriormente, incluindo as diversas dimensões que envolvem o ser humano e suas necessidades e condutas. (Cavalcanti, 1999).

“Os sistemas urbanos de água e esgoto são ligados ao conceito de sustentabilidade em todas as suas dimensões: ambiental, política, social, etc. A avaliação da sustentabilidade é de extrema importância para promover o aumento da qualidade de vida da população, garantindo saúde, acesso aos serviços, melhorias no sistema, entre outros factores, sendo possível a partir da monitorização de indicadores para os sistemas urbanos de água e esgoto” (Acseirad, 2001).

Por fim, para se proceder à avaliação da sustentabilidade em um determinado local, há que ter em atenção que é preciso proceder à reunião de diferentes tipos de informação, os quais permitam traduzir sem ambiguidades, o grau de sustentabilidade em que se encontra o local em causa. Para esse efeito, os indicadores são importantes ferramentas de avaliação, desde que seja possível relacioná-los aos conceitos e princípios de sustentabilidade, sendo capazes de avaliar e monitorar as tendências de desenvolvimento sustentável, definindo metas de melhoria dos sistemas (Acseirad, 2001).

A alteração da paisagem é uma consequência directa dos novos padrões de ocupação do solo introduzidos pelos usos humanizados do território, sendo as taxas de impermeabilização do solo, arborização, florestação, etc., importantes indicadores de suporte à avaliação da sustentabilidade das novas intervenções urbanísticas.

3 Planeamento urbanístico hidrologicamente sustentável

O planeamento urbanístico hidrologicamente sustentável, deverá ser aquele que trata as várias intervenções e as várias porções de território de forma integrada, tendo sempre como princípio subjacente em cada intervenção no território, a ideia da sua contribuição para o sistema conjunto – seja em termos de impactos causados na envolvente, seja em termos de contribuição para a resolução de problemas da envolvente dentro dos seus limites espaciais de intervenção.

Neste sentido um dos princípios ou pressupostos que aqui se pretende também debater, é o de que a resolução dos problemas resultantes do processo de urbanização – com destaque para os problemas resultantes da impermeabilidade - deverá prioritariamente ter lugar, exactamente na área de influência onde é originada. Esta abordagem é defensora da unidade territorial enquanto unidade “auto-suficiente” em termos de resolução dos problemas decorrentes da impermeabilização causada pelo processo de urbanização.

Na linha de raciocínio explorada, entendem-se como unidades territoriais, as unidades operativas de planeamento (UOP's) e as áreas objecto de planos municipais de ordenamento do território (PMOT's) de grande escala.

Estas unidades operativas de planeamento, serão hidrologicamente potenciadas no que respeita às suas características de sustentabilidade, quanto maior for a sua concordância espacial com os limites geográficos das bacias hidrográficas em que assentam.

No controle moderno e sustentável da drenagem urbana, as formas de controle de podem ser classificadas de acordo com a sua componente de drenagem em medidas (Tucci, 2003):

- Na fonte - controle ao nível de qualquer unidade primária de planeamento (ex.: lote);
- De microdrenagem - medidas adoptadas ao nível do loteamento / plano de pormenor;
- De macrodrenagem - soluções de controlo ao nível do aglomerado urbano (aplicadas às principais linhas de água urbanas).

Essas medidas são aplicadas consoante com o nível de desenvolvimento da área em estudo. A título de exemplo, verifique-se que para uma zona como Porto Alegre (Brasil, 2001) os volumes necessários para o amortecimento devido à urbanização (alta impermeabilização) são da ordem de 420 a 470 m³/ha. Considerando uma profundidade média de 1,5 m, a área necessária é da ordem de 3% da área total da bacia de drenagem urbanizada (Plano Director de Drenagem Urbana de Porto Alegre, 2001).

As principais medidas sustentáveis na fonte que têm sido aplicadas são: a detenção no lote (pequeno reservatório) - o qual controla apenas ao caudal de ocorrência máximo; o uso de áreas de infiltração para acolher a água de áreas impermeáveis e recuperar a capacidade de infiltração da bacia; o uso de pavimentos permeáveis. Estas duas últimas medidas minimizam também os impactos da poluição e aumentam a carga dos aquíferos. (Tucci, 2003)

Em suma, a diferença básica entre medidas de micro e macrodrenagem é que umas são de detenção e as outras de retenção. As detenções constituem reservatórios urbanos mantidos secos e possuidores de usos do solo integrados na paisagem urbana, enquanto que as retenções são reservatórios com plano de água, utilizados não somente para controlo do pico e volume do escoamento, como também para controlo da qualidade da água e abastecimento. (Tucci, 2003)

3.1 Retenção e detenção na fonte

Como já se referiu antes, nas novas zonas de expansão urbana, é um ordenamento integrado e hidrologicamente sustentável que deverá tomar lugar, no sentido de se combater os problemas resultantes da impermeabilização dos solos. A primeira forma de contribuir para um ordenamento integrado e hidrologicamente sustentável será a adopção de soluções técnicas destinadas a reter ou a deter, dentro da própria área de intervenção, os volumes de água a drenar aí gerados, os quais resultam da impermeabilização da cobertura original do solo (água a drenar resultante dos passeios, praças, estradas, parques de estacionamento, coberturas de edifícios, etc.).

Nesta medida, algumas das soluções que foram indicadas no capítulo anterior, que eram dirigidas para as zonas urbanas consolidadas e que tinham sobretudo uma função mitigadora e correctiva, deverão ter agora um papel estruturante e serem integradas na própria concepção de base do plano ou estudo da intervenção urbanística em curso.

Recapitulando, as principais medidas apontadas foram: a densificação do coberto vegetal urbano, o uso de materiais permeáveis no revestimento de solos, a detenção de escorrências nas coberturas dos edifícios e a criação de bacias artificiais de percolação, retenção e detenção.

Assim, para se defender o equilíbrio hidrológico numa intervenção urbanística, deve-se:

- 1º Minimizar o índice de impermeabilização do solo da intervenção;
- 2º Dotar as áreas não impermeabilizadas de coberto vegetal;
- 3º Nas zonas em que a solução urbanística exige a impermeabilização do solo, optar pelo uso de soluções de revestimento permeáveis ou com características que permitam a diminuição das velocidades de escoamento pluvial;
- 4º Quando as soluções de revestimento permeável não se adequarem (ex.: geologia local com características impermeáveis por natureza), optar por *materiais frios* de revestimento (cores claras).
- 5º Equacionar a dotação generalizada de coberturas verdes nas paredes e topo dos edifícios;
- 6º Se as soluções anteriores ainda forem insuficientes, deve-se então, optar por soluções mais onerosas, criando adicionalmente bacias artificiais de percolação, retenção e detenção (cujas características micro ou macro, serão

resultado da dimensão dos caudais em causa e das características da urbanização e da geografia do local.

Sendo possível estimar o caudal gerado pela impermeabilização de determinada parcela de território durante determinado período de pluviosidade conhecida, e sendo possível calcular a eficiência das medidas anteriormente enumeradas (umas com maior precisão que outras), será então possível aproximar-nos de uma solução urbanística que integre uma combinação de medidas que compensem os efeitos provocados pela urbanização.

Numa zona objecto de intervenção urbanística será recomendável que o somatório de todos os caudais produzidos pelas várias parcelas (com diferentes índices de impermeabilização) sejam retidas ou detidas dentro dos seus limites. Essa retenção será responsável pela minoração do efeito de torrente ao estancar ou diminuir as velocidades de escoamento pluvial, o que por sua vez terá um importante papel na minimização dos impactes ambientais gerados no ciclo hidrológico, pelo processo de urbanização.

As medidas de acção na fonte têm ainda a vantagem adicional de permitirem a criação de depósitos locais de água.

A colecta de águas de chuva para fins de abastecimento de água, inclusive consumo humano, é uma técnica já há muito conhecida em regiões áridas e semi-áridas. Em áreas com maior disponibilidade de recursos hídricos, a colecta de águas de chuva pode significar economia para o utilizador e a diminuição da pressão sobre recursos hídricos locais e regionais. Os usos potenciais incluem a irrigação de jardins, a alimentação de descargas sanitárias e lavagem de veículos. Contudo, deve-se ter em atenção que há uma certa incompatibilidade de objectivos entre sistemas de armazenamento de águas pluviais para abastecimento (reservas de água) e para controlo de escoamentos (manutenção de volumes de espera). Esta incompatibilidade pode ser tecnicamente resolvida, implicando para isso custos de investimento mais elevados (Nascimento, 2004).

A colecta de águas de chuva para usos que tolerem águas de qualidade inferior, em contexto urbano, tem sido considerada em pesquisas, por meio de simulações que avaliam o balanço oferta-procura, aspectos técnicos de dimensionamento e concepção de instalações, e estimativas de custos (Ferreira, 2003).

3.2 Medidas de microdrenagem

As medidas de microdrenagem integram soluções de retenção e detenção na fonte ou a jusante da sua origem. A principal diferenciação, relativamente às medidas de macrodrenagem reside na sua escala de intervenção. A escala de intervenção das medidas de microdrenagem é da ordem de grandeza do loteamento e do plano de pormenor. A área de intervenção da operação urbanística pode ser considerada como uma microbacia hidrográfica, ou pode ser dividida em várias conforme o suporte físico natural.

As medidas de microdrenagem a aplicar numa intervenção urbanística que integre a componente de sustentabilidade hidrológica, devem começar pelas de detenção ou retenção na fonte. As medidas aplicadas na fonte, além das vantagens hidrológicas e ambientais já referidas, têm a grande vantagem de diminuir os custos dos sistemas de drenagem a jusante.

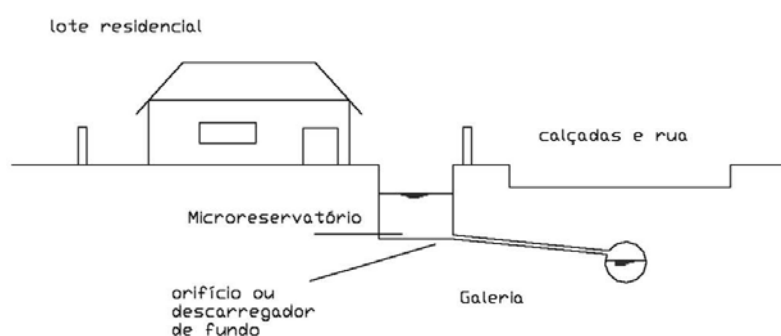


Figura 35. Esquema de microrreservatório na fonte (lote) (Martins, 2004).

As medidas a aplicar a jusante, num loteamento ou plano de pormenor, visam sobretudo a detenção de caudais de ponta não infiltrados ou retidos na fonte, com o objectivo de minimizar os efeitos da carga a desaguar na bacia hidrográfica imediatamente a jusante.

Assim, enquanto que umas se aplicam na fonte - as quais já foram abordadas com profundidade no ponto anterior - as outras são dirigidas a reduzir os efeitos dos caudais de ponta nos vários pontos de confluência onde são somados os caudais não detidos nem retidos na fonte.

Veja-se abaixo dois exemplos reais da aplicação de medidas de microdrenagem as quais se destinam deter/amortecer as velocidades de escoamento pluvial de uma unidade de intervenção urbana (loteamento/plano de pormenor).



Figura 36. Reservatório de amortecimento em Santo André

– Praça Júlio Adreata, Vol. 4.000m³ (SEMASA, 2005).



Figura 37. Reservatório de amortecimento do loteamento sem e em uso pluvial em

Santo André -“Jardim Dona Déa”, Vol. 5.260 m³ (SEMASA, 2005).

Soluções deste tipo poderão ser aplicadas “à saída” de células de drenagem que integram as bacias ou sub-bacias hidrográficas quando as soluções de microdrenagem na fonte forem manifestamente insuficientes.

Veja-se abaixo um exemplo de delimitação de células de drenagem numa zona urbana no Município de São João do Meriti (Brasil).

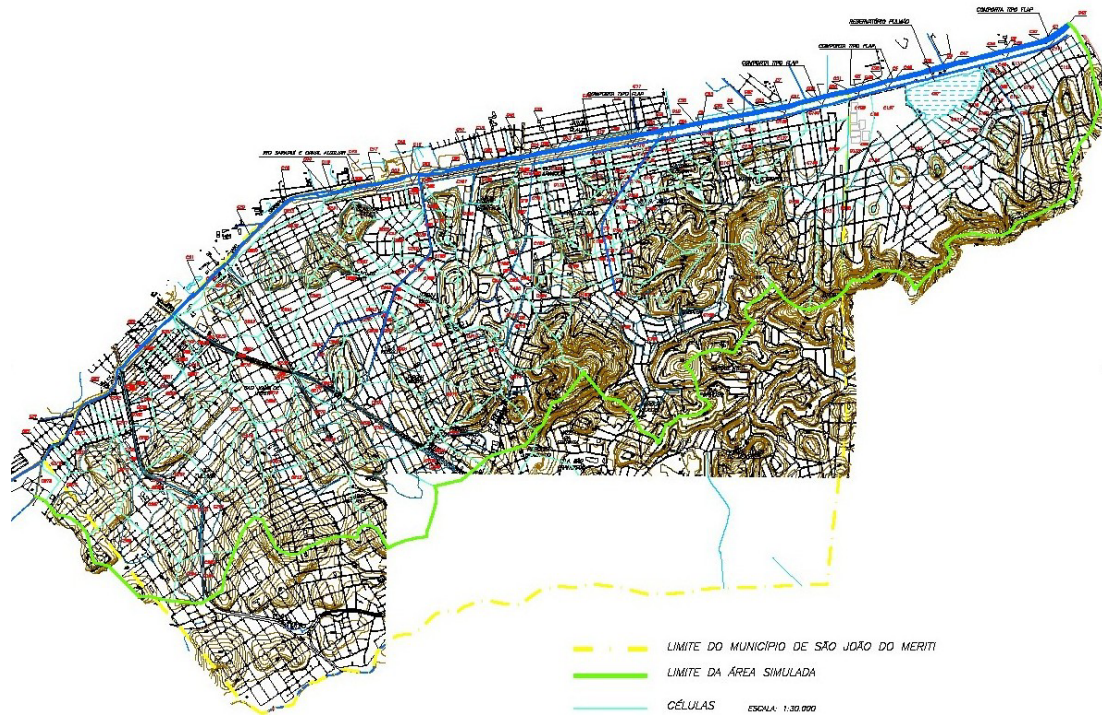


Figura 38. Delimitação de células de escoamento em meio urbano (Martins, 2004).

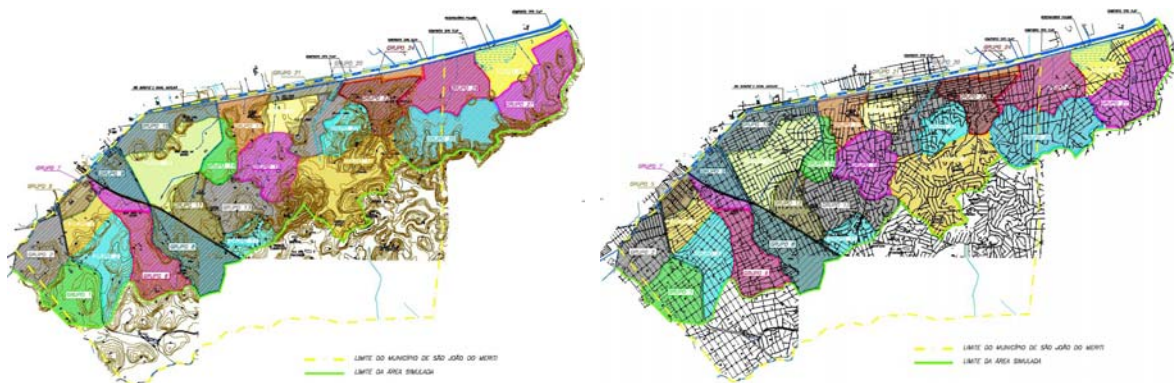


Figura 4. Células de escoamento sobre relevo e sobre malha viária urbana (Martins, 2004).

A definição de células de escoamento tem a vantagem de permitir a modelação dos comportamentos hidrológicos em determinada bacia hidrográfica, o que permite a sua utilização como instrumento de gestão dos recursos hídricos e o planeamento integrado de novas intervenções com repercussões na drenagem urbana. Utilizando o modelo de células de escoamento, é possível avaliar o efeito que tem a implementação generalizada de microrreservatórios de drenagem pluvial em lotes (Martins 2004).

3.3 Medidas de macrodrenagem

Como forma de complemento às medidas de microdrenagem, existem as medidas de macrodrenagem, as quais para além de terem um papel importante na minimização das cheias, têm um papel maior na gestão dos recursos hídricos e preservação ambiental dos componentes ecológicos e climáticos urbanos.

Como foi referido no ponto anterior, a sua diferença relativamente às medidas de microdrenagem, reside na sua escala de acção, a qual entra no contexto de um aglomerado urbano, de um município ou mesmo de uma bacia hidrográfica intermunicipal.

Assim como existem fenómenos de transferência de inundações em meio urbano entre pequenos bairros ou células de drenagem urbana de montante para jusante, o mesmo pode ocorrer entre municípios ou aglomerados urbanos que partilham uma mesma linha de água.

As medidas de macrodrenagem, têm assim subjacentes os mesmos objectivos que as medidas de microdrenagem, mudando somente a sua escala de acção, a dimensão física das soluções e o reforço do seu carácter de retenção.

3.3.1 Reservatórios e barragens

As barragens e os reservatórios de retenção traduzem as principais medidas de macrodrenagem, as quais constituem um complemento às medidas de microdrenagem quando o efeito destas é insuficiente.

Certamente, estas ao contrário das medidas de microdrenagem, não constituem soluções de base, mas sim soluções de recurso.

Sobretudo neste capítulo, dirigido às novas expansões urbanas, tais soluções não são advogadas, a menos que tenham funções de resolução de problemas que ultrapassam suas fronteiras, onde se destaca a função de reservatório de água para utilizações posteriores (uso doméstico, industrial, agrícola, etc.).

As barragens constituem tradicionalmente uma solução de grande dimensão espacial, contudo os reservatórios urbanos associados à macrodrenagem também podem atingir dimensões consideráveis como se pode observar no exemplo abaixo ilustrado.



Figura 39. Reservatório de retenção em São Paulo – Pirajuçara, Vol. 120.000m³ (PGESP, 2005).

Os efeitos produzidos pelos reservatórios de retenção são muito imediatos, pois retêm a água que está descendo e que iria transbordar pela linha de água a jusante. Terminada a chuva, a água vai sendo liberada aos poucos, de forma controlada, a fim de evitar inundações a jusante, ou seja, nos trechos à frente do reservatório construído. Estes reservatórios não constituem mais que a criação de uma nova várzea, uma área onde se possa acumular água (PGESP, 2005).

Dado o impacto que estas medidas causam, pela dimensão espacial que possuem, a sua adopção deverá ser resultado de directrizes estudadas com profundidade e emanadas de um plano director de macrodrenagem, globalizante e integrador de todas as questões que existem na bacia hidrográfica abrangente, em questão.

3.3.2 Corredores verdes

As medidas de macrodrenagem para além de terem um papel importante na minimização das cheias, têm um papel maior na gestão dos recursos hídricos preservação ambiental dos componentes ecológicos e climáticos urbanos.

O uso de soluções de corredores verdes está intimamente ligado às soluções de macrodrenagem com princípios de sustentabilidade, visto que é ao longo destes corredores que devem ser localizadas as soluções de macrodrenagem, ora por estes corredores serem um constituinte estruturante da paisagem e da ordem urbanas, ora por as soluções de macrodrenagem ocuparem grandes áreas espaciais não desprezíveis do ponto de vista do planeamento urbano de qualquer aglomerado. Sublinhe-se ainda que a

maior parte das soluções de macrodrenagem constituem espaços não construídos nem pavimentados ou constituem planos de água tão escassos em meio urbano, pelo que a sua inserção na estrutura verde é praticamente obrigatória.

Os corredores verdes deverão serpentear através do meio urbano, integrando preferencialmente no seu percurso zonas de máxima infiltração, nascentes, cursos de água e suas margens, zonas naturais de retenção como os leitos de máxima cheia, e ainda, zonas mais artificializadas como os parques e jardins, alamedas, reservatórios de retenção ou detenção, barreiras e valas de infiltração, etc.

Segundo Marques (2004) “(...) a necessidade de corredores verdes é tanto maior quanto mais densamente edificada e impermeabilizada for a paisagem, pois é nessa situação que as principais funções naturais da paisagem estão comprometidas, limitando a qualidade de vida das populações”.

É esta característica de continuidade que caracteriza a essência dos corredores verdes. É ela que lhes permite dar forma a um metabolismo unificador da paisagem, conferindo dimensão e qualidade sistemática aos espaços verdes da cidade, distinguindo-se de outras estruturas verdes isoladas e, por isso, de carácter pontual (Marques, 2004).

O seu papel no ciclo hidrológico urbano sustentável é uma evidência, se levarmos em consideração que a maior parte dos corredores verdes é espacialmente coincidente ou integra no seu percurso vales, cursos de água, nascentes, cabeceiras de linhas de água e zonas de infiltração máxima.

A criação, promoção e conservação de corredores verdes assenta na definição de unidades de paisagem que possam ligar-se entre si de modo a constituírem uma rede viva contínua que se estende da escala local até à escala global (Narciso, 2005).

3.3.3 A estrutura ecológica urbana

Como se viu, não se pode falar de medidas de macrodrenagem sem se falar em corredores verdes, e do mesmo modo não se pode falar nestes sem se falar em estrutura ecológica urbana.

Uma estrutura ecológica urbana tem por finalidade a criação de um «continuum naturale» integrado no espaço urbano, de modo a dotar a cidade de um sistema constituído por diferentes biótipos e por corredores que os interliguem, representados,

quer por ocorrências naturais, quer por espaços existentes ou criados para o efeito, que sirvam de suporte à vida silvestre (Magalhães, 2001).

Esses corredores de interligação são as estruturas verdes lineares da paisagem, de dimensões variáveis, com um metabolismo uno, contínuo e ecologicamente congruente. “Constituem um sistema diversificado, protagonizado pelo coberto vegetal, que integra o solo, elementos de água, animais silvestres e utilizadores humanos” (Marques, 2004).

A concepção de uma estrutura ecológica urbana deverá reger-se pelo programa de “verde contínuo” e assumir uma conexão entre os diferentes espaços da cidade e as linhas estruturantes.

É esta continuidade ou conectividade que define o carácter dos corredores verdes. É ela que lhes permite estabelecer um metabolismo unificador da paisagem, conferindo dimensão e qualidade sistemática aos espaços verdes da cidade, distinguindo-se de outras estruturas verdes isoladas e, por isso, de carácter objectual ou pontual (Marques, 2004).

Concluindo, as novas intervenções que encerrem preocupações ao nível da sua integração na estrutura ecológica urbana abrangente, deverão manter as continuidades preexistentes, ou criar novos verdes contínuos que ligarão à estrutura envolvente em que se inserem, sendo ao longo dessas continuidades onde deverão ser integrados preferencialmente as soluções de retenção e detenção pluvial.

3.3.4 Regras básicas para novas urbanizações

Conforme já se viu atrás, os princípios que suportam as soluções de drenagem sofreram uma evolução drástica nas últimas décadas, passando a ser desaconselhadas as soluções iniciais que consistiam em drenar as águas pluviais rapidamente para longe da fonte. Foram introduzidos conceitos de efeito cumulativo, de sustentabilidade, de estrutura verde ecológica e de planeamento integrado.

Estes princípios colidem de tal forma com as formas tradicionais de lidar com a drenagem urbana, que se chega mesmo a falar de “Princípios Modernos do Controle da Drenagem” (UFMG, 2005):

- Qualquer nova intervenção urbanística não deve aumentar ou acelerar a velocidade do escoamento de pico das condições naturais (ou das condições originais);

- Deve-se sempre considerar o conjunto da bacia hidrográfica para controle da drenagem urbana;
- Deve-se evitar a transferência dos impactos para jusante;
- Serão de valorizar as medidas não estruturais (educação tem papel fundamental);
- Deve-se implementar medidas de regulamentação e fiscalização;
- Por fim, deve-se activar instrumentos económicos (incentivos e coimas).

A aplicação destes princípios conduzem-nos às seguintes regras básicas a levar em consideração em novas urbanizações (UFMG, 2005):

- Selecção de locais pouco susceptíveis a impactos de eventuais urbanizações a montante;
- Garantir a protecção das áreas de cabeceira das linhas de água (alimentação dos aquíferos);
- Compreensão do papel da área de intervenção na estrutura verde ecológica (contínuos verdes, canais hidrológicos, toalhas freáticas);
- Desenvolvimento dos projectos de forma integrada – com objectivo de não alterar a drenagem natural nos trechos a jusante da rede de drenagem;
- Promoção da gestão da drenagem urbana sempre sob a perspectiva da bacia hidrográfica;
- Promoção de acções de educação e informação do cidadão para a gestão integrada em saneamento ambiental – com destaque para as questões da impermeabilização dos solos;
- Integração das soluções de colecta de águas residuais, de colecta de resíduos sólidos e de drenagem urbana;
- Promoção de elevados índices de coberto vegetal.

Capítulo 6

Normativo do problema da permeabilidade

1 Introdução

Como foi visto nos capítulos anteriores, para os problemas encontrados existem vários tipos de soluções técnicas, as quais deverão ser alvo de planeamento integrado e sustentável.

Apenas a boa vontade dos técnicos com formação nesta matéria não chega, para que a aplicação destas soluções tenha uma expressão generalizada no território. É necessário introduzir na gestão do território, princípios ambientais de forma abrangente,. Esses princípios devem ser materializadas no terreno, através da promoção da educação ambiental e através da criação de normas legais, as quais deverão ter expressão desde o nível nacional até ao nível municipal.

Relativamente à criação de normas, é sobretudo ao nível do município que os principais normativos deverão ser contextualizadas em termos operativos - dado o carácter micro-cumulativo dos problemas em causa. Tal contextualização deverá ser feita, por forma a que este nível promova a implementação e adaptação das regulamentações gerais aos seus casos particulares e a subsequente fiscalização do seu cumprimento.

É impensável pensar-se na resolução do problema da impermeabilização dos solos, sem se falar em intervenções ao nível das políticas de ordenamento do território.

A criação de normas e padrões municipais e a adequação e regulamentação das leis gerais, será uma exigência resultante da diversidade geomorfológica, urbana, cultural e social do território.

O presente capítulo, explorará as várias formas regulamentares existentes, que enquadram as medidas de prevenção, controle e minimização dos problemas relacionados com a impermeabilização dos solos. Serão dados exemplos nacionais e estrangeiros, que apontam para uma maior evolução da regulamentação, ao nível da integração de princípios reguladores dos volumes de drenagem urbana. Apresenta-se também, o quadro jurídico nacional nesta matéria, para possibilitar o enquadramento das soluções apresentadas.

2 Enquadramento

As políticas urbanísticas e de ordenamento do território com princípios ambientais e de sustentabilidade, constituem os elementos essenciais à criação das bases legais para o combate efectivo aos problemas resultantes da impermeabilidade dos solos urbanos.

É na materialização dessas políticas que assenta um vasto conjunto de medidas orgânicas e regulamentares que permitem orientar a actuação dos organismos públicos e dos agentes privados, em matéria de intervenção territorial.

Relativamente ao exercício do planeamento, encontramos níveis diferenciados de acção. O nível nacional, reflectido na política nacional de ordenamento. O nível regional, materializado pelas bases de ordenamento do território e planos regionais. O nível estruturante, definido por planos e estudos sectoriais à escala regional e nacional e ainda pelos planos directores municipais. E, por fim, o nível operativo, materializado por planos de urbanização, planos agro-florestais, planos de pormenor e planos especiais (Sidónio, 1990).

Será o nível operativo, aquele que aqui será tratado com maior relevância, dadas as características cumulativas do problema em estudo, conforme já referido.

A acção da gestão urbanística é sobretudo consubstanciada nesse nível, constituindo os instrumentos de planeamento operativo, as ferramentas mais preciosas em matéria de enquadramento e sustentação das decisões tomadas. Nestes instrumentos, destaca-se uma peça constituinte elementar à regulação das ocupações – o regulamento. Neste são definidas regras, índices e parâmetros que balizam as intervenções urbanísticas constituintes. Quando o plano assume um maior nível de pormenor, aparece outra importante peça de gestão que é materializada pelos quadros de ocupações ao nível das unidades urbanas (secção, quarteirão e lote).

Todas estas peças constituintes de um plano, podem encerrar regras, índices e parâmetros referentes à forma de transformar o coberto do solo original, nomeadamente no que respeita à alteração dos índices de permeabilidade. A planta de implantação do plano pode integrar soluções inseridas no próprio desenho urbano, que constituam o garante ao respeito dos princípios anteriormente referidos. Por fim, pode ainda ser componente deste nível de intervenção, plantas de pavimentações onde são legendados todos os materiais a aplicar na solução urbanística em plano.

3 Ordenamento do território e urbanismo nacionais

Antes de iniciar a abordagem aos exemplos regulamentares, interessa aqui fazer um enquadramento jurídico dos vários níveis de acção do ordenamento do território e do urbanismo no panorama jurídico português, por forma a posteriormente ser possível enquadrar as conclusões na realidade jurídica nacional.

O ordenamento do território e o urbanismo assentam no Sistema de Gestão Territorial consagrado pelo Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 310/2003, de 10 de Dezembro, que aprovou o Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial, em execução da Lei de Bases da Política do Ordenamento do Território e de Urbanismo (Lei n.º 48/98, de 11 de Agosto) (DGOTDU, 2005).

Conforme o regime jurídico consagrado nesses diplomas, o Sistema de Gestão Territorial (SGT) organiza-se, num quadro de interacção coordenada, em três âmbitos (DGOTDU, 2005):

- O âmbito nacional (entendido como o território de Portugal Continental);
- O âmbito regional;
- O âmbito municipal.

O âmbito nacional é concretizado pelos seguintes instrumentos (DGOTDU, 2005):

- O programa nacional da política de ordenamento do território (PNPOT);
- Os planos sectoriais com incidência territorial (PSIT);
- Os planos especiais de ordenamento do território (PEOT), que integram os planos de ordenamento de áreas protegidas (POAP), os planos de ordenamento de albufeiras de águas públicas (POAAP), os planos de ordenamento da orla costeira (POOC) e os planos de ordenamento dos parques arqueológicos (POPA).

O âmbito regional é concretizado apenas através dos planos regionais de ordenamento do território (PROT).

O âmbito municipal é concebido através dos seguintes instrumentos (DGOTDU, 2005):

- Os planos intermunicipais de ordenamento do território (PIOT);
- Os planos municipais de ordenamento do território (PMOT), materializados nos planos directores municipais (PDM), nos planos de urbanização (PU) e nos planos de pormenor (PP).

3.1 Lei geral

Os instrumentos de planeamento existentes que podem ter um papel decisivo no controle da impermeabilização dos solos aparecem, desde logo, dentro do âmbito nacional de acção do SGT. Esses instrumentos integram-se no programa nacional da política de ordenamento do território e possuem já pressupostos que funcionam nesse sentido. O mais importante existente no nosso país é materializado pela figura da Reserva Ecológica Nacional.

3.1.1 Reserva Ecológica Nacional

As áreas da Reserva Ecológica Nacional (REN) têm características ecológicas específicas e a sua delimitação procura garantir a protecção de ecossistemas, permitindo um enquadramento equilibrado das actividades humanas (DGOTDU, 2005).

A REN, definida no Decreto-Lei 93/90 de 5 de Março, é a "estrutura biofísica básica e diversificada que, através do condicionamento à utilização de áreas" com riscos de erosão (litoral ou de vertente), de recarga de aquíferos ou com riscos de inundação, garante a protecção ambiental (Pereira, 2000).

Esse diploma estipula que "nas áreas incluídas na REN, são proibidas as acções de iniciativa pública ou privada que se traduzam em operações de loteamento, obras de urbanização, construção de edifícios, obras hidráulicas, vias de comunicação, aterros, escavações e destruição do coberto vegetal". Note-se que todas essas acções, que são proibidas na REN, constituem intervenções com potenciais efeitos na diminuição da permeabilidade dos solos.

Das áreas a considerar para efeitos de integração na REN, nos termos do artigo 2.º do referido diploma, aquelas cuja integração tem repercussões positivas directas, no que respeita ao combate dos efeitos da impermeabilização dos solos são:

"(...)

2) Nas zonas ribeirinhas, águas interiores e áreas de infiltração máxima ou de apanhamento:

- a) Leitos dos cursos de água e zonas ameaçadas pelas cheias;
 - b) Lagoas, suas margens naturais e zonas húmidas adjacentes e uma faixa de protecção delimitada a partir da linha de máximo alagamento;
 - c) Albufeiras e uma faixa de protecção delimitada a partir do regolho máximo;
 - d) Cabeceiras das linhas de água sempre que a sua dimensão e situação em relação à bacia hidrográfica tenha repercussões sensíveis no regime do curso de água e na erosão das cabeceiras ou das áreas situadas a jusante;
 - e) Áreas de máxima infiltração;
 - f) Ínsuas;
- "(...)"

As preocupações ambientais presentes na REN, são transpostas para os instrumentos de âmbito regional e municipal, sendo este último onde se tornam verdadeiramente operativas, dada a sua escala de acção.

3.1.2 Servidões e restrições de utilidade pública

As servidões e restrições de utilidade pública constituem outro instrumento de âmbito nacional cujas directivas, à semelhança da REN, também são integradas nos instrumentos de âmbito regional e âmbito municipal.

Das servidões e restrições de utilidade pública instituídas em Portugal, aquelas que interessa aqui referenciar são as relativas ao domínio público hídrico, destacando-se neste âmbito, os seguintes diplomas (INAG, 2005):

“(…)

Decreto n.º 5787-III, de 10 de Maio de 1919 . DG 98 SÉRIE I de 1919-05-10

Ministério do Comércio e Comunicações

Lei das Águas - define o domínio público hídrico - (art. 1º em vigor);

Decreto-Lei n.º 468/71. DR 260/71 SÉRIE I de 1971-11-05

Ministérios da Marinha e das Obras Públicas

Revê, actualiza e unifica o regime jurídico dos terrenos do domínio público hídrico, no qual se incluem os leitos e as margens das águas do mar, correntes de água, lagos e lagoas, de modo a facilitar o seu aproveitamento para os diversos usos de que são economicamente susceptíveis - Revoga várias disposições legislativas.

Rectificação. DR 297/71 SÉRIE I de 1971-12-21

Presidência do Conselho - Secretaria-Geral

Ao Decreto-Lei n.º 468/71, que revê, actualiza e unifica o regime jurídico dos terrenos do domínio público hídrico, no qual se incluem os leitos e as margens das águas do mar, correntes de água, lagos e lagoas, de modo a facilitar o seu aproveitamento para os diversos usos de que são economicamente susceptíveis.

Decreto-Lei n.º 53/74. DR 39/74 SÉRIE I de 1974-02-15

Ministérios da Marinha, das Obras Públicas e das Comunicações.

Altera a redacção do artigo 20.º do Decreto-Lei n.º 468/71, de 5 de Novembro, relativo ao regime jurídico dos terrenos submetidos ao domínio público hídrico.

Decreto-Lei n.º 513-P/79. DR 296/79 SÉRIE I 1º

SUPLEMENTO de 1979-12-26

Ministério da Habitação e Obras Públicas - Secretaria de Estado das Obras Públicas - Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos.

Estabelece um regime de transição entre a aplicabilidade prática das disposições consignadas no Decreto-Lei n.º 468/71, de 5 de Novembro, e as que constam de legislação que o precede no que respeita à utilização dos leitos e margens dos cursos de água, lagos e lagoas, incluindo as zonas inundáveis pelas cheias.

Decreto-Lei n.º 89/87. DR 48/87 SÉRIE I de 1987-02-26

Ministério do Plano e da Administração do Território

Estabelece medidas de protecção às zonas ameaçadas pelas cheias, introduzindo alterações ao Decreto-Lei n.º 468/71, de 5 de Novembro.

Decreto-Lei n.º 46/94. DR 44/94 SÉRIE I-A de 1994-02-22

Ministério do Ambiente e Recursos Naturais

Estabelece o regime de licenciamento da utilização do domínio hídrico, sob jurisdição do Instituto da Água.

Decreto-Lei n.º 234/98. DR 167/98 SÉRIE I-A de 1998-07-22

Ministério do Ambiente

Altera os artigos 45.º, 46.º, 47.º e 48.º do Decreto-Lei n.º 46/94, de 22 de Fevereiro (limpeza e desobstrução de linhas de água).

Decreto-Lei n.º 364/98. DR 270/98 SÉRIE I-A de 1998-11-21

Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território

Estabelece a obrigatoriedade de elaboração da carta de zonas inundáveis nos municípios com aglomerados urbanos atingidos por cheias (...)

3.2 Planos especiais

Ainda dentro âmbito nacional, assinalam-se os planos de ordenamento de albufeiras de águas públicas (POAAP) como instrumentos que também podem ter um importante papel na minimização de cheias em zonas urbanas a jusante, através da inclusão de princípios e regras de ocupação, uso e transformação dos solos envolventes que drenam para a albufeira. Estas regras a aplicar nos solos envolventes, com finalidades de detenção das drenagens, podem também ser complementadas com planos agro-florestais.

3.3 Planos regionais

Os planos regionais de ordenamento do território (PROT's) constituem instrumentos que definem a estratégia regional de desenvolvimento territorial, integrando as opções estabelecidas a nível nacional e considerando as estratégias municipais de desenvolvimento local, constituindo o quadro de referência para a elaboração dos planos municipais de ordenamento do território (DROTRH, 2005). Caso estes planos integrem princípios de sustentabilidade relativamente à drenagem, será meio caminho andado para que os PMOT's os passem a integrar também.

Outros tipos de planos regionais existem, como os planos regionais de ordenamento florestal (PROF), criados em 1996 pela Lei de Bases da Política Florestal. Estes desenvolvem as orientações preconizadas ao nível do planeamento florestal nacional e da legislação em vigor, traduzindo-as sempre que necessário em programas de acção, em atribuição de competências ou em normas concretas de silvicultura e de utilização do território (DGRF, 2005).

Apesar destes poderem desempenhar um papel importante no “ordenamento da detenção pluvial” nas serras e montanhas que alimentam as linhas de água que a jusante atravessam as áreas urbanas, essa componente não foi observada nos exemplos consultados, como sendo preocupação constituinte e importante do plano. Estes planos parecem ser sobretudo instrumentos com finalidades de ordenamento silvícola, não integrando na desejável medida o estudo e a relação do tipo de coberto vegetal com as escorrências pluviais superficiais geradas, nem acautelando preocupações deliberadas de minimização dos efeitos de cheia nas zonas a jusante da bacias hidrográficas florestadas.

3.4 Planos de bacia hidrográfica

Os planos de bacia hidrográfica em Portugal são regulados pelo Decreto-Lei n.º 45/94, de 22 de Fevereiro. De acordo com a sua redacção, “uma correcta gestão dos recursos hídricos passa por uma adequada política de planeamento, assente numa abordagem territorialmente integrada e numa perspectiva qualitativa e quantitativa do meio. O apoio no planeamento reveste-se da maior importância, verificada a inexistência de abundância sustentada de água associada à enorme irregularidade espacial e temporal, o que obriga a uma gestão rigorosa, para além da realização de pesados investimentos em infra-estruturas. O meio hídrico, como ecossistema, reveste-se de enorme sensibilidade e requer a tomada de medidas específicas de salvaguarda das suas características biofísicas. ”

Contudo, como se pode constatar pelo seu articulado, esta figura de plano, adequa-se sobretudo às grandes bacias hidrográficas, não dando relevância às questões da artificialização de pequenas bacias em meio urbano que podem resultar em fenómenos de cheias localizadas:

“(…)

CAPÍTULO I

Disposições gerais

Artigo 1.º

Objecto

O presente diploma regula o processo de planeamento de recursos hídricos e a elaboração e aprovação dos planos de recursos hídricos.

Artigo 2.º

Planeamento de recursos hídricos

1 - O planeamento é concretizado mediante planos de recursos hídricos.

2 - O planeamento de recursos hídricos tem por objectivos gerais a valorização, a protecção e a gestão equilibrada dos recursos hídricos nacionais, assegurando a sua harmonização com o desenvolvimento regional e sectorial através da economia do seu emprego e racionalização dos seus usos.

3 - O planeamento deve observar os seguintes requisitos:

- a) Globalidade, baseando-se numa abordagem conjunta e interligada dos aspectos técnicos, económicos, ambientais e institucionais;
- b) Racionalidade, visando a optimização da exploração das várias origens da água e a satisfação das várias necessidades, articulando a procura e a oferta e salvaguardando a preservação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos, bem como uma aplicação

económica dos recursos financeiros;

c) Integração, em articulação com o planeamento dos sectores de utilização, com o planeamento regional, com o ordenamento do território e com a conservação e protecção do ambiente;

d) Participação, envolvendo agentes económicos e as populações directamente interessadas e visando o alargamento de consensos;

e) Estratégia, dando respostas imediatas face à informação disponível.

Artigo 3.º

Zonas de protecção

1 - Podem ser classificadas de protecção determinadas zonas, nomeadamente bacias ou partes de bacias, aquíferos ou massas de água que pelas suas características naturais e valor ambiental, económico ou social assumam interesse público.

2 - Quando forem classificadas as zonas de protecção referidas no número anterior, os planos de recursos hídricos devem conter a sua classificação e as condições específicas para a sua protecção.

3 - As condições referidas no número anterior devem ser observadas nos instrumentos de ordenamento do território.

4 - As zonas de protecção devem incluir as áreas integradas na Reserva Ecológica Nacional, nos termos da legislação em vigor.

(…)

(…)

CAPÍTULO II

Planos de recursos hídricos

Artigo 4.º

Tipologia

1 - Os planos de recursos hídricos compreendem:

- a) O Plano Nacional da Água (PNA), que abrange todo o território nacional;
- b) Os planos de bacia hidrográfica (PBH), que abrangem as seguintes bacias hidrográficas:
- i) Bacia hidrográfica do Minho; ii) Bacia hidrográfica do Lima; iii) Bacia hidrográfica do Cávado; iv) Bacia

hidrográfica do Ave; v) Bacia hidrográfica do Douro; vi) Bacia hidrográfica do Leça; vii) Bacia hidrográfica do Vouga; viii) Bacia hidrográfica do Mondego; ix) Bacia hidrográfica do Lis; x) Bacia hidrográfica das ribeiras do Oeste; xi) Bacia hidrográfica do Tejo; xii) Bacia hidrográfica do Sado; xiii) Bacia hidrográfica do Mira; xiv) Bacia hidrográfica do Guadiana; xv) Bacia hidrográfica das ribeiras do Algarve.

2 - Podem existir planos que abranjam pequenos cursos de água relativamente aos quais se justifique o mencionado plano por razões ambientais. (...)
(DL 45/94)

3.5 Planos directores municipais

É com os planos directores municipais (PDM) que entramos na primeira componente de planeamento que já contempla algumas medidas operativas, apesar de esta constituir sobretudo, um instrumento estruturante do planeamento municipal.

Em Portugal os PDM's são regulados pelo Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 310/2003, de 10 de Dezembro.

É no seu conteúdo material (artigo 85º) que se encontram inseridas preocupações ambientais e de sustentabilidade, nomeadamente no estabelecimentos de:

“(…)

b) A definição e caracterização da área de intervenção, identificando (...) os sistemas de telecomunicações, de abastecimento de energia, de captação, **de tratamento e abastecimento de água, de drenagem e tratamento de efluentes** e de recolha, depósito e tratamento de resíduos;

c) A definição dos sistemas de protecção dos valores e recursos naturais, culturais, agrícolas e florestais, identificando a **estrutura ecológica municipal**;

d) Os objectivos de desenvolvimento estratégico a prosseguir e os **critérios de sustentabilidade a adoptar**, bem como os meios disponíveis e as acções propostas;
(...)

j) A especificação qualitativa e quantitativa dos **índices, indicadores e parâmetros de referência, urbanísticos ou de ordenamento**, a estabelecer em plano de urbanização e plano de pormenor, bem como os de natureza supletiva aplicáveis na ausência destes;

l) A **definição de unidades operativas de planeamento e gestão**, para efeitos de programação da execução do plano, estabelecendo para cada uma das mesmas os respectivos objectivos, bem como os **termos de referência para a necessária elaboração de planos de urbanização e de pormenor**;
(...)

n) A identificação de condicionantes, designadamente reservas e zonas de protecção, bem como das necessárias à concretização dos planos de protecção civil de carácter permanente; (...)
(DL 310/2003)

É também na definição quantitativa de índices urbanísticos ou de ordenamento (onde se destacam os índices de impermeabilização do solo, no caso em estudo), e complementarmente na sua natureza supletiva (relativamente à sua aplicação na ausência de planos de urbanização e de pormenor), que reside o seu carácter operativo, ao constituir uma incontornável ferramenta de gestão urbanística municipal.

Por outro lado, considera-se fundamental a definição da estrutura ecológica municipal, para que as intervenções de maior pormenor (em PU's e PP's) contemplem as questões ambientais fundamentais, de forma coerente e integrada. Tal estrutura constituirá a base do garante da sustentabilidade ambiental em meio urbano, através da identificação e formalização de uma rede de corredores verdes urbanos de vários níveis de importância, os quais agregam diferentes tipos de espaço e de uso.

3.6 Planos de urbanização

Aos planos de urbanização (PU), é conferida a primeira figura operativa por natureza, dentro da hierarquia que tem vindo a ser seguida neste capítulo.

Em Portugal os PU são regulados também pelo Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 310/2003, de 10 de Dezembro.

É na formalização do seu conteúdo material (artigo 88º) que se deixam antever preocupações ambientais e de sustentabilidade, nomeadamente no estabelecimentos de:

“(…)

a) A definição e caracterização da área de intervenção identificando os **valores culturais e naturais a proteger**;

b) A concepção geral da organização urbana, a partir da qualificação do solo, definindo a rede viária estruturante, a localização de equipamentos de uso e interesse colectivo, a **estrutura ecológica**, bem como o sistema urbano de circulação de transporte público e privado e de estacionamento;

c) A definição do **zonamento** para localização das diversas funções urbanas, designadamente habitacionais, comerciais, turísticas, de serviços e industriais, bem como identificação das áreas a recuperar ou reconverter;

d) A adequação do perímetro urbano definido no plano director municipal em função do zonamento e da concepção geral da organização urbana definidos;

e) Os **indicadores e os parâmetros urbanísticos** aplicáveis a cada uma das categorias e subcategorias de espaços;

f) As **subunidades operativas de planeamento e gestão**.
“(…)”

(DL 310/2003)

Se já nos PDM's se podia conceber a definição de unidades operativas de planeamento eventualmente coincidentes com sub-bacias hidrográficas, nos PU's essa concepção pode ser ainda mais particularizada, no sentido de poder vir a coincidir com células de drenagem (descritas no Capítulo 5).

3.7 Planos de pormenor

Em Portugal os PP's, à semelhança dos PU's e PDM's, são regulados também pelo Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 310/2003, de 10 de Dezembro.

É no seu artigo 91º (conteúdo material) que se encontram preocupações ambientais e de sustentabilidade, mais concretamente através do estabelecimento de:

“(…)

a) A definição e caracterização da área de intervenção, identificando, quando se justifique, os **valores culturais e naturais a proteger**;

(…)

c) O desenho urbano, exprimindo a **definição dos espaços públicos**, de circulação viária e pedonal, de estacionamento, bem como do respectivo tratamento, alinhamentos, implantações, **modelação do terreno**, distribuição volumétrica, bem como a localização dos equipamentos e **zonas verdes**;

d) A **distribuição de funções e a definição de parâmetros urbanísticos**, designadamente índices, densidade de fogos, número de pisos e cérceas;

e) **Indicadores relativos às cores e materiais a utilizar**;

f) As **operações de demolição**, conservação e reabilitação das construções existentes;

(…)

3 - O plano de pormenor relativo a área não abrangida por plano de urbanização, incluindo as intervenções em solo rural, procede à prévia explicitação do zonamento com base na disciplina consagrada no plano director municipal. (…)”
(DL 310/2003)

Os PP's, poderão assim, desempenhar um papel maior na concretização da aplicação efectiva das medidas de microdrenagem e refrigeração do ambiente referidas no Capítulo 5, dado caber-lhes desenvolver e concretizar propostas de organização espacial, definindo com detalhe a concepção da forma da ocupação urbana e ainda servir de base aos projectos de execução de infra-estruturas, de arquitectura dos edifícios e, por fim, dos espaços exteriores.

Essas propostas de organização espacial, logicamente estarão de acordo com as prioridades estabelecidas nos programas de execução constantes no PDM ou PU. Contudo, a “forma desenhada” dos parâmetros urbanísticos de onde se destaca o índice de impermeabilização, a garantia de corredores verdes (físicos ou visuais), e a imposição do uso de materiais com preocupações relativas à impermeabilização dos solos, deverá ser uma obrigatoriedade, num PP com preocupações de sustentabilidade.

3.8 Loteamentos

Apesar dos loteamentos não constituírem uma figura de planeamento de iniciativa pública, cumpre aqui referencia-los dado que se considera que o seu âmbito de intervenção territorial é equiparado ao do Plano de Pormenor e que, a legislação que os enquadra também é revestida de alguns parâmetros com propósitos ambientais.

O seu enquadramento legal em Portugal é dado pelo Decreto-Lei n.º 177/2001 de 4 de Junho (diploma que aprova o novo regime jurídico da urbanização e da edificação), sendo através da Portaria n.º 1136/2001 de 25 de Setembro que se estabelecem os parâmetros urbanísticos a aplicar (artigo 128º).

Essa portaria encerra de forma objectiva e quantificada, preocupações no dimensionamento relativo de áreas destinadas à implantação de espaços verdes e de utilização colectiva, sempre que os planos de ordem superior não sejam possuidores de índices e parâmetros para esse efeito. Essas preocupações são materializadas nos Quadros I e II anexos à Portaria, e que se apresentam abaixo:

Tabela 11. Parâmetros de dimensionamento I (Portaria 1136/2001).

Tipo de ocupação	Espços verdes e de utilização colectiva	Equipamentos de utilização colectiva	Infra-estruturas — Estacionamento (e)
Habitação em moradia unifamiliar.	28 m ² /fogo	35 m ² /fogo	1 lugar/fogo com a. c. < 120 m ² ; 2 lugares/fogo com a. c. entre 120 m ² e 300 m ² ; 3 lugares/fogo com a. c. > 300 m ² . O número total de lugares resultante da aplicação dos critérios anteriores é acrescido de 20 % para estacionamento público.
Habitação colectiva	28 m ² /120 m ² a. c. hab.	35 m ² /120 m ² a. c. hab.	Habitação com indicação de tipologia: 1 lugar/fogo T0 e T1; 1,5 lugares/fogo T2 e T3; 2 lugares/fogo T4, T5 e T6; 3 lugares/fogo > T6; O número total de lugares resultante da aplicação dos critérios anteriores é acrescido de 20 % para estacionamento público.
			Habitação sem indicação de tipologia: 1 lugar/fogo para a. m. < 90 m ² ; 1,5 lugares/fogo para a. m. f. entre 90 m ² e 120 m ² ; 2 lugares/fogo para a. m. f. entre 120 m ² e 300 m ² ; 3 lugares/fogo para a. m. f. > 300 m ² ; O número total de lugares resultante da aplicação dos critérios anteriores é acrescido de 20 % para estacionamento público.
Comércio	28 m ² /100 m ² a. c. com.	25 m ² /100 m ² a. c. com.	Comércio: 1 lugar/30 m ² a. c. com. para establ. < 1000 m ² a. c.; 1 lugar/25 m ² a. c. com. para establ. de 1000 m ² a 2500 m ² a. c.; 1 lugar/15 m ² a. c. com. para establ. > 2500 m ² a. c. e cumulativamente 1 lugar de pesado/200 m ² a. c. com.
Serviços	28 m ² /100 m ² a. c. serv.	25 m ² /100 m ² a. c. serv.	3 lugares/100 m ² a. c. serv. para establ. ≤ 500 m ² . 5 lugares/100 m ² a. c. serv. para establ. > 500 m ² . O número total de lugares resultante da aplicação dos critérios anteriores é acrescido de 30 % para estacionamento público.
Indústria e ou armazéns ...	23 m ² /100 m ² a. c. ind./armaz.	10 m ² /100 m ² a. c. ind./armaz.	1 lugar/75 m ² a. c. ind./armaz. Pesados: 1 lugar/500 m ² a. c. ind./armaz., com um mínimo de 1 lugar/lote (a localizar no interior do lote). O número total de lugares resultante da aplicação dos critérios anteriores é acrescido de 20 % para estacionamento público.

Tabela 12. Parâmetros de dimensionamento II (Portaria 1136/2001).

Tipos de ocupação	Infra-estruturas — Arnuamentos (b)
Habitação a. c. hab. > 80 % a. c.	Perfil tipo $\geq 9,7$ m. Faixa de rodagem=6,5 m. Passeio=1,6 m ($\times 2$). Estacionamento=[(2,25 m) ($\times 2$)] (opcional). Caldeiras para árvores=[(1,0 m) ($\times 2$)] (opcional).
Habitação (se a. c. hab. < 80 %), comércio e ou serviços.	Perfil tipo ≥ 12 m. Faixa de rodagem=7,5 m. Passeios=2,25 m ($\times 2$). Estacionamento=[(2,25 m) ($\times 2$)] (opcional). Caldeiras para árvores=[(1,0 m) ($\times 2$)] (opcional).
Quando exista indústria e ou armazéns.	Perfil tipo $\geq 12,2$ m. Faixa de rodagem=9 m. Passeios=1,6 m ($\times 2$). Estacionamento=[(2,5 m) ($\times 2$)] (opcional). Caldeiras para árvores=[(1,0 m) ($\times 2$)] (opcional).

3.9 Considerações sobre o enquadramento legal nacional

Conforme observado pelo enquadramento realizado ao longo do ponto 3, as regulamentações com preocupações ambientais e de sustentabilidade, encontram-se patentes nos vários âmbitos de acção nacional do planeamento e ordenamento do território.

É nesses normativos que as medidas que levam em consideração as questões da impermeabilização dos solos se deverão enquadrar. Contudo, pode constatar-se que, regulamentações que tenham sido expressamente realizadas com a preocupação directa e particular da impermeabilidade dos solos não se encontram na legislação portuguesa. Caberá assim aos normativos dos próprios planos urbanísticos interpretar também as preocupações ambientais emanadas do enquadramento legal existente no sentido da salvaguarda das questões relativas à impermeabilização dos solos.

Assim, o próximo ponto mostrará alguns exemplos de articulados que primam pela integração das questões de drenagem nos seus regulamentos.

4 Regulamentos de planos com preocupações de permeabilidade em Portugal

Após uma pesquisa efectuada sobre os regulamentos de vários publicados em Diário da Republica Portuguesa, encontrara-se vários exemplos de normativo com preocupações relativas à impermeabilização do solo. Dos vários exemplos consultados, sobressai a existência das seguintes tipologias: os normativos genéricos, que são de interpretação subjectiva e sobretudo consequência da adaptação à letra da lei geral; e os normativos quantitativos que definem índices e parâmetros de interpretação objectiva.

Nas próximas páginas vão-se apresentar excertos dos regulamentos, nomeadamente das partes consideradas mais importantes na regulação da impermeabilização, sendo a versão integral dos mesmos apresentada no anexo da presente tese.

4.1 Exemplos em PDM

O primeiro exemplo que se apresenta, diz respeito ao regulamento do PDM do Concelho de Águeda ¹, onde a zona baixa da cidade tem sido fustigada por cheias nos Invernos chuvosos com destaque para os anos de 2001 e 2003. A Assembleia Municipal de Águeda aprovou, em 9 de Setembro de 1994, o seu PDM, sem que em todo o regulamento apareça referenciado qualquer tipo de norma relativa ao revestimento e à permeabilidade do solo (PDM ratificado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 3/95, em 16 de Janeiro).

O segundo exemplo refere-se ao regulamento do PDM do Concelho de Fafe, ratificado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 13/99, onde a única referência à permeabilidade se traduz quase numa transposição à letra, das leis gerais com destaque para a REN:

“(…)

Capítulo II - Reserva Ecológica Nacional

Art.º 7º - Âmbito e Estatuto de Uso e Ocupação

1. As áreas da Reserva Ecológica Nacional referenciadas na Planta de Condicionantes correspondem à delimitação aprovada das áreas a integrar na REN relativas ao Concelho de Fafe e que são as seguintes:
 - a. Leito dos cursos de água
 - b. Zonas ameaçadas pelas cheias
 - c. Albufeira de Queimadela e faixa de protecção
 - d. Cabeceiras das linhas de água
 - e. Áreas de infiltração máxima
 - f. Áreas com risco de erosão
2. Às áreas da REN é aplicável o seu regime jurídico e tendo em conta o estabelecido nos números seguintes deste artigo.
3. Nas cabeceiras das linhas de água deverá assegurar-se a defesa contra a erosão e evitar-se obstruções ao escoamento superficial de água, favorecendo a infiltração das águas pluviais.
4. Para efeitos do número anterior deverá proteger-se o coberto vegetal existente e reduzir as áreas não revestidas, privilegiando os seguintes tipos de revestimento vegetal:
 - a. Nas áreas agrícolas, os prados e as pastagens permanentes.
 - b. Nas áreas florestais acima dos 500 m, com baixo risco de erosão, a vegetação espontânea para pastagem extensiva.
 - c. Nas partes mais altas das linhas de água de regime torrencial e nas encostas de pendentes acentuadas, a floresta de protecção predominantemente de carvalho e mistos de folhosas.
5. Nas áreas de infiltração máxima deverá assegurar-se a implantação de coberto vegetal que favoreça a retenção da água e aumente a permeabilidade ao nível superficial do solo, contribuindo para o retardamento do escoamento superficial da água das chuvas.
 - a. Nas áreas agrícolas serão recomendáveis os prados permanentes e as práticas culturais adequadas, com lavouras segundo as curvas de nível e rotações que contrariem a ocorrência de solo nu na época das chuvas.
 - b. Nas áreas florestais deverá assegurar-se a sua função de retenção das águas, privilegiando os mistos de folhosas nos maciços e cortinas de protecção das áreas agrícolas.
 - c. Nos núcleos florestais existentes deverão contrariar-se os cortes rasos e deverá proceder-se à reflorestação das áreas ardidas, com espécies adequadas à sua função de protecção.
6. Nas áreas de infiltração máxima não é permitido o depósito de resíduos sólidos poluentes e a descarga directa de efluentes líquidos poluentes de qualquer natureza.
7. Nas áreas com risco de erosão deverá assegurar-se a fixação e melhoramento do solo, através da protecção e extensão das áreas com vegetação natural.
8. Para efeitos do número anterior deverão proteger-se as áreas de floresta autóctone de carvalhos e alargar-se a sua área com plantações nas linhas de água e nas encostas mais declivosas, não protegidas.

(…)” (extraído de www.cm-fafe.pt em Novembro de 2005)

Capítulo III - Áreas Afectas a Recursos Hídricos Superficiais

Art.º 8º - Âmbito

1. São áreas afectas a recursos hídricos superficiais, nos termos da legislação vigente e do presente Regulamento, as seguintes:
 - a. Leitos dos cursos de água não navegáveis nem fluviáveis e respectivas margens de 10 metros além do limite do leito, em condições de caudal médio.
 - b. Zonas ameaçadas pelas cheias, contíguas às margens do Rio Vizela, na freguesia de Cepães e do Rio Bugio, na freguesia de S. Martinho de Silveiras.
 - c. Albufeira de Queimadela e faixa de protecção, de acordo com os limites representados na Planta de Ordenamento e Planta de Condicionantes, de largura igual a 300 metros medidos a partir do regolho máximo, excepto nas áreas adjacentes ao perímetro do aglomerado 118 e ao parque de campismo, onde a largura mínima da faixa de protecção é, respectivamente, de 30 metros e de 50 metros.

Art.º 9º - Estatuto de Uso e Ocupação do Leito e Margens dos Cursos de Água e Zonas Ameaçadas pelas Cheias

1. No leito e margens dos cursos de água e nas zonas ameaçadas pelas cheias, não é permitido:
 - a. Implantar edifícios ou realizar obras susceptíveis de obstruir a livre passagem das águas.
 - b. Destruir o coberto vegetal ou alterar o relevo natural.
 - c. Instalar vazadouros, lixeiras, parques de sucata ou outros depósitos de materiais ou de resíduos sólidos.

Art.º 10º - Estatuto de Uso e Ocupação da Faixa de Protecção à Albufeira de Queimadela

1. Na faixa de protecção à albufeira de Queimadela não é permitido:
 - a. Implantar quaisquer construções que não sejam de infra-estruturas de apoio à sua utilização, excepto quando se trate de conjuntos turísticos, meios complementares de alojamento turístico e estabelecimentos hoteleiros e similares, localizados na faixa de protecção à barragem de Queimadela e desde que não integrados na zona reservada e ou em qualquer outro ecossistema da R.E.N.
 - b. O estabelecido na alínea b) e c) do Art.º 9º, excepto quando decorrentes de acções devidamente licenciadas;
 - c. A descarga ou infiltração no terreno, de esgotos de qualquer natureza, não devidamente tratados e, mesmo tratados, quando seja viável o seu lançamento a jusante da albufeira.

¹ Publicado em Diário da República de 9 de Março 1999 - Resolução do Conselho de Ministros n.º 13/99.

O terceiro exemplo seleccionado, diz respeito ao PDM do Concelho de Oliveira do Bairro² e já apresenta preocupações quantitativas e específicas, sob a forma de índice de impermeabilização (IP):

“(…) Artigo 6.º

Definições (…)

5 - **Índice de impermeabilização** é a razão entre as áreas de implantação da construção, dos anexos e das áreas descobertas impermeabilizadas e a área total do lote ou parcela. (…)

SECÇÃO I

Espaços urbanos (…)

Artigo 19.º

Regime de edificabilidade

1 - As obras de remodelação só serão viáveis quando a actual implantação não prejudicar o alargamento previsto de vias.

2 - **O índice de impermeabilização não poderá ser superior a 65%.**

3 - As construções serão isoladas, geminadas ou em banda contínua, de acordo com a largura da parcela e das parcelas adjacentes, sendo apreciadas caso a caso pela Câmara Municipal, de forma a equilibrar a ocupação. (…)

SECÇÃO III

Espaços urbanizáveis (…)

4 - No interior das parcelas destinadas a habitação são permitidas outras edificações que se destinam a uso complementar ou compatível com a função residencial. Estas edificações só poderão ter um piso e a sua área encerrada e coberta não poderá exceder 60 m², não contando para tal a área destinada a estacionamento e **não seja excedido o índice de impermeabilização estabelecido no n.º 2 do artigo 19.º deste Regulamento.** (…)

O último exemplo seleccionado, relativo ao PDM do Concelho de Lagos³, apresenta preocupações quantitativas ainda mais específicas, sob a forma de coeficiente de impermeabilização do solo (CIS):

“(…) Artigo 24.º

Condicionantes gerais das zonas de ocupação turística

As zonas de ocupação turística regem-se pelo Decreto Regulamentar n.º 11/91, de 21 de Março, nomeadamente o seu artigo 11.º e, bem assim, pelas normas fixadas no despacho conjunto MPAT/MCT publicado no Diário da República, 2.ª série, de 5 de Janeiro de 1993, designadamente:

1 - Os estabelecimentos hoteleiros classificados nos grupos 1 (hotéis), 4 (estalagens) e 6 (hotéis-apartamentos) do artigo 12.º do Decreto-Lei n.º 328/86, de 30 de Setembro, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 149/88, de 27 de Abril, devem respeitar os seguintes requisitos:

- a) Densidade populacional: < habitantes/ha;
- b) Coeficiente de ocupação do solo (COS): Empreendimentos de luxo, de 5 e de 4 estrelas: ≤ 0,50; Empreendimentos de outras categorias: ≤ 0,40;
- c) Coeficiente de afectação do solo (CAS): ≤ 0,15;
- d) **Coeficiente de impermeabilização do solo (CIS): ≤ 0,30;**
- e) Altura máxima das construções: Empreendimentos de luxo, de 5 e de 4 estrelas: 15 m; Empreendimentos de outras categorias: 13,5 m;
- f) Afastamento mínimo das construções a todos os limites do terreno: Empreendimentos de luxo, de 5 e de 4 estrelas: 13,5 m; Empreendimentos de outras categorias: 12,5 m.

2 - Os estabelecimentos hoteleiros a que alude o número anterior não poderão ter uma altura superior a 8 m e um máximo de dois pisos quando se situem a uma distância inferior a 350 m do limite da margem das águas do mar ou das respectivas zonas adjacentes como tal classificadas.

3 - Para efeitos do número anterior, entende-se por «margem das águas do mar» e «zonas adjacentes» as noções fixadas nos artigos 3.º e 4.º do Decreto-Lei n.º 468/71, de 5 de Novembro.

4 - Os loteamentos, as construções e os empreendimentos abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 328/86, de 30 de Setembro, e não incluídos no n.º 1 do presente despacho devem respeitar os seguintes requisitos:

- a) Densidade populacional: ≤ 60 habitantes/ha;
- b) COS: ≤ 0,20;
- c) CAS: ≤ 0,15;
- d) **CIS: ≤ 0,25;**
- e) Altura máxima das construções: 6,5 m;
- f) Afastamento mínimo das construções a todos os limites do terreno: 6,5 m.

5 - Exceptuam-se do disposto no número anterior as parcelas de terreno destinadas a moradias unifamiliares, ficando a sua ocupação sujeita aos seguintes requisitos:

- a) COS: ≤ 0,15;
- b) CAS: ≤ 0,10;
- c) **CIS: ≤ 0,15;**
- d) Altura máxima das construções: 6,5 m;
- e) Afastamento mínimo das construções a todos os limites do terreno: 5 m. (…)

² Publicado em Diário da República de 29 de Julho de 1999 - Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/99.

³ Publicado em Diário da República de 3 de Abril de 1995 - Resolução do Conselho de Ministros n.º 28/95.

Os exemplos apresentados espelham um pouco a realidade nacional dos regulamentos de PDM nesta matéria. Da consulta de cerca de duas dezenas de regulamentos, verificou-se que a ausência de normas quantitativas é a mais frequente. Por outro lado, quando os índices são presentes, estes apresentam discrepâncias de valores, aparentemente sem sustentação técnica (veja-se em Oliveira do Bairro com $IP \leq 65\%$ e em Lagos um $CIS \leq 0,25$ para loteamentos em geral).

Como tal, uma primeira conclusão empírica lança-nos para a ideia de que ainda existe um caminho significativo a percorrer em matéria de PDM no nosso País.

4.2 Exemplos em PU

Após uma pesquisa efectuada sobre os regulamentos de PU's publicados em Diário da República, apresenta-se abaixo um dos exemplos mais recentes, para o ano de 2004 - Plano de Urbanização do Cadaval e Adão Lobo⁴:

“(…) Artigo 5.º

Definições

Para efeitos do presente Regulamento, são adoptadas as seguintes definições:

(…)

g) «**Índice de impermeabilização**» - quociente entre o total da área de terreno pavimentada, incluindo arruamentos e estacionamento não revestidos, e a área da parcela de terreno a que respeita, medida pelo seu limite, referido em percentagem;

(…)

Artigo 24.º

Subzona de equipamento e serviços (EX(índice EQ))

1 - Na subzona de equipamentos e serviços (EX(índice EQ)) apenas são permitidos os seguintes usos:

- a) Habitação (somente em casos previstos em loteamentos aprovados antes da entrada em vigor do PU);
- b) Serviços;
- c) Comércio;
- d) Equipamentos;
- e) Indústria, exclusivamente para as classes C e D.

2 - As obras de construção e de ampliação de edifícios estão vinculadas aos seguintes índices:

- a) Área mínima da parcela ou lote - 350 m²;
- b) Frente mínima da parcela ou lote - 14 m;
- c) Índice de ocupação máximo - 0,60;
- d) **Índice de impermeabilização máximo - 0,80;**

(…)

Artigo 32.º

Subzona de equipamentos, actividades de lazer 2

(EQ(índice 2))

1 - Na subzona de equipamentos, actividades de lazer 2 (EQ(índice 2)) apenas são permitidos os seguintes usos:

- a) Habitação isolada;
- b) Equipamentos.

2 - As operações de loteamento urbano estão sujeitas aos seguintes índices:

- a) Densidade bruta máxima - 10 fogos/hectare;
- b) Índice bruto de ocupação máximo - 0,15;
- c) Índice bruto de utilização máximo - 0,25.

3 - As obras de construção e de ampliação de edifícios estão vinculadas aos seguintes índices:

- a) Área mínima da parcela ou lote - 500 m²;
- b) Frente mínima da parcela ou lote - 6 m;
- c) Índice de utilização máximo:
 - 1) Edificação isolada - 0,60;
 - d) Número de pisos máximo - 2;
- e) Afastamento mínimo dos limites da parcela ou lote - 5 m;
- f) Deve ser garantida a preservação de **30% do lote ou parcela com superfície permeável verde.** (…)

Artigo 36.º

Subzona de equipamento e espaços verdes 1

(EV(índice 1))

1 - Na subzona de equipamentos e espaços verdes 1

(EV(índice 1)) apenas são permitidos os seguintes usos:

- a) Habitação unifamiliar ou bifamiliar isolada;
- b) Equipamentos.

2 - Nesta subzona, as operações de loteamento urbano estão sujeitas aos seguintes índices:

- a) Densidade bruta máxima - 10 fogos/hectare;
- b) Índice bruto de ocupação máximo - 0,15;
- c) Índice bruto de utilização máximo - 0,25;
- d) Área de cedência para espaços verdes e de utilização colectiva - 30 m² por fogo.

3 - As obras de construção e de ampliação de edifícios destinados a habitação estão vinculadas aos seguintes índices:

- a) Área mínima do lote - 500 m²;
- b) Frente mínima do lote - 15 m;
- c) Índice de utilização máximo - 0,40;
- d) Número de pisos máximo - 2;
- e) Deve ser garantida a preservação de **30% do lote ou parcela com superfície permeável verde.**

4 - As obras de construção e de ampliação de edifícios destinados a equipamentos estão vinculadas aos seguintes índices:

- a) Área mínima do lote - 800 m²;
- b) Frente mínima do lote - 20 m;
- c) Índice de utilização máximo - 0,60;
- d) Número de pisos máximo - 3;
- e) Deve ser garantida a preservação de **30% do lote ou parcela com superfície permeável verde.**

(…)

Artigo 37.º

Subzona de equipamentos e espaços verdes 2

(EV(índice 2))

3 - As obras de construção e de ampliação de edifícios estão vinculadas aos seguintes índices:

(…)

e) Deve ser garantida a preservação de 30% do lote ou parcela com superfície permeável verde.

Artigo 44.º

Subzona industrial 2 (IN(índice 2))

1 - Na subzona industrial 2 (IN(índice 2)), as operações de loteamento e as obras de construção estão sujeitas aos seguintes índices:

- a) Área mínima do lote - 800 m²;
- b) Frente mínima do lote - 20 m;
- c) Índice de ocupação máximo - 0,50;
- d) **Índice de impermeabilização máximo - 0,70; (…)**

⁴ Publicado em Diário da República de 5 de Novembro 2004 - Resolução do Conselho de Ministros n.º 155/2004 – Ratificação Parcial.

O exemplo de PU apresentado reforça, a aparentemente falta de justificação técnica na definição de índices, já verificada nos PDM's.

Se somarmos à área passível de ser impermeabilizada nos lotes, a área impermeabilizada pelos os arruamentos e estacionamento, certamente teremos uma área impermeabilizada global, superior a 70% da área total do plano. Tal situação pode eventualmente não ser problemática no concelho em causa, mas não deixa de revelar que os princípios de sustentabilidade hidrológica, embora existentes no plano, não são aplicados com a dimensão que permita deter a escorrência pluvial na fonte, em momentos de grande pluviosidade, lançando caudais elevados para jusante onde anteriormente não ocorriam.

4.3 Exemplos em PP

Após uma pesquisa efectuada sobre os regulamentos de PP's, publicados em Diário da República, apresentam-se dois exemplos dos mais recentes, para os anos de 2002 e 2005.

O primeiro exemplo que se apresenta, diz respeito ao regulamento do PP da Pormenor da Quinta de Valadares, no município do Seixal⁵:

“(…)

ANEXO

Quadro de loteamento

(ver quadro no documento original)

ANEXO III

Designação - Plano de Pormenor da Quinta de Valadares.

Localização:

Município - Seixal;

Local - Amora.

Enquadramento noutros planos:

No Plano de Urbanização;

No Plano Director Municipal do Seixal.

Indicadores gerais:

Densidade populacional (hab./ha) - 79;

Densidade habitacional (F./ha) - 26;

Índice de implantação - 0,327;

Índice de construção - 0,506;

Índice de impermeabilização - 0,56; (...)

(…)

Valores globais:

Área urbana - 0 ha;

Área total do Plano - 41,440 ha;

População existente - 0;

Variação prevista - 318;

População prevista - 318;

Número total de fogos - 106;

Área de implantação - 13513 m²;

Área de construção - 20095 m²;

Área de impermeabilização - 23576 m²;

(…)”

⁵ Publicado em Diário da República de 14 de Março de 2002 - Resolução do Conselho de Ministros n.º 58/2002.

O segundo exemplo diz respeito ao regulamento do PP de Ampliação do Loteamento Industrial de Gavião, no município de Gavião⁶:

“(…)

Artigo 4.º

Definições

Para efeitos do presente Regulamento, são adoptadas as seguintes definições:

“(…)

«**Índice de impermeabilização do solo**» - quociente entre a área de implantação das construções, incluindo anexos, vias pavimentadas, piscinas, campos desportivos, etc., e a área total da parcela;

“(…)

“(…)

Artigo 11.º

Espaços livres e verdes

1 - Os espaços verdes serão constituídos pelo espaço de protecção e enquadramento definidos na planta de implantação. Os taludes resultantes dos movimentos de terra para a modelação dos terrenos, deverão ser arborizados.

2 - A superfície de terreno **não ocupada com construções não deve ser impermeabilizada em pelo menos 20% da área sobran**te, devendo ser tratada como área verde plantada, ajardinada ou arborizada. (...)”

Enquanto que o primeiro exemplo apresenta valores de impermeabilização do solo relativamente baixos, o segundo exemplo reforça a mesma linha de raciocínio conclusivo feita nos PU's. De facto, no segundo exemplo, a área passível de ser impermeabilizada vai muito além dos 80%, dando a ideia de que a área não impermeabilizada terá apenas funções de embelezamento do ambiente no que respeita à de arborização e a ajardinamento do PP.

⁶ Publicado em Diário da República de 17 de Agosto de 2005 - Resolução do Conselho de Ministros n.º 133/2005.

5 Regulamentos de planos com preocupações de permeabilidade

5.1 Exemplo de Plano Director de Drenagem Urbana

Duma série de pesquisas, elegeu-se o Plano Director de Drenagem Urbana (PDDU) do Município de Porto Alegre, no Brasil, dado possuir uma série de sistematizações e regulamentações que ainda não se observam no nosso país.

Logicamente as medidas aqui apresentadas servirão apenas como um referencial, dado que as condições climáticas, geográficas e populacionais diferirem bastante das do nosso país. Em 2000 o município de Porto Alegre, localizado no extremo sul do Brasil (latitude de 30° S – próximo dos climas temperados mediterrânicos que se situam entre os 30° e os 40° N), contava com 1.360.590 habitantes (IBGE).

O conteúdo do PDDU apresentado é evidenciador de uma série de preocupações e normas directamente relacionadas com o problema da impermeabilização dos solos urbanos, os quais podem ter aplicação, devidamente adaptada, ao caso português (PPA-DEP, 2005).

Na primeira fase dos trabalhos do PDDU do Município de Porto Alegre – plano ainda em elaboração - foram analisadas três das 27 bacias hidrográficas da cidade (PPA-DEP, 2005).

Os sistemas de macrodrenagem dessas bacias foram simulados para diferentes cenários de ocupação do solo, permitindo a detecção dos principais pontos críticos de alagamentos e a análise de possíveis soluções para os problemas verificados (PPA-DEP, 2005).

Como resultados, em duas das bacias, foi proposta a implantação de, respectivamente, catorze grandes reservatórios de amortecimento de cheias, espalhados por praças e áreas verdes. Na terceira bacia, situada na região central da cidade, as propostas foram apenas no sentido da ampliação de condutas e no aumento da capacidade das estações elevatórias aí localizadas, por se tratar de uma área altamente urbanizada. Como, nessa área de intervenção, não existem locais disponíveis para a construção de bacias de detenção, elas deveriam ser subterrâneas, o que eleva consideravelmente seus custos de implantação e acaba por inviabilizar essa solução.

Nessa primeira parte do trabalho, foi ainda analisado todo o sistema de protecção contra enchentes da cidade, tendo sido simulado o funcionamento das dezoito estações elevatórias, para os diferentes cenários de urbanização previstos (PPA-DEP, 2005).

Como produto final do estudo, será também organizado um “Manual de Drenagem”, que conterà directrizes, parâmetros e metodologias a serem empregues nos projectos de drenagem urbana no município de Porto Alegre.

O município de Porto Alegre é também possuidor de regulamento relevante que interessa aqui mencionar. Trata-se do Caderno de Encargos do Departamento de Esgotos Pluviais (CE-DEP/2005), estabelecido pelo Decreto 14.786, de 30 de Dezembro de 2004. Este documento foi desenvolvido pela equipa técnica do Departamento de Esgotos Pluviais (DEP), e consolida mais de 30 anos de serviços prestados à comunidade porto-alegrense por esse Departamento (DEP-PPA, 2005).

Segundo o DEP, este regulamento destina-se também, ao uso dos diversos organismos do município, faculdades, órgãos, instituições culturais e afins, que tenham o seu quotidiano em algum momento envolvido com as questões de drenagem pluvial urbana. Por todos estes motivos, este Caderno cresce e amplia o seu sentido didáctico, pois por si próprio constitui-se como um objecto de continuada pesquisa, motivando o debate, a crítica e a produção do conhecimento intelectual dos profissionais da área e leigos que venham a envolver-se no tema.

Abaixo, transcreve-se as partes mais importantes do CE-DEP/2005:

“(…)

CAPÍTULO IV

4. Projectos de Redes Pluviais

4.1. Introdução

4.1.1. Estas directrizes dispõem sobre os serviços de drenagem pluvial do município de Porto Alegre, objectivando orientar planeadores, projetistas e usuários desses serviços.

“(…)

4.3. Loteamentos, Conjuntos Residenciais e Condomínios

4.3.1. Em novos loteamentos, conjuntos residenciais e condomínios, é obrigatória a implantação de um sistema de drenagem pluvial. Os custos do projecto e das obras necessárias são de inteira responsabilidade do empreendedor.

“(…)

4.3.2. Todo e qualquer novo loteamento, conjunto residencial e condomínio deve levar em consideração, em sua concepção de projecto, a manutenção das condições hidrológicas de pré-ocupação, conforme a Lei Complementar nº 434/1999, Artigos 97º e 135º, § 3º, 4º e 6º. 4.3. A DOP/DEP deve ser consultada em todo e qualquer estudo preliminar de novos loteamentos, conjuntos residenciais e condomínios.

“(…)”

(DEP-PPA, 2005)

Destaca-se no articulado do CE-DEP/2005 a obrigação de, na concepção de qualquer novo loteamento ou conjunto residencial, se ter de manter as condições hidrológicas originais da parcela alvo de intervenção - situação inexistente na regulamentação pesquisada em Portugal. Esta regra, revoluciona por completo toda a abordagem clássica que quem sido feita em matéria controle da impermeabilização dos solos, e com maior ênfase em Portugal.

Capítulo 7

Conclusões

1 Síntese conclusiva

Esta dissertação pretendeu dar um contributo para uma melhor compreensão dos problemas resultantes da impermeabilização dos solos em meio urbano e das formas existentes de os resolver.

A sua condução foi feita sob a perspectiva do Planeamento, evidenciando por isso, a característica do tratamento pluridisciplinar das matérias e a inerente necessidade da sua integração, com vista à construção de medidas a aplicar de forma potenciada, consistente e sustentável. Privilegiou-se assim a exploração da integração de vários contributos disciplinares, ao invés do aprofundamento exclusivo de uma única disciplina ou forma de tratar o problema da impermeabilização dos solos.

A primeira fase de construção que enquadra este contributo, foi cimentada pelo reconhecimento da dimensão dos problemas gerados pela impermeabilização massiva dos solos em meio urbano. Neste âmbito, foram evidenciadas duas tipologias principais de problemas – as cheias e o efeito de ilha de calor - e descritas as suas características particulares, necessárias a uma posterior exploração das formas existentes de quantificar e medir os fenómenos tipificados. Ficou assim demonstrada a importância maior de, nas intervenções sobre o território, se preconizar uma abordagem que integre a consciência da dimensão dos problemas resultantes da impermeabilização dos solos, causadas pelo processo de urbanização. A percepção de que o fenómeno de impermeabilização dos solos constitui sobretudo um problema de planeamento e ordenamento do território, leva a perspectivar que é neste contexto, que se deve actuar para combater as causas do problema. A constatação do efeito cumulativo, que as pequenas intervenções produzem na dimensão global do problema, assume relevância acrescida na posterior sustentação das medidas de mitigação e prevenção, passíveis de aplicar.

O segundo passo dado para atingir os objectivos propostos desta dissertação, consistiu em demonstrar que os problemas resultantes da impermeabilização dos solos são resolúveis, ou pela aplicação de medidas de mitigação dos seus efeitos, ou pela aplicação de medidas de prevenção em novas intervenções urbanísticas. Verificou-se que só recentemente surgiram preocupações relativas à necessidade de passar a resolver a drenagem pluvial combatendo a excessiva impermeabilização dos solos, ao invés de se proceder da forma clássica de acção, em que se assegura exclusivamente a drenagem com recurso aos sistemas tradicionais de drenagem pluvial. A relevância desta mudança de mentalidade obrigou à exploração de novas soluções técnicas e também à constatação

da importância que a estrutura verde das cidades pode ter na sua congregação e integração. As dinâmicas de mudança associadas à abordagem da impermeabilidade, conduziram à reflexão sobre o tema, na perspectiva do planeamento urbanístico com forte componente hidrológica e de sustentabilidade. Sendo que, o planeamento urbanístico hidrológicamente sustentável é aquele que trata as várias intervenções ou porções de território de forma integrada, tendo por princípio subjacente à sua acção, a ideia de que a qualquer pequena intervenção exerce uma contribuição para o sistema hidrológico conjunto.

Tendo a reflexão construída nas duas primeiras fases desta tese, evidenciado que o problema da impermeabilização constitui sobretudo de um problema de ordenamento do território, coube à terceira e última fase de elaboração da dissertação, saber qual o papel que os instrumentos de planeamento actualmente têm, e qual devem vir a desempenhar futuramente, na resolução dos problemas identificados. A resposta às dificuldades de implementação das medidas preconizadas encontra-se na sua regulamentação dentro dos vários níveis de intervenção, desde o âmbito nacional até ao âmbito municipal, tendo este último nível, especial relevância na operacionalidade das medidas e na fiscalização do seu cumprimento e aplicação. Os exemplos concretos de instrumentos de planeamento operativo apresentados, apesar de serem em número reduzido, são bastante recentes e ilustram bem o panorama nacional na matéria, dado terem sido resultado de uma selecção de um grupo mais vasto de documentos consultados que padecem dos mesmos problemas. O panorama pauta-se por um tratamento menor das questões da impermeabilidade dos solos. Sublinha-se o contraste que existe entre estes e o último exemplo apresentado, relativo a Porto Alegre (Brasil), no que respeita à profundidade de aplicação dos princípios inerentes ao planeamento urbanístico hidrológicamente sustentável.

O último caso apresentado, foi seleccionado por se considerar constituir um modelo de referência, a levar em consideração no estudo e na elaboração de intervenções sobre o território. Apesar de dizer respeito a uma realidade com características climáticas e dimensionais diferenciadas das de Portugal, integra princípios ambientais inovadores em matéria de combate às consequências da impermeabilização dos solos. Este documento, realizado em 2005, integra no articulado do seu regulamento a obrigação de, na concepção de qualquer nova intervenção urbanística, se ter de manter as condições hidrológicas originais da parcela alvo de intervenção. Certamente outros casos de sucesso, ou inovadores no tratamento da questão da impermeabilização, existirão em outras partes do mundo, cabendo a futuros aprofundamentos destas matérias, uma exploração mais exaustiva, comparativa sistematizada dos normativos que poderão ser

encontrados além fronteiras. A questão da fiscalização do cumprimento das taxas de impermeabilização do solo, vinculados nos instrumentos de planejamento e as questões relacionadas com a educação ambiental, também deverá merecer atenção mais aprofundada em abordagens futuras desta temática.

Referências bibliográficas

- Acsegrad, H. *A Duração das Cidades, Sustentabilidade e Risco nas Políticas Urbanas*. DP&A editora, Rio de Janeiro, 2001.
- AEA «Alterações climáticas e cheias fluviais na Europa», AEA – Agência Europeia do Ambiente - EEA Briefing No 1/2005.
- Almeida, N.G. «Espaço Público e a Cidade», *Arquitectura e Vida* Ano IV, 51, Julho/Agosto de 2004 (28-30).
- APPLA *Planeamento – Revista de Urbanismo e Ordenamento do Território*, N.º1, Aveiro, APPLA, 2003, pp.111.
- APS, Associação Portuguesa de Seguradoras «Mortes em Portugal devido à vaga de calor», *aps breve*, 2, Agosto de 2003, pp1.
- Atkinson, B. W. *The Urban Atmosphere*, Cambridge, Cambridge University Press, 1985.
- Baptista, Cyro Nogueira *Pavimentação*, Tomo III: Revestimentos Pavimentos Rígidos Conservação dos Pavimentos, 3.ª Edição, Rio de Janeiro, Editora Globo, 1981, pp.275.
- Baptista, M.B., Nascimento, N.O., Ramos, M.H.D. & Champs, J.R.B. *Aspectos da Evolução da Urbanização e dos Problemas de Inundações em Belo Horizonte*, in Braga, B., Tucci, C. & Tozzi, M. (ed.) *Drenagem Urbana: gerenciamento, simulação e controle*, Porto Alegre: ABRH e Editora da Universidade, 1998, p. 39-50.
- Barbosa, J. Novais *Mecânica dos Fluidos e Hidráulica Gerla*, Porto Editora, 1986, volumes 1 e 2.
- Beal, Jim Impervious problems: Researchers work to make the effects of urbanization soak in, College of Engineering - University of Wisconsin-Madison, 2001.
- Beaujeu-Garnier, Jacqueline *Geografia Urbana*, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, Dezembro, 1983, pp.440.
- Brunner, Borgna *Time Almanac 2002*, Boston, Information Please, 2001.
- Cairns, J. ; Harrison, R. M. *Methods of Environmental Data Analysis*, London, C. N. Hewitt, 1992.
- Cavalcanti, C. *Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas*, São Paulo, Fundação Joaquim Nabuco, 2a. edição, 1999.
- City of Prince George PGMap. Disponível via WWW no URL: www.city.pg.bc.ca/pgmap , Canadá, 2005.
- Costa, Joaquim Botelho da *Caracterização e Constituição do Solo*, 4.ª Edição, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, Fevereiro, 1991, pp.527.
- Cruz, M.A., Tucci, C.E.M. E Silveira, A.L.L. *Coefficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 3, n. 4, Out./Dez. 1998, p.19-32.
- Delgado, Leandro Silva *La Lectura del Paisaje y el Carácter de la Vegetación en el Planeamiento Regional*, VII Congresso Iberoamericano de Urbanismo-Región y Calidad Urbana, Conferências Plenarias, Conferências de Taller, 1996, p.311-315.
- DEP -PPA *Caderno de Encargos do Departamento de Esgotos Pluviais*, Departamento de Esgotos Pluviais, Prefeitura de Porto Alegre, – PPA, DEP, 2005, , Disponível via WWW no URL <http://www.portoalegre.rs.gov.br/>, Capturado em 2005/11/01.
- DGOTDU *DGOTDU – Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano*, Disponível via WWW no URL <http://www.dgotdu.pt>, Portugal, 2005.
- DGRF DGRF, Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Disponível via WWW no URL: <http://www.dgrf.min-agricultura.pt>, Portugal, 2005.
- Direcção Geral do Ordenamento do Território *Estudo das Causas das Cheias na Região de Lisboa - Relatório de Síntese*, Lisboa, Bacia Hidrográfica da Ribeira da Laje, 1984.
- DL 45/94 Decreto-Lei n.º 45/94. DR 44/94 SÉRIE I-A de 1994-02-22, Ministério do Ambiente e Recursos Naturais, 1994

- Driscoll, D.M. *Human Health, Handbook of Applied Meteorology*, David. Houghton Wiley, Interscience, New York, 1985.
- DROTRH DROTRH - Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos, Disponível via WWW no URL: <http://www.dgrf.min-agricultura.pt>, Portugal, em 2005.
- EPA Environmental Protection Agency, Disponível via WWW no URL: <http://www.epa.gov>, Estados Unidos, 2005.
- Ferreira, M. *Análise técnica e económica do uso de águas pluviais: estudo de caso na RMBH*, Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, Belo Horizonte, 278 p. 2003.
- Gómez, A. López, et al *El Clima de las Cuidades*, Madrid, Abor, 1985.
- H. Russ, Thomas *Site Planning and Design Handbook*, McGRAW – HILL Handbooks, 2002.
- Henriques, Rui Manuel Santos Gonçalves *Os Sistemas de Informação Geográfica e a Modelação Hidrológica no Domínio das Águas Superficiais*, Lisboa, Sector das Artes Gráficas do LNEC, 1996, pp. 107.
- Hidore, J.J.; Oliver, J.E. *Climatology – an atmospheric science*, New York, Maxmillan Publishing Company, 1993.
- Hough, Michael *City Form and Natural Process*, Routledge, an imprint of Taylor & Francis Books Ltd, 1995.
- INAG *Página electrónica*: <http://www.inag.pt/>, INAG - Instituto Nacional da Água, 2005.
- IPH *Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre*, 1ª fase. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH. UFGRS. Departamento de Esgotos Pluviais da PMPA. 2001.
- Júnior, Roberto C. P. *Vivemos os Últimos Anos do Juízo Final*, Última Revisão Parcial, Disponível via WWW no URL: www.library.com.br/Filosofia/sumario.htm São Paulo, Livro Electrónico – Versão G, Outubro, 2004.
- Kristal – Boneh, et al *Seasonal Changes in Ambulatory Blood Pressure in Employees Under Different Indoor Temperatures*, Med., Occup. Environ, 1995.
- Kuns, A. E., et al *Outdoor Air Temperature and Mortality in the Netherlands: a Time-series Analysis*, Am J. Epidemiol, 1993.
- Lebenswert Wohnen *Berlin – Building review 1990*, Berlin, Lebenswert Wohnen, 1990, pp.94.
- Leitman, Josef, *Rapid Environmental Assessment: Lessons from Cities in the developing World*, Volume 1, Methodology and preliminary Findings. Urban Management Programme, UNCHS, UNDP and World Bank, 2005.
- Lico, Nuno «Calor em França provoca milhares de mortos», *Jornal Semanário*, 20 de Agosto de 2003.
- Lobo, Costa Lobo, et al *Normas Urbanísticas, Princípios e Conceitos Fundamentais*, Volume I, Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, 1990.
- Lyle , John Tillman *Design for Human Ecosystems: Landscape, Land Use, and Natural Resources*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1985.
- Magalhães, Manuela Raposo *A arquitectura paisagista - morfologia e complexidade*, Lisboa, Editorial Estampa, 2001.
- Marques, P.F. «Vias verdes na cidade», *Arquitectura e Vida* Ano IV, 51, Julho/Agosto de 2004 (70-75).
- Martins, Marcelo Jaques *Gerenciamento de Recursos Hídricos e Drenagem Urbana no Município de São João de Meriti: Análise Espacial do Efeito da Implementação de Microreservatórios em Lotes, Sobre as Inundações*, Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- McHarg , Ian L *Design With Nature*, United States, Jonh Willey & Sons Inc., 1992
- Metro *Green Streets, Inovative Solutions of Stormwater and Stream Crossing Metro /People Spaces/ Open Spaces*, First Edition, Portland, Metro 600NE Grand Ave., June 2002.
- Miranda, Aline Branco de; Teixeira, Bernardo Arantes do Nascimento «Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário», *Eng. Sanit. Ambient.*, voume 9 nº4, Rio de Janeiro, Out./Dez. 2004, Disponível via WWW no URL <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413->

- [41522004000400002&script=sci_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522004000400002&script=sci_arttext&tlng=pt), Capturado em 2005/10/27.
- MMSD *Surface Water and Storm Water Rules Guidance Manual*, Milwaukee Metropolitan Sewerage District, 2002, Disponível via WWW no URL: <http://www.mmsd.com/home/index.cfm>, EUA, 2005.
- Nascimento, Nilo de Oliveira «Ciência, Tecnologia e Inovação na Interface entre Áreas de Recursos Hídricos e Saneamento», Eng. Sanit. Ambient., volume 9 nº4, Rio de Janeiro, Out./Dez. 2004, Disponível via WWW no URL http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522004000400002&script=sci_arttext&tlng=pt, Capturado em 2005/10/27.
- Netto, Oscar de Moraes Cordeiro *Técnicas de Minimização da Drenagem de Águas Pluviais, Gerenciamento do Saneamento em Comunidades Organizadas*, São Paulo, Brasil, 2004
- Nobre, José Lisboa Nobre, et al *Espaço Público - Estrutura Ecológica como mecanismo de coesão social e urbana*, [on-line] In: OS URBANITAS - Revista de Antropologia Urbana Ano 2, vol.2, n.1. Disponível via WWW no URL <http://www.osurbanitas.org/osurbanitas2/nomedoarquivo.html>. Internet, 2005. Capturado 25/Out/2005.
- Oke, T.R. «Urban climates and global change». In Perry A and Thompson R eds *Applied Climatology: Principles and Practices*, pp. 273–287. London: Routledge. 1997.
- P.S. Wilken Prefeitura do Município de S. Paulo, 1978
- Pardal, Sidónio Costa Pardal *Planeamento do Território – Instrumentos para a Análise Física*, Lisboa, Livros Horizonte, 1988, pp.283.
- Pereira, Ana Ramos, et al «A RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL (REN): SUA IMPORTÂNCIA PARA O AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO», Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia, número 70, 2000.
- PGESP, DAEE Departamento de Águas e Energia Eléctrica, Portal do Governo do Estado de São Paulo, Disponível via WWW no URL: <http://www.sigrh.sp.gov.br>, Brasil, 2005.
- Pinho, Olga Sandra Moreira *A interacção, Ser Humano – Clima de Aveiro*, Aveiro, Departamento de Física da Universidade de Aveiro, Abril, 1997, pp.136. (Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Ciências das Zonas Costeiras)
- Pinto, Nelson de Souza, et al *Hidrografia Básica*, 7.ª Reimpressão, São Paulo, ABES-SP, 2000, pp.278.
- Pinto, Paula Maria Teixeira *Análise da Eficácia do Processo de Avaliação de Impacte Ambiental na Região Norte*, Porto, Universidade do Porto, 1996, pp. 273. (Dissertação para obtenção do Grau de Mestre).
- Ponce, V.M. *Engineering Hydrology: principles and practices*, Upper Sandle River, Prentice Hall, 1989.
- Porto, R.L.et al «Drenagem Urbana», Hidrologia – Ciência e Aplicação. Coleção ABRH – Colume 14, UFRS/EDUSO/ABRH, Porto Alegre – RS. Cap. 21, 1993.
- Quintela, António de Carvalho *Hidráulica*, 2.ª Edição, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, Janeiro, 1985, pp.529.
- Rodrigues, B. C. M. *A Bioclimatologia e a Produtividade Laboral*, Vol. 1 (1), Instituto Nacional de Meteorologia Geofísica, 1978.
- Sabatini, Francisco *Conflictos Ambientales y Desarrollo Sustentable de las Regiones Urbanas*, VII Congreso Iberoamericano de Urbanismo-Región y Calidad Urbana, Conferências Plenarias, Conferências de Taller, 1996, p.13-28.
- Saraiva, M.G. *O Rio como Paisagem*. Textos Universitários de Ciências Sociais e Humanas, Fundação Calouste Gulbenkian e Fundação para a Ciência e Tecnologia, Lisboa, 1999.
- Saraiva, M.G. *Os Rios e as Cidades*. Povos e Culturas nº2, A Cidade em Portugal: Onde se vive. Centro de Estudos dos Povos e Culturas de Expressão Portuguesa, Universidade Católica Portuguesa, Lisboa (481-509), 1987.
- Schloz-Barth, Katrin. «Green Roofs: Stormwater Management From the Top Down», *Environmental Design & Construction*. January 15, 2001.
- Schueler, T. The Importance of Imperviousness. *Watershed Protection Techniques* 1(3), 1994.

- SEMADS *Página electrónica:* <http://www.semads.rj.gov.br/>, UFMG – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano, Rio de Janeiro, 2005.
- SEMASA «Implantação de Acções Previstas pelo Plano Director de Drenagem de Porto Alegre», SEMASA, Santo André – São Paulo - Brasil, Disponível via WWW no URL <http://www.semasa.sp.gov.br/>, Capturado em 2005/11/2.
- Silva Afonso, Armando «O novo regulamento português de águas e esgotos, anotado e comentado», Coimbra, Casa do Castelo – Editora, 1997, Vol. 1.
- Silva Afonso, Armando «Manual de Ambiente e saneamento básico. Tecnologias apropriadas para pequenos aglomerados», Coimbra, Centro de Estudos e Formação Autárquica (CEFA), 1998.
- Silva Afonso, Armando «Ambiente e Recursos Naturais», *In Centro de Estudos e Formação Autárquica (CEFA)*, Coimbra, *Manual do Eleito Local*, 1994, p. 19-88,
- Stanton-Kennedy, Tremayne Calculating Impermeable Surface Area in The Prince George "Bowl", March 31, *Canadá*, 2005
- Taveira, António Augusto de Sousa *Permeabilidade dos Materiais Aquíferos – Sua Determinação*, Porto, Tip. E Enc. De Domingos de Oliveira, 1949, pp.175.
- Tovar, Luísa «Em defesa do acesso à água», *Associação Água Pública, Página electrónica:* <http://aguapublica.no.sapo.pt/>, Coimbra, Abril, 2004.
- Tucci, C.E.M. *Coefficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 5, n. 1, Jan./Mar. 2000, p. 61-68.
- Tucci, C.E.M., Porto, R.L., Barros, M.T. (ed.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH e Editora da Universidade, 1995, pp.428.
- Tucci, Carlos E.M. «Gestão das Águas», *Ciência e Cultura*, volume 55 nº4, São Paulo, Out./Dez. 2003, Disponível via WWW no URL: <http://cienciaecultura.bvs.br>, Internet, 2003. Capturado em 2005/11/2.
- U. S. Department of Energy (DOE) *Cooling our Cities*, Disponível via WWW no URL: www.nrel.gov/documents/cities_counties/coolcity.html, National Renewable Energy Laboratory, 1996.
- UFMG *Página electrónica:* <http://www.etq.ufmg.br/>, UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, 2005.
- USGCRP, U.S. Global Change Research Program *The Global Water Cycle*, Disponível via WWW no URL: <http://www.usgcrp.gov/>, Washington, Estados Unidos, 2004.
- Valente, J. Tentúgal, Maria Teresa Tomás *Textos de apoio às disciplinas de Hidráulica Urbana e Ambiental*, Universidade do Porto, 2005.
- Voogt, James A. «Urban Heat Islands: Hotter Cities», *ActionBioscience.org*, Novembro, 2004, Disponível via WWW no URL: <http://www.actionbioscience.org>, EUA, 2005.
- Wiesnes, P. *Introdução à hidrologia urbana*, Conférences pour le Cours International d'Hydrologie Operationnelle et Appliquée, Lausanne, EPFL, 1984.
- Wohnen, Lebenswert *Building Review 1990 – Berlin*, Berlin, The Senat Department for Building and Housing, Outubro, 1990, pp.94.
- World Almanac Books *World Almanac*, New York, World Almanac Books, 1995.
- World Almanac Books *World Almanac*, New York, World Almanac Books, 1996.
- World Almanac Books *World Almanac*, New York, World Almanac Books, 1997.

Anexo

**Reproduções *fac simile* dos regulamentos de planos
usados no capítulo 6**