



PHD-307 - Hidrologia Aplicada

# ***Controle de Inundações***

**Prof. Dr Rubem La Laina Porto**

**Prof. Dr. Kamel Zahed Filho**

# População Urbana

**Início do século - 15 % da população mundial**

**Fim do século - 50 % da população mundial**

**América Latina e Caribe - crescimento da população urbana de 3 a 5 % ao ano**

**Brasil - 80 % da população é urbana**



# Enchentes Urbanas

## ← Em áreas ribeirinhas

Frequência de 2 a 3 anos

Ocorre em bacias maiores que 1000 km<sup>2</sup>

## ← Devido à Urbanização

Causa : impermeabilização

Consequências : aumento dos picos de vazão e  
antecipação dos picos



# Enchentes Urbanas

## ← Inundações Localizadas

Estrangulamento da seção do rio ( pilares, aterros)

Remanso devido à macrodrenagem

Falhas de manutenção de microdrenagem



# Causas das Enchentes

## ← Em áreas ribeirinhas

Pressão da sociedade para a ocupação da várzea de inundação

Ex: Blumenau (1983) prejuízo de 16% do PIB de Santa Catarina

Ocupação por sub-habitações ( dificuldades econômicas e sociais)

Prejuízo médio nos EUA = cerca de US\$ 5 bilhões/ano

# Causas das Enchentes

## ← Devido à Urbanização

Falta de planejamento e regulamentação

Depois de ocupados os espaços, as soluções são  
caras



# Causas das Enchentes

## ← Inundações Localizadas

Falta de planejamento nas construções ( pilares, aterros)

Falta de planos diretores de macrodrenagem

Falhas de manutenção de microdrenagem



# Conseqüências da Urbanização

← Sobre o Regime Hidrológico

← Sobre a Ocupação do Solo

← Sobre o Comportamento e cultura das populações

← Sobre a Disputa por recursos financeiros

← Sobre o Comportamento político e administrativo





# Conseqüências da Urbanização

## ← Sobre o Regime Hidrológico

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização	Maiores picos e volumes
Redes de Drenagem	Maiores picos a jusante
Lixo	Degradação da qualidade da água Entupimento de bueiros e galerias
Redes de esgoto deficientes	Degradação da qualidade da água Moléstias de veiculação hídrica Inundações : conseqüências mais sérias
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes Mais erosão Assoreamento em canais e galerias
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos Maiores picos e volumes Maiores custos de utilidades públicas

# Consequências da Urbanização

## ← Sobre o Regime Hidrológico

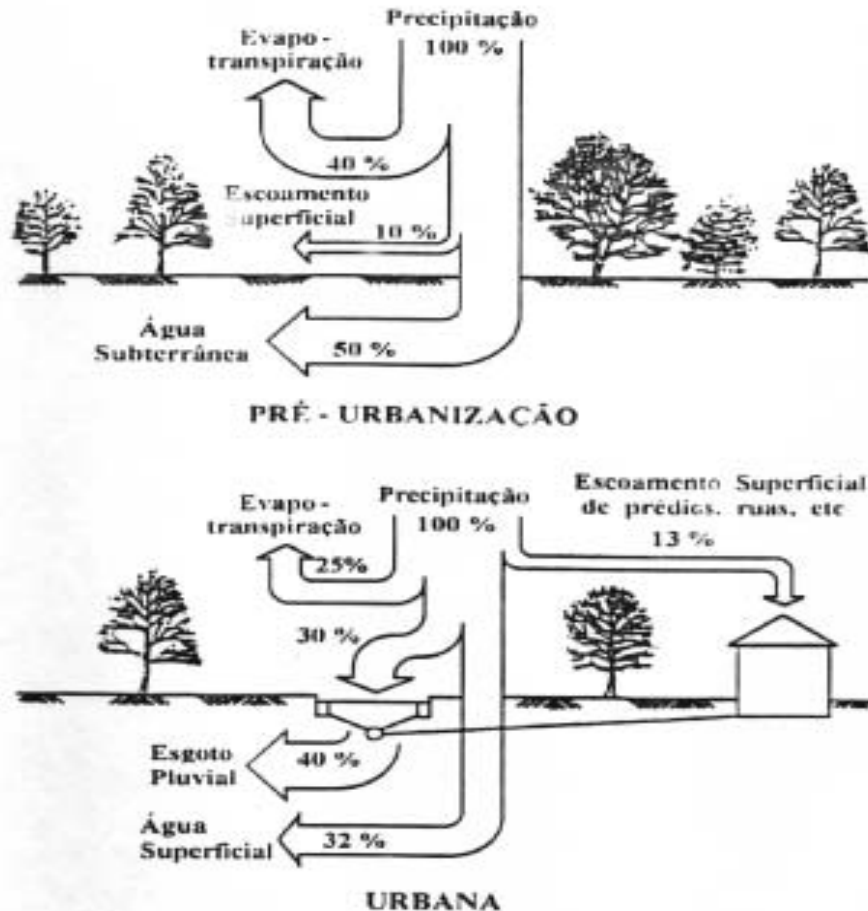
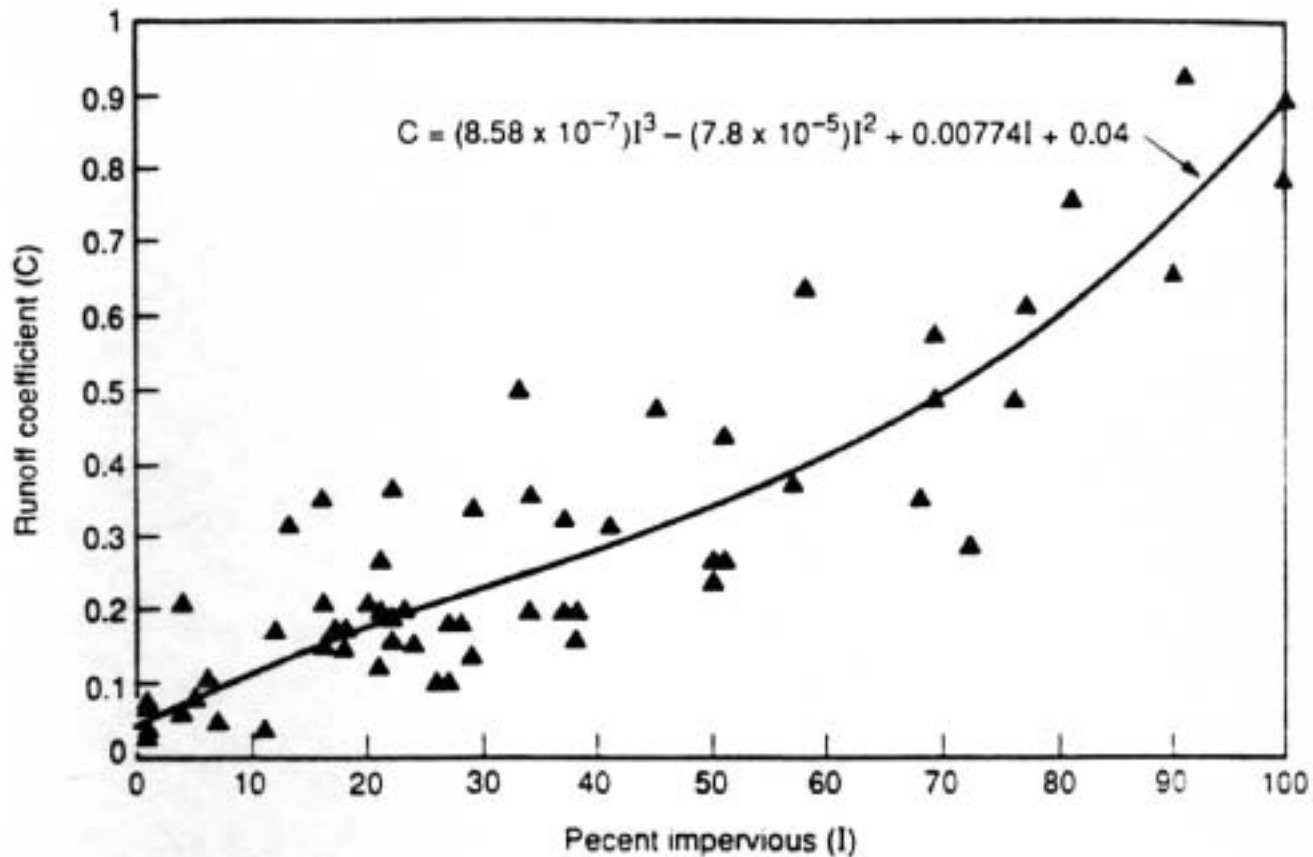


Figura 7.1 Características do balanço hídrico numa bacia urbana (OECD, 1986)

# Consequências da Urbanização

## ← Sobre o Regime Hidrológico



**FIGURE 28.1.1** Runoff coefficient versus percent impervious. (Used with permission from Ref. 71.)

# Conseqüências da Urbanização

## ← Sobre o Regime Hidrológico

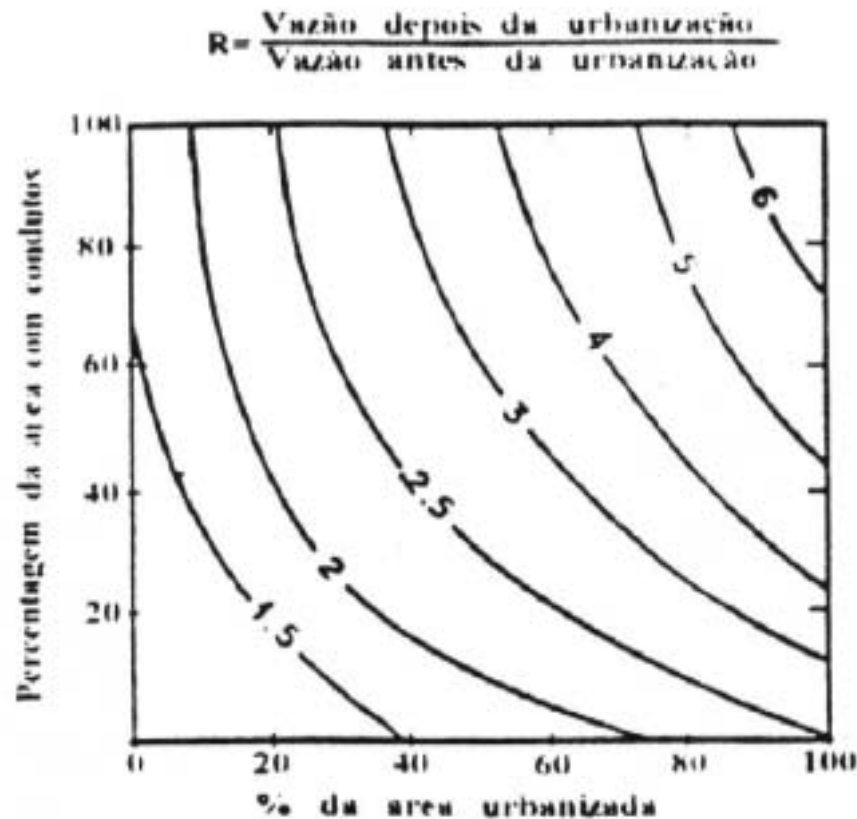


Figura 7.2 Aumento da vazão máxima (Leopold, 1968)

# Consequências da Urbanização

## ← Sobre o Regime Hidrológico

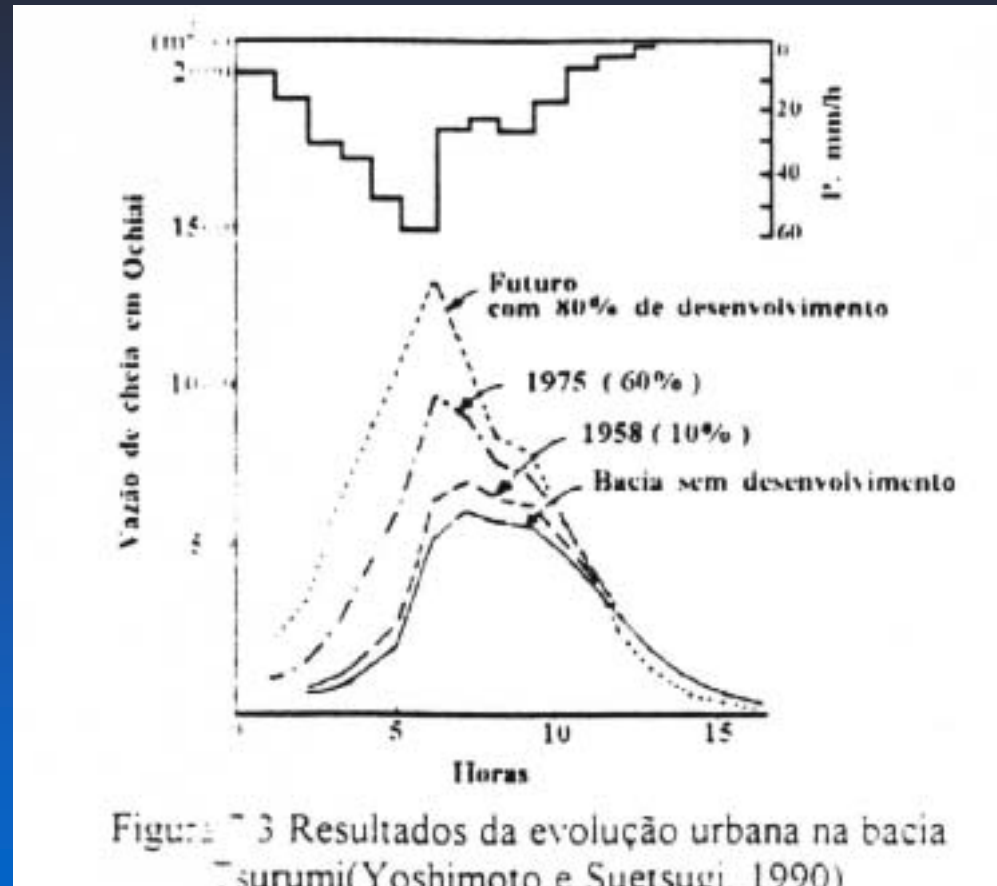
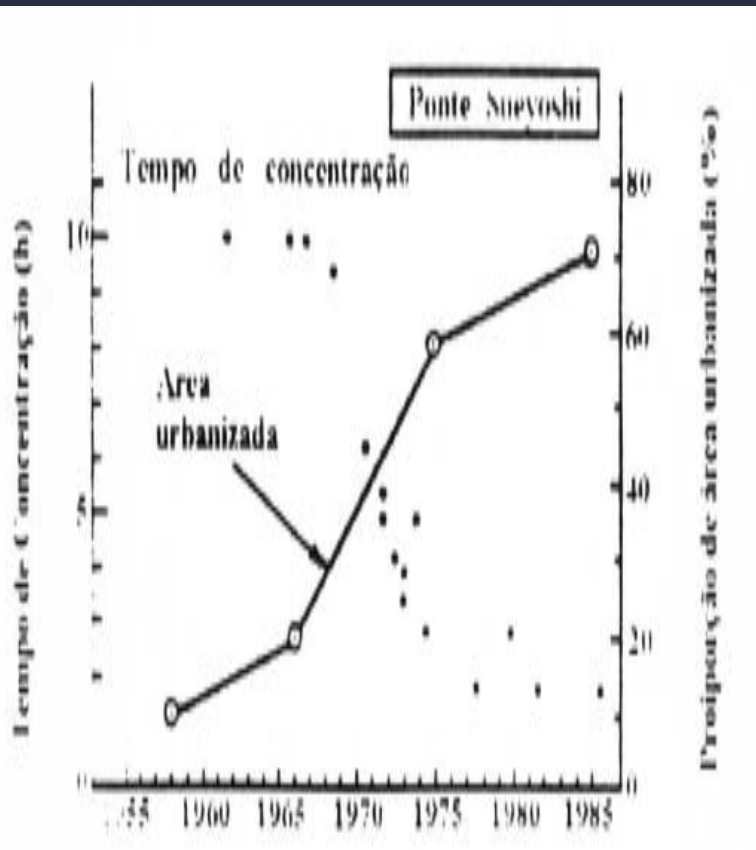


Figura 3 Resultados da evolução urbana na bacia Tsurumi (Yoshimoto e Suetsugu, 1990)

# Conseqüências da Urbanização

## ← Sobre a Ocupação do Solo

- Valorização da terra pressiona a ocupação de áreas impróprias
- Loteamentos inadequados ( super-ocupação)
- Invasões, favelas
- Poucas áreas verdes
- Ocupação dos leito maior e às vezes do leito menor dos rios



# Consequências da Urbanização

## ← Sobre o Comportamento e cultura das populações

- Migrações trazem populações de baixo nível de educação
- Desagregação cultural e perda das origens
- Dificuldade de mobilização política
- Sentimento de “não pertencer”



# Conseqüências da Urbanização

## ← Sobre a disputa por recursos financeiros

- Crescimento urbano cria muitas demandas e a disputa por recursos se acirra ( água, luz, telefone, asfalto, transporte, habitação, segurança, educação...)
- Tendência de atuar corretivamente e não preventivamente. Faz-se o que é **urgente** em lugar do que é **importante**.





# Conseqüências da Urbanização

## ← Sobre o comportamento político e administrativo

- Não se planeja a médio e longo prazos
- Pressões para ocupação do solo
- Preferência por obras de grande visibilidade



# Drenagem Urbana

Conjunto de obras e medidas cujos principais objetivos são :

- minimizar prejuízos por inundações em áreas urbanas
- diminuir riscos a que as propriedades estão sujeitas
- possibilitar desenvolvimento urbano harmônico e articulado



# Drenagem Urbana

## Boas soluções requerem :

- **Planejamento** adequado para que as obras se integrem no sistema maior que é o complexo urbano;
- **Mobilização política** para que a população e administradores públicos compreendam sua importância, se disponham a destinar recursos ao setor e estabelecer as leis e normas necessárias;



# Drenagem Urbana

- Domínio de **tecnologia** adequada para planejamento, projeto , construção e operação de obras;
- Campanhas de **Esclarecimento e educação** da população e administradores e **Participação pública** nas principais decisões



# Drenagem Urbana

- Organização **institucional** eficiente que domine as tecnologias necessárias, implante obras e medidas, desenvolva atividades de comunicação social, promova a participação pública, estabeleça critérios, aplique **leis e normas**, ou seja, exerça, de forma bem definida a **liderança do setor**.



# Drenagem Urbana

- Arcabouço legal que dê **suporte jurídico** às ações e medidas que se fizerem necessárias.



# O Papel da Drenagem Urbana na Comunidade

- Remove a água pluvial das ruas e permite o funcionamento de ruas durante as chuvas, além de aumentar a durabilidade do pavimento;
- Controla a vazão e a velocidade do escoamento ao longo das sarjetas, de forma a reduzir os prejuízos aos moradores locais;

# O Papel da Drenagem Urbana na Comunidade

- Conduz o escoamento superficial aos canais principais de drenagem;
- Controla a carga de poluentes que chegam aos corpos receptores;
- Necessita de um plano diretor de drenagem.





# Micro e Macro Drenagem

## Micro drenagem

- **Características** : atua em áreas onde os canais não estão bem definidos e os escoamentos são determinados pela ocupação do solo.
- **Obras típicas** : ruas, sarjetas, bocas de lobo, bueiros, galerias



# Micro e Macro Drenagem

## Micro drenagem

- **Objetivo** : evitar alagamentos, problemas de trânsito, transtornos a transeuntes e demais atividades urbanas
- **Riscos** : períodos de retorno de 5 a 10 anos



# Micro e Macro Drenagem

## Macro drenagem

- **Características** : atua nos canais bem definidos que podem concentrar águas oriundas de áreas não desenvolvidas e de sistemas de micro drenagem
- **Obras Típicas**: canais e galerias de fundo de vale



# Micro e Macro Drenagem

## Macro drenagem

- **Objetivos:** evitar inundações de maior porte, problemas de saúde pública, danos de grande monta, desorganização da atividade urbana.
- **Riscos:** períodos de retorno de 50 a 500 anos



# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Estruturais:

- **Tipos:**
- **Obras de contenção de cheias**
  - Reservatórios de Detenção
  - Reservatórios Laterais
  - Diques de contenção



# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Estruturais:

### •Tipos:

- Obras de afastamento de cheias
  - Micro e Macro-drenagem
  - Diques de contenção
  - Reversão de Bacias



# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Estruturais:

### • Critérios de Projeto:

- Período de Retorno ( Condições sociais, econômicas e culturais
- Produção de sedimentos ( galerias x canais)
- Coeficientes de Rugosidade
- Ocupação Máxima da bacia



# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Estruturais:

### •Precauções:

- Riscos de rompimentos
- Ocupação do leito maior





# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Estruturais:

### •Desvantagens:

- Execução de obras
- Intervenção na drenagem natural
- Intervenção no canal
- Efeitos localizados : deslocamento das inundações
- Alto Custo : investimentos concentrados



# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Estruturais:

### •Desvantagens:

- Riscos hidrológicos
- Alteração do comportamento hidrológico da bacia
- Operação e manutenção
- Impactos ambientais



# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Estruturais:

- **Alternativa:**

- Implantação conjunta com medidas não-estruturais



# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Não-Estruturais:

### •Tipos:

#### –Preventivo

- Regulamentação do uso do solo
- Compra de áreas inundáveis
- Controle de redes de água e esgoto
- Programas de informação e educação
- Sistemas de Previsão e alarme
- Seguro contra inundações



# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Não-Estruturais:

### •Tipos:

#### –Corretivo :

- Construções à prova de inundações
- Relocações
- Compras de terrenos
- Deslocamentos de população
- Ajuste de ocupação graduais



# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Não-Estruturais:

### •Benefícios:

- Redução de danos
- Reduções de paralisações e caos
- Redução de custos de manutenção de ruas
- Maiores oportunidades de recreação
- Mais áreas verdes e espaços urbanos
- Melhor proteção das margens
- Menos assoreamento

# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Não-Estruturais:

### •Vantagens:

- Não implicam apenas em obras
- Procuram adaptar a vida urbana ao fenômeno natural das inundações
- Procuram adotar medidas preventivas
- Aplicadas de forma difusa sobre a bacia e mais especificamente na várzea de inundação



# Medidas Estruturais e Não-Estruturais

## Não-Estruturais:

### •Vantagens:

- Apoiam-se em aspectos de caráter sócio-políticos, como educação da população e participação pública
- São de custo muito mais baixo, mas nem por isso de aplicação mais fácil

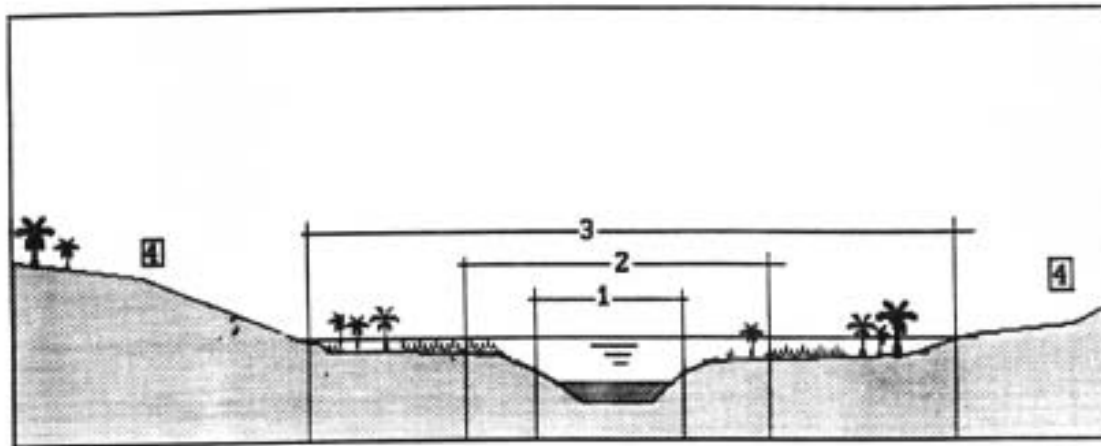




# Zoneamento de Várzeas de Inundação

## O COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DAS VÁRZEAS

### Zonas de Escoamento



**Zona 1:** Leito menor, área de escoamento rápido; maior parte da vazão deve ser totalmente desimpedida

**Zona 2:** Leito maior, responsável por parcela significativa da vazão  
área de alta restrição (parques e construções adequadas)

**Zona 3:** Apenas inundação; águas praticamente paradas  
uso disciplinado; restrições; construções à prova de inundações

**Zona 4:** Áreas seguras (acima do N.A. de inundação; T=100 anos por ex.)  
controle de erosão; reservatórios de controle de cheias

# Zoneamento de Várzeas de Inundação

## Zonas de Escoamento:

- **Zona 1 - Leito Menor:**
- Área de escoamento rápido, maior parte da vazão. Deve ser desimpedida.
- Obras : só captações e pontes.



# Zoneamento de Várzeas de Inundação

## Zonas de Escoamento:

- **Zona 2 - Leito Maior:**
- Parcela significativa da vazão. Deve ter alta restrição.
- Obras : Parques e construções adequadas

# Zoneamento de Várzeas de Inundação

## Zonas de Escoamento:

- **Zona 3 - Apenas inundação:**
- Águas praticamente paradas.
- Obras :
  - Construções à prova de inundações
  - Vedada a construção de serviços essenciais



# Zoneamento de Várzeas de Inundação

## Zonas de Escoamento:

- **Zona 4 - Áreas seguras:**
- Acima do NA de  $T = 100$  anos.
- Obras : Sem restrições



# Zoneamento de Várzeas de Inundação

## Objetivo do zoneamento:

- Prevenir novos empreendimentos incompatíveis com os riscos
- Impedir aquisição por parte de pessoas desavisadas
- Reduzir gastos públicos com socorros, emergências, etc
- Reduzir gastos com futuras obras de controle de inundações
- Maiores oportunidades de lazer, áreas verdes etc



# Experiências na RMSP


## Rio Tamanduateí

- Escolha do Período de Retorno
- Proteção da ocupação da várzea
- Transporte de sedimentos

## • Rio Tietê/Pinheiros

- Estrutural x Não-estrutural
  - Cheias x Ambiente x Energia
  - Locais a jusante
- 

# Experiências na RMSP

- Córrego do Ipiranga
- Alterações do uso do solo
- O parque do Estado
- Córrego do Pacaembu
- Alteração de traçado
- Medida estrutural
- Ribeirão dos Meninos
- Alteração de traçado
-  Influência da macro-drenagem



# **Gerenciamento do Controle de Inundações**

## **Princípios Básicos**

- A bacia deve ser enfocada como um sistema
- Medidas estruturais e não estruturais devem estar integradas
- Meios de implantação : Plano Diretor Urbano  
Legislação Municipal ou Estadual



# Gerenciamento do Controle de Inundações

## Princípios Básicos

- Horizonte de Planejamento
- Cheias naturais não podem ser ampliadas por quem ocupa a bacia
- Processo permanente
- Importância da educação



# Gerenciamento em Nível Federal

- Adotar, como norma, que os fundos federais só atenderão as cidades que tiverem no seu Plano Diretor, o disciplinamento do uso do solo
- Evitar a construção de prédios públicos ou financiados em áreas de risco de inundação



# Gerenciamento em Nível Federal

- Criar programas de controle de cheias em bacias interestaduais
- Apoiar, com recursos de emergência, as administrações municipais e estaduais que desenvolverem programas de prevenção contra enchentes



# Gerenciamento em Nível Estadual

- Apoio técnico a municípios
- Levantamento de municípios com riscos potenciais de enchentes
- Criar programa de alerta para populações ribeirinhas



# Gerenciamento em Nível Estadual

- **Projetos de medidas estruturais**
- **Organizar coleta de dados**
- **Cadastrar prejuízos**
- **Criar e operar órgãos de defesa civil**



# Gerenciamento em Nível Municipal

- Estabelecer zoneamento de áreas inundáveis para definir uso do solo e normas de edificação
- Evitar a construção de prédios públicos (principalmente de infra-estrutura de socorro) em áreas de risco de inundação)



# Gerenciamento em Nível Municipal

- Estabelecer Planos Diretores de Macro e Micro Drenagem
- Apoiar, com recursos de emergência, as administrações regionais
- Criar incentivos e seguros para edificações fora de áreas inundáveis



# Gerenciamento em Nível Municipal

- Criar estrutura integrada entre diversos órgãos municipais e estaduais para situações de emergência ( água, transporte, segurança, saúde, etc)



# Apectos Econômicos da Atenuação das Cheias

## Benefícios da atenuação das cheias

### •Tangíveis :

- os que decorrem do fato de se evitar prejuízos de inundação
- valorização de terras

### •Intangíveis :

- vidas humanas salvas
- diminuição das enfermidades



# **Apectos Econômicos da Atenuação das Cheias**

## **Benefícios da atenuação das cheias**

### **• Primários :**

- Custo de substituição ou conserto de benfeitorias
- Custo de desocupação da área, socorro e providências de emergência
- Perdas decorrentes de lucros cessantes
- Perdas de colheitas e custos de replantio



# **Apectos Econômicos da Atenuação das Cheias**

## **Benefícios da atenuação das cheias**

### **•Secundários :**

- Parada de produção de uma fábrica que depende de insumos oriundos da área inundada**
- Difíceis de serem avaliados**



# Análise de Custo x Benefício de um Projeto de Atenuação de Cheias

Nível	Perdas abaixo	Perdas	Período	Benefício	Benefício	Custos	Benefício/
d'Água	do NA	Incre-	de	Médio		do	
(m)	indicado	mentais	Retorno	Anual	Acumulado	Projeto	Custo
20	0				0.00	0.4	0.00
22	4	4	10	0.40	0.40	0.6	0.67
24	10	6	15	0.40	0.80	0.8	1.00
26	20	10	22	0.45	1.25	1.0	1.25
28	32	12	30	0.40	1.65	1.3	1.27
30	45	13	70	0.19	1.84	1.6	1.15
32	60	15	150	0.10	1.94	1.8	1.08
34	80	20	300	0.07	2.01	2.0	1.00



# Análise de Custo x Benefício de um Projeto de Atenuação de Cheias

