



6 de novembro de 2007

São Paulo

# Aspectos Urbanos e Mudanças Climática

---

**Carlos E. M. Tucci**

**Instituto de Pesquisas Hidráulicas**

**UFRGS – Porto Alegre-RS Brasil**

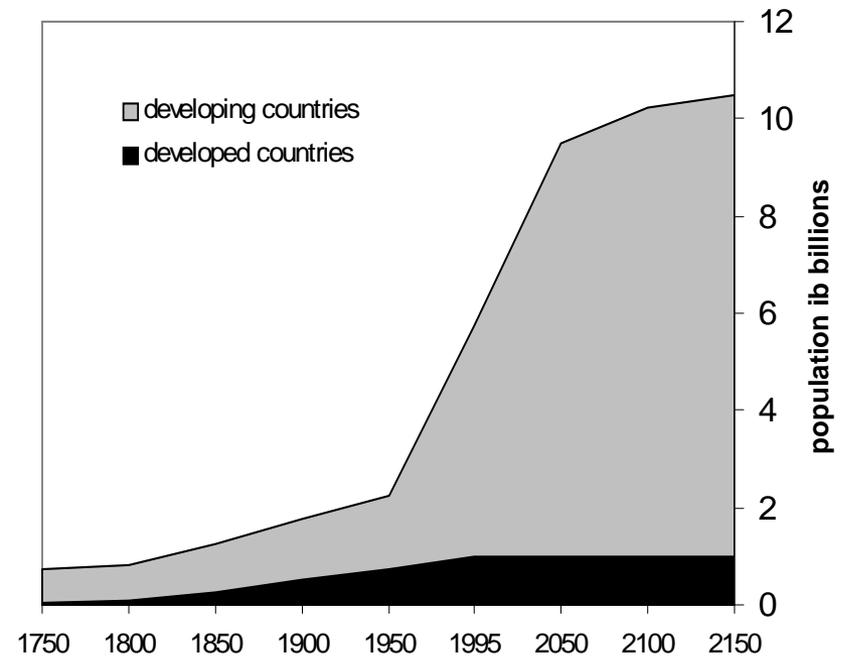
# Conteúdo

---

- Tendência do Desenvolvimento urbano
  - Águas Urbanas
  - Potenciais efeitos das mudanças climáticas sobre a sustentabilidade urbana
  - Gestão do risco dos componentes das águas urbanas
-

# Desenvolvimento Urbano

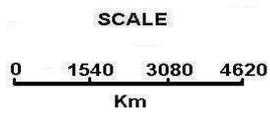
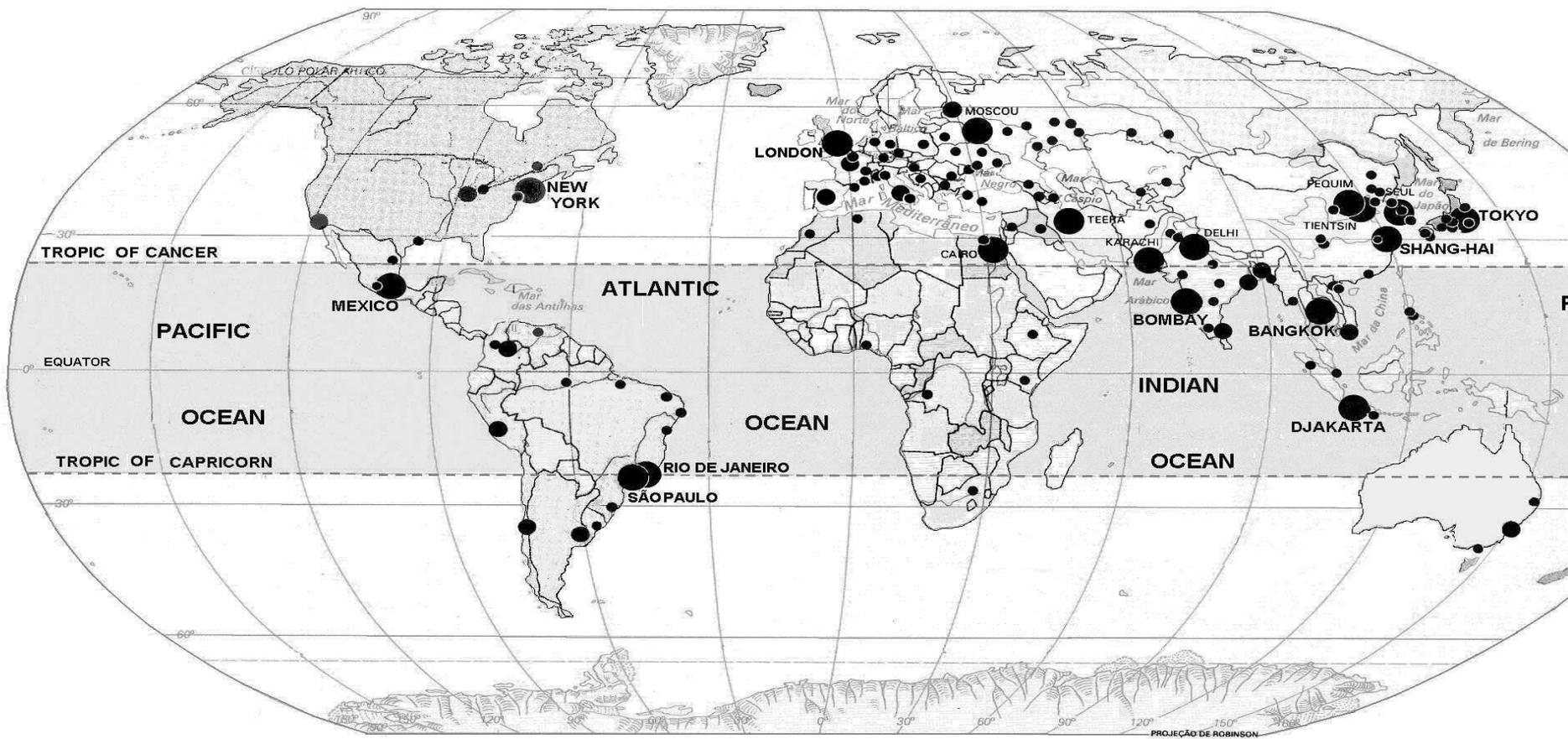
- Grande taxa de crescimento em países em desenvolvimento;
- Redução nos países desenvolvidos
- Taxa de estabilização de 2,1 filhos por casal;
- Fator importante é a taxa de urbanização



# Urbanização

- Taxa muito alta na América do Sul > 75%
- Países de grande população como China e Índia (22%) possuem pequena taxa de urbanização
- 8 das 10 maiores cidades do mundo estão nos países em desenvolvimento
- Gestão deficiente das cidades nos países em desenvolvimento, potencializando os problemas

City	Population Millions
Tokyo	27,8
Bombay	18,0
Sao Paulo	17,8
Shanghai	17,0
New York	16,6
Mexico City	16,3
Peking	14,2
Djakarta	14,0
Lagos	13,5
Los Angeles	13,0



Tropics

- CITIES**  
POPULATION (IN MILLIONS)
- 1 - 3
  - 3 - 5
  - more than 5

# Crescimento urbano no Brasil

- No Brasil, grande crescimento da população urbana nas últimas décadas, com tendência de estabilização.
- 50% da população em cidades acima de 100 mil habitantes
- O país tende a estabilização da população ( ~2,1 filhos por casal).
- 81,1% da população ocupam ~ 4% do território

Ano	População Milhões de habitantes	Parcela da população urbana %
1970	93,1	55,9
1980	118,0	68,2
1991	146,8	75,6
1996	157,1	78,4
2000 <sup>1</sup>	169,0	81,1

# Crescimento nas regiões Metropolitanas

- ❑ Crescimento alto na periferia e baixo no núcleo central das grandes cidades.
- ❑ Desenvolvimento irregular na periferia com importante impacto sobre as áreas de mananciais.
- ❑ Necessidade de adequação da legislação de mananciais e desenvolvimento de infraestrutura que iniba a irregularidade.
- ❑ O desenvolvimento urbano é a fonte do impacto na água

Cidade	População em 1996 Mihões	Aumento do núcleo entre 91 e 96 %	Aumento da periferia entre 91 e 96 %
S. Paulo	16,667	2	16,3
R. de Janeiro	10,532	1,3	7,1
B. Horizonte	3,829	3,5	20,9
P. Alegre	3,292	2,0	9,4
Recife	3,258	3,7	7,4
Salvador	2,776	6,6	18,1
Fortaleza	2,639	11,1	14,7
Curitiba	2,349	12,3	28,2
Belém	1,629	-8,1	157,9

Fonte: IBGE

# Impactos da Urbanização e Gestão das Águas Urbanas

---

- Abastecimento de Água;
  - Esgotamento Sanitário;
  - Drenagem Urbana e Inundações ribeirinhas;
  - Resíduos Sólidos;
  - Saúde
-

# Abastecimento de Água

---

- ❑ Comprometimento das fontes de abastecimento por falta de tratamento: limitação da quantidade e qualidade
  - ❑ Eutrofização dos lagos, toxicidade e comprometimento das fontes (superficial)
  - ❑ Recarga das águas subterrâneas
  - ❑ Grande perda nas redes de abastecimento
  - ❑ Falta de indicadores de eficiência
-

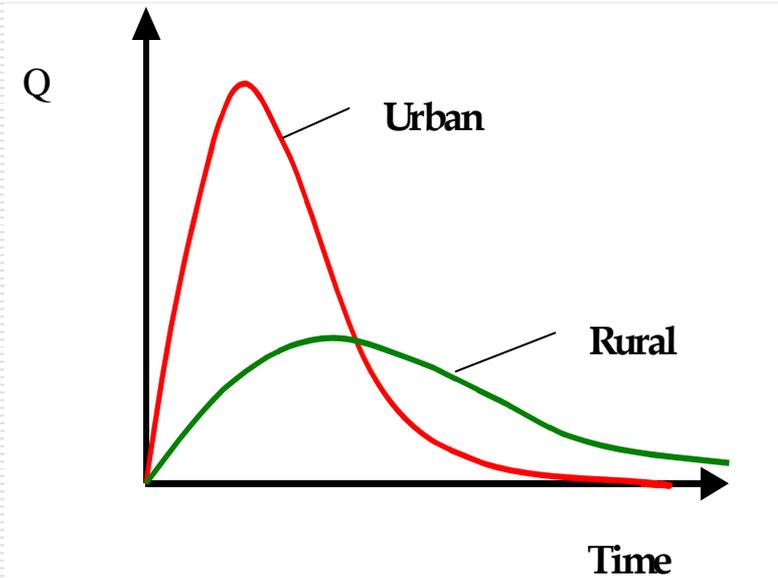
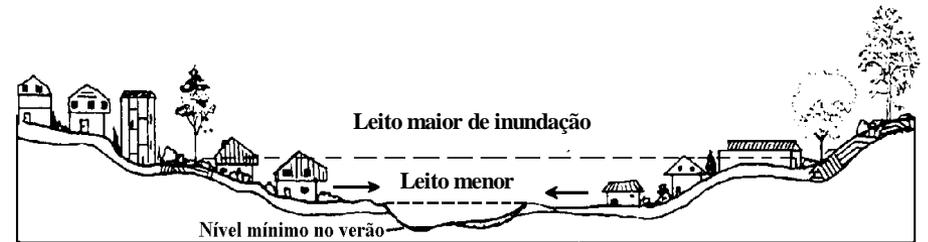
# Esgotamento Sanitário

---

- *Sistemas mistos*: grande parte da rede brasileira funciona como esgoto misto; dificultam uma solução sustentável para o conjunto do sistema pluvial e sanitário;
  - *Sistemas separadores ineficientes*: problemas na falta de ligação dos usuários a rede; metas se finalidade pública; ineficiência econômico-financeira; falta de controle de qualidade dos serviços; cobrança pela coleta e tratamento sem que existam estes serviços.
  - *Resultado*: baixo nível de tratamento efetivo do esgoto sanitário; contaminação dos mananciais, população é subsidiada pelo ambiente e recebe como impacto a redução da qualidade de vida e o risco sobre sua saúde.
-

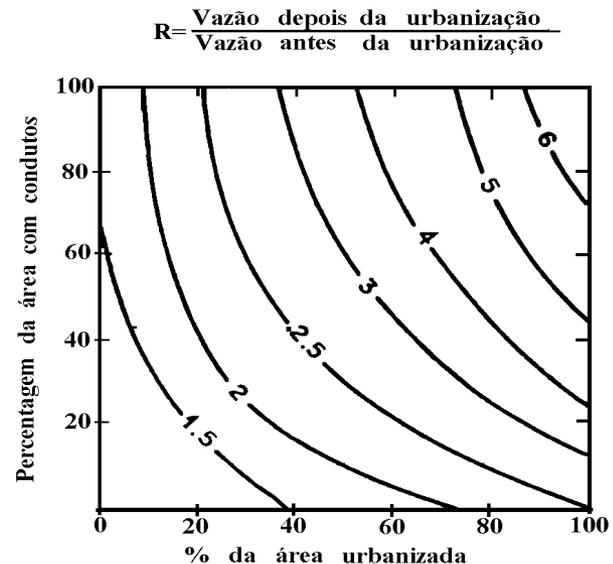
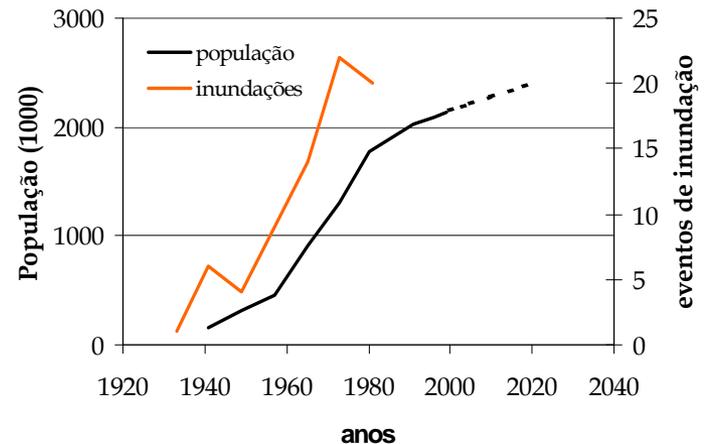
# Águas Pluviais

- *Inundações ribeirinhas*: inundações naturais resultado da flutuação dos rios durante os períodos secos e chuvosos. Os problemas ocorrem devido a ocupação das áreas de riscos pela população.
- *Inundações devido a urbanização (drenagem urbana)*: escoamento em áreas urbanizadas, geralmente pequenas bacias. A urbanização amplia as vazões devido a canalização e a impermeabilização do solo.



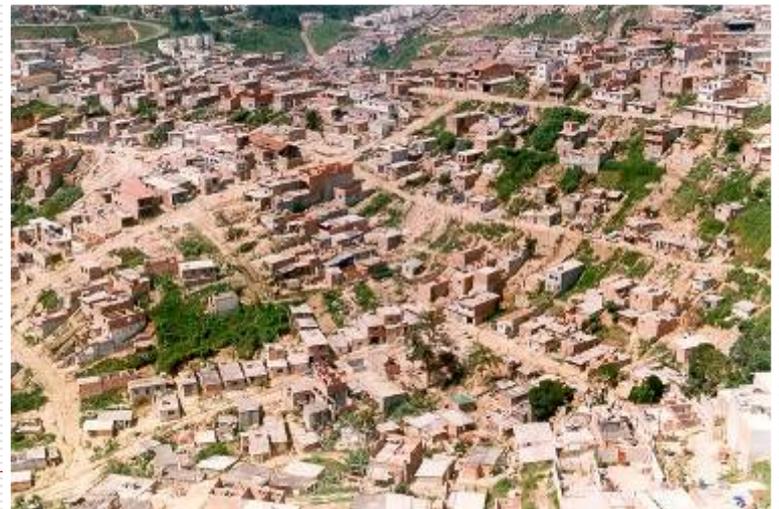
# Impactos devidos à drenagem urbana

- Aumento da vazão máxima, frequência da inundação devido a impermeabilização e canalização;
- Aumento da erosão, resíduos sólidos e da carga de poluentes com redução da qualidade da água de jusante.
- Escorregamento de encostas.
- Doenças de veiculação hídrica: leptospirose e outras
- Quem produz o impacto não sofre impacto.



# Erosão Urbana

- ❑ A impermeabilização, e canalização aceleram o escoamento, produzindo aumento de energia
- ❑ Solos frágeis sofrem erosões que produzem verdadeiros canyons urbanos
- ❑ Perda de área de uso pela população
- ❑ Problemas sérios em maiores declividades



# Resíduos Sólidos

---

- Fase 1 : crescimento da cidade: grande produção de sedimentos (construções, superfícies desprotegidas);
- Fase 2 : transição com sedimentos e resíduo sólido;
- fase 3: quando a cidade ou área urbana está estabelecida a produção de resíduo sólido (lixo) é alta.

## Resíduos Sólidos

$$T_{rs} = T_c + T_{li} + T_d$$

$T_c$  = total coletado

$T_{li}$  = total da limpeza urbana

$T_d$  = total na drenagem

Quando os dois primeiros termos são pequenos e a eficiência da gestão é ruim aumenta o último que tem custo maior.

# Obstrução



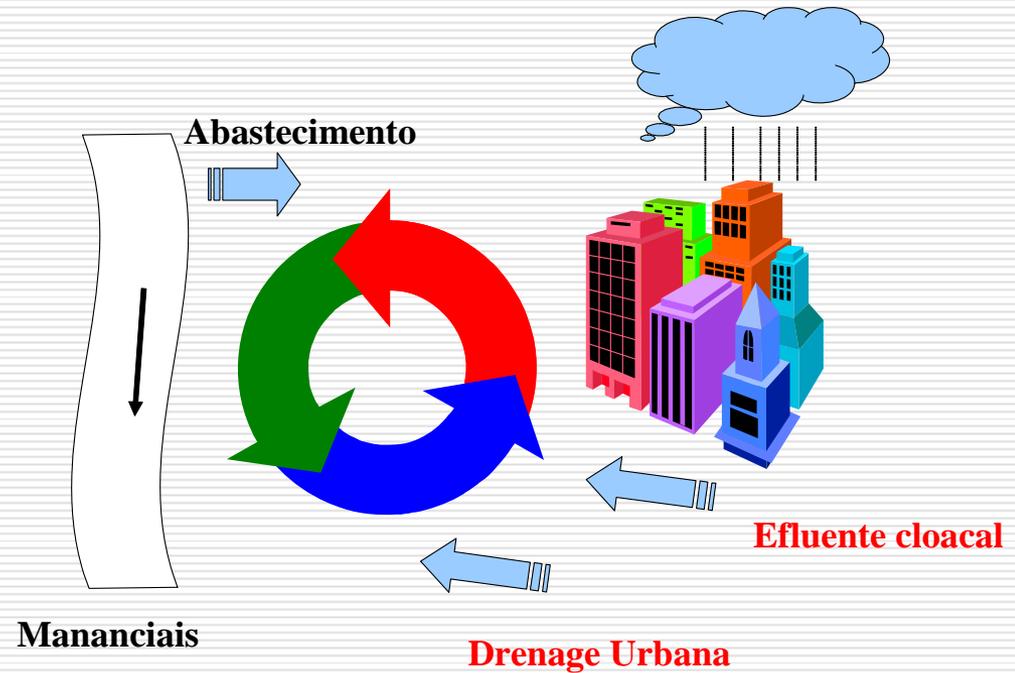
# Qualidade da água pluvial

- ❑ Carga equivalente ao esgotamento sanitário
- ❑ composição orgânica: DBO, N, P
- ❑ composição com metais: Chumbo, Ferro, etc;
- ❑ grande carga no início da precipitação



# Ciclo de contaminação

- ❑ Retirada de água a montante
- ❑ Despejo a jusante sem tratamento dos efluentes;
- ❑ Transferência dos impactos para jusante;
- ❑ Sempre haverá uma cidade a montante e outra a jusante com o crescimento urbano
- ❑ Ciclo de impactos generalizados



# Cenário Comparativo

Infra-estrutura	Países Desenvolvidos	Em desenvolvimento
Abastecimento de água	Cobertura total com comprometimento devido a poluição difusa	Alta cobertura e contaminação das fontes
Esgoto doméstico	Cobertura alta	Baixa cobertura e tratamento com impactos nas fontes e na saúde
Drenagem Urbana e Resíduos sólidos	Controle da quantidade e ações para controle da qualidade	Sem controle e impactos transferidos
Inundações ribeirinhas	Medidas não-estruturais	Sem qualquer controle

# Estágios das águas urbanas em países desenvolvidos

Anos	Período	Características
Até 1970	Higienista	Abastecimento de água sem tratamento de esgoto, transferência para jusante do escoamento pluvial por <u>canalização</u>
1970- 1990	Corretivo	Tratamento de esgoto, <u>amortecimento</u> quantitativo da drenagem e controle do impacto existente da qualidade da água pluvial. Envolve principalmente a atuação sobre os impactos.
1990* - ?	sustentável	Planejamento da ocupação do espaço urbano obedecendo os mecanismos naturais de escoamento; Controle dos micro-poluentes, da poluição difusa e o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial através da recuperação da <u>infiltração</u> .

# Países em Desenvolvimento

---

- ❑ Os países em desenvolvimento na sua maioria estão no estágio higienista com alto grau de vulnerabilidade;
  - ❑ Ásia, América Central e Ásia onde os países ainda são mais rurais (Índia tem 22% de população urbana) tendem a passar por estes impactos;
  - ❑ Alta concentração urbana com limitados recursos e gestão ineficiente é potencialmente explosivo para as condições ambientais e qualidade de vida.
-

# Vulnerabilidades urbanas

---

- ❑ Redução da disponibilidade hídrica
  - ❑ Agravamento ambiental: qualidade da água, emissão de gases, fragmentação dos ambientes.
  - ❑ Vulnerabilidades ao: Aumento da frequência das inundações urbanas e seus efeitos, saúde, etc.
-

# Redução da Disponibilidade hídrica

---

- ❑ Regiões metropolitanas de grande densidade de ocupação – São Paulo e Curitiba
  - ❑ Interior de S. Paulo com super-exploração da água subterrânea
  - ❑ Semi-árido devido a grande variabilidade interanual
  - ❑ Regiões de competição alta pela água: arroz e abastecimento no Sul do Brasil e transfronteiriços
-

# Agravamento Ambiental

---

- ❑ Altas cargas sem tratamento nas cidades de cabeceiras = contaminação das fontes de água e impacto ambiental
  - ❑ Colapso nas cidades com grande densidade habitacional
  - ❑ redução da capacidade de recuperação dos ambientes pela maior flutuação e períodos críticos (ex. rio dos Sinos).
-

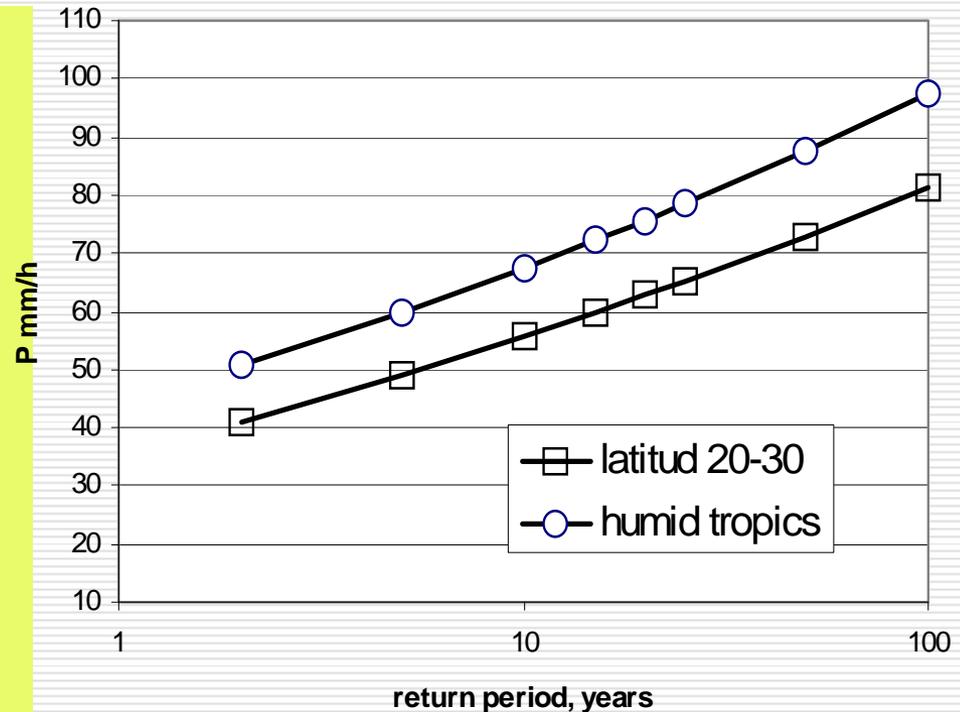
# Aumento da Frequência de Inundações

---

- ❑ Mudança das Estatísticas das chuvas
  - ❑ Grande parte dos projetos de drenagem são ainda dimensionados com dados até 1958!!!
  - ❑ Risco de sub-dimensionamento e aumento dos prejuízos ou dos custos de recuperação das condições de projeto
-

# Efeito do clima

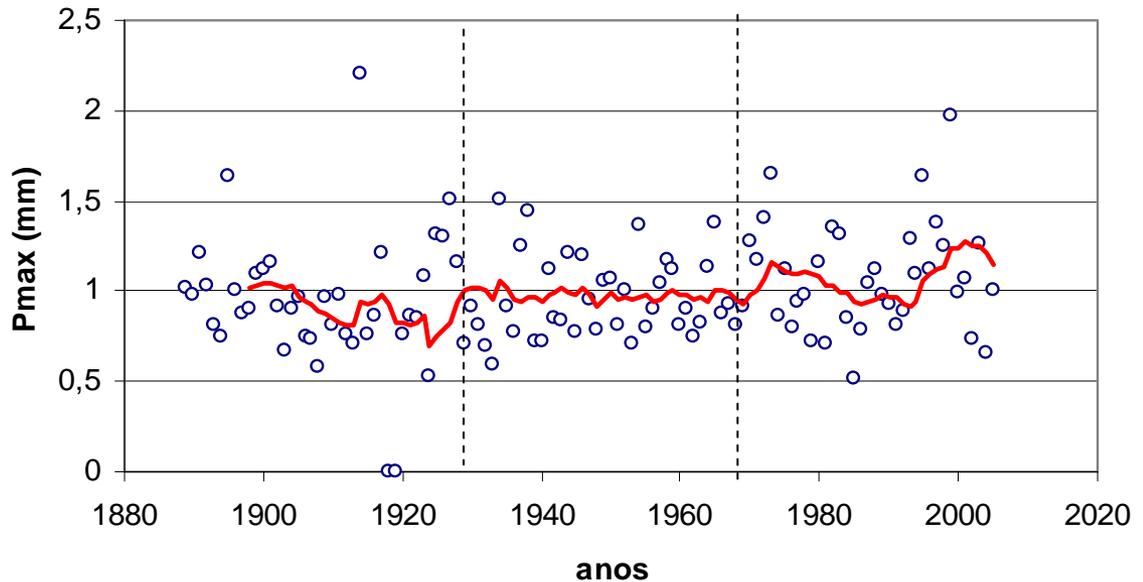
- Diferença da Intensidade Duração e Frequência do trópico úmido com relação ao temperado brasileiro;
- Aumento do custo ou redução do critério de projeto
- Cerca de 25% de chuva para o mesmo risco e duração.



1h de duração

# Efeito da variabilidade

- Aumento da média depois de 70 em 9,7 % na média da chuva máxima diária
- Efeito maior para coeficiente de escoamento menor



Chuva máxima diária  
em Curitiba

# Efeito sobre o coeficiente de escoamento

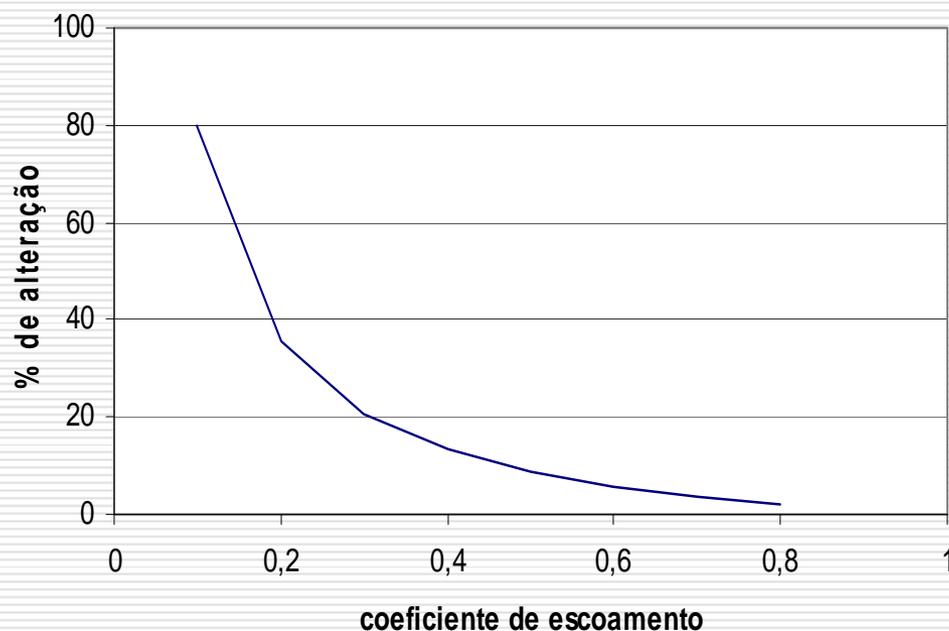
- aumento (%) do coeficiente de escoamento é maior para áreas menos urbanizadas

- $C_2$  (C depois do aumento da chuva) =  $r/(1+r) + C_1/(1+r)$

- onde  $r$  é o aumento da chuva (entre 0 e 1)

- $C_1$  é o C, coeficiente de escoamento, anterior ao aumento da chuva

9,7% de aumento



- Admite que todo o aumento de chuva gera somente escoamento superficial

# Aumento do custo para mitigação

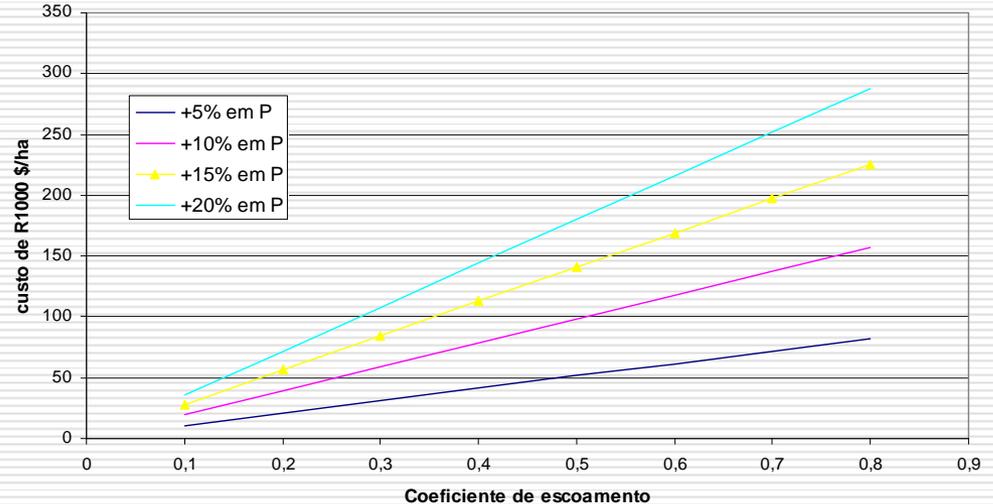
## □ Custo de mitigação

(mil R\$/ha)=

$$0,6P.r(1-c)/(1+r).A.Cu$$

□ A= área da bacia; Cu custo unitário R\$ /m<sup>3</sup>; P = chuva (mm/h); c = coeficiente de escoamento

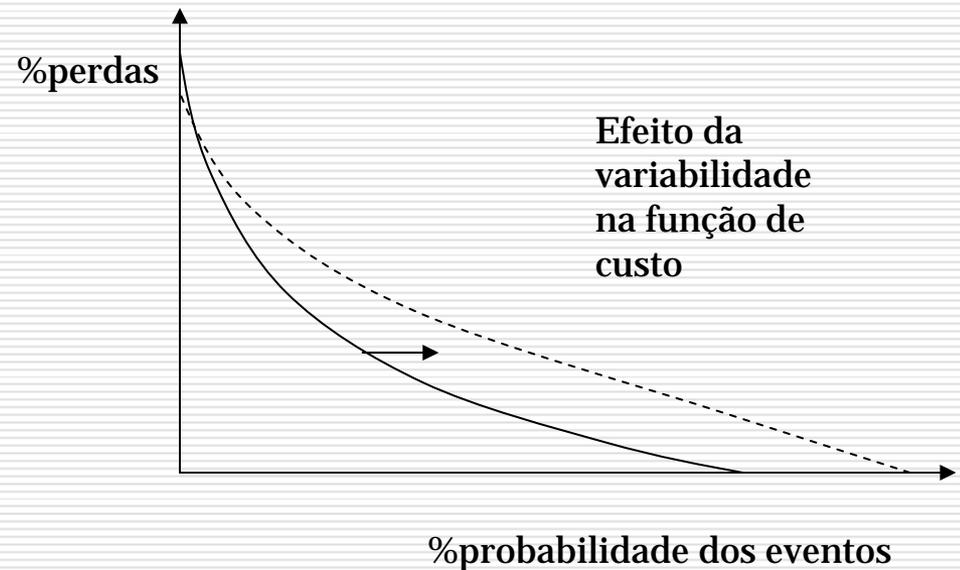
□ EX. Cidade de 1 milhão de habitantes e aumento de 10% na chuva o custo de mitigação pode chegar a ~R\$ 160 milhões



# Efeitos

- Aumento da erosão e resíduos sólidos a serem avaliados
- A percepção humana é alta para os eventos de grande frequência onde os custos são maiores
- Os efeitos maiores ocorrem para os eventos de alta frequência

## Aumento do custo médio anual de inundação



# Conclusão

---

- ❑ Independente da fonte da variabilidade climática o ser humano não está adaptado a variabilidade inter-decadal
  - ❑ O efeito do uso do solo geralmente tem um efeito maior no ambiente urbano
  - ❑ O efeito climático tende a amplificar no ambiente urbano devido ao efeito do aumento da temperatura associado a urbanização
  - ❑ Devido a tendência da concentração da população nas cidades, os efeitos econômicos podem ser exponenciais.
-