

# Previsão ou Gestão de cheias? Um caso de estudo numa cidade de média dimensão Coimbra

**José Alfeu Sá Marques**  
**Rui Daniel Pina**



University of Coimbra - Portugal



*Previsão de inundações Urbanas como parte integrante da Gestão da  
Água em Meio Urbano*

# CONTEÚDO

- 1. Introdução
- 2. Antecedentes Históricos
- 3. Intervenções da Universidade de Coimbra
- 4. Situação Actual
- 5. Conclusões

# 1. INTRODUÇÃO





# COIMBRA





# COIMBRA

---

## ■ Alguns dados sobre Coimbra:

- Área Total : 316,5 km<sup>2</sup>
- População: 150 000
- Atravessada pelo rio Mondego
- Bacias hidrográficas com diversas características
  - Áreas de 0,5 km<sup>2</sup> a 100 km<sup>2</sup>
  - Altitude máxima: 520 m
  - Altitude mínima: 6 m
  - Áreas Rurais e urbanas
- Sistema de drenagem de águas residuais:
  - 30% unitário & 70% separativo



## 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS



# ANTECEDENTES HISTÓRICOS

---

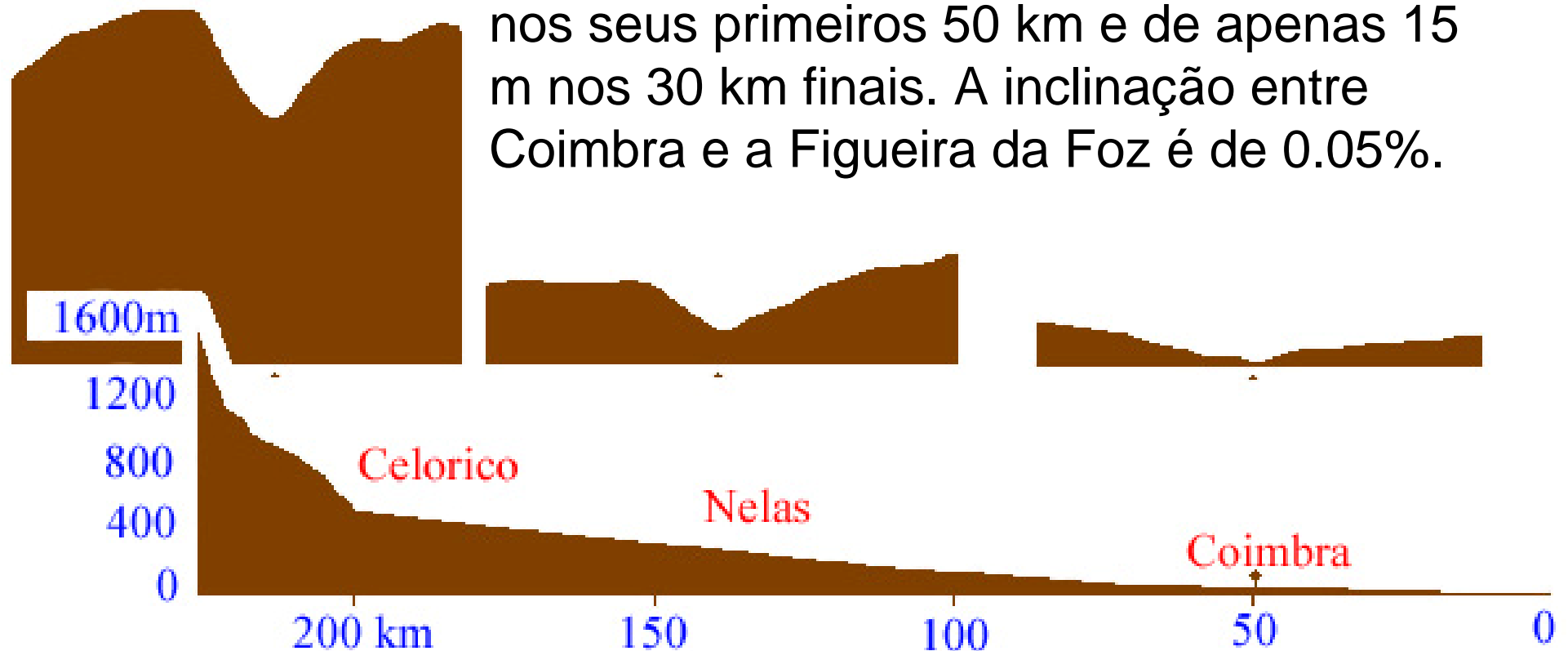
- Durante séculos a Região do Baixo Mondego foi vítima de cheias e inundações cíclicas.
- A grande maioria das inundações ocorreram nos últimos 30 km do rio.
- Os 1<sup>o</sup> estudos reportam—se ao século XV sendo naturalmente não estruturais.





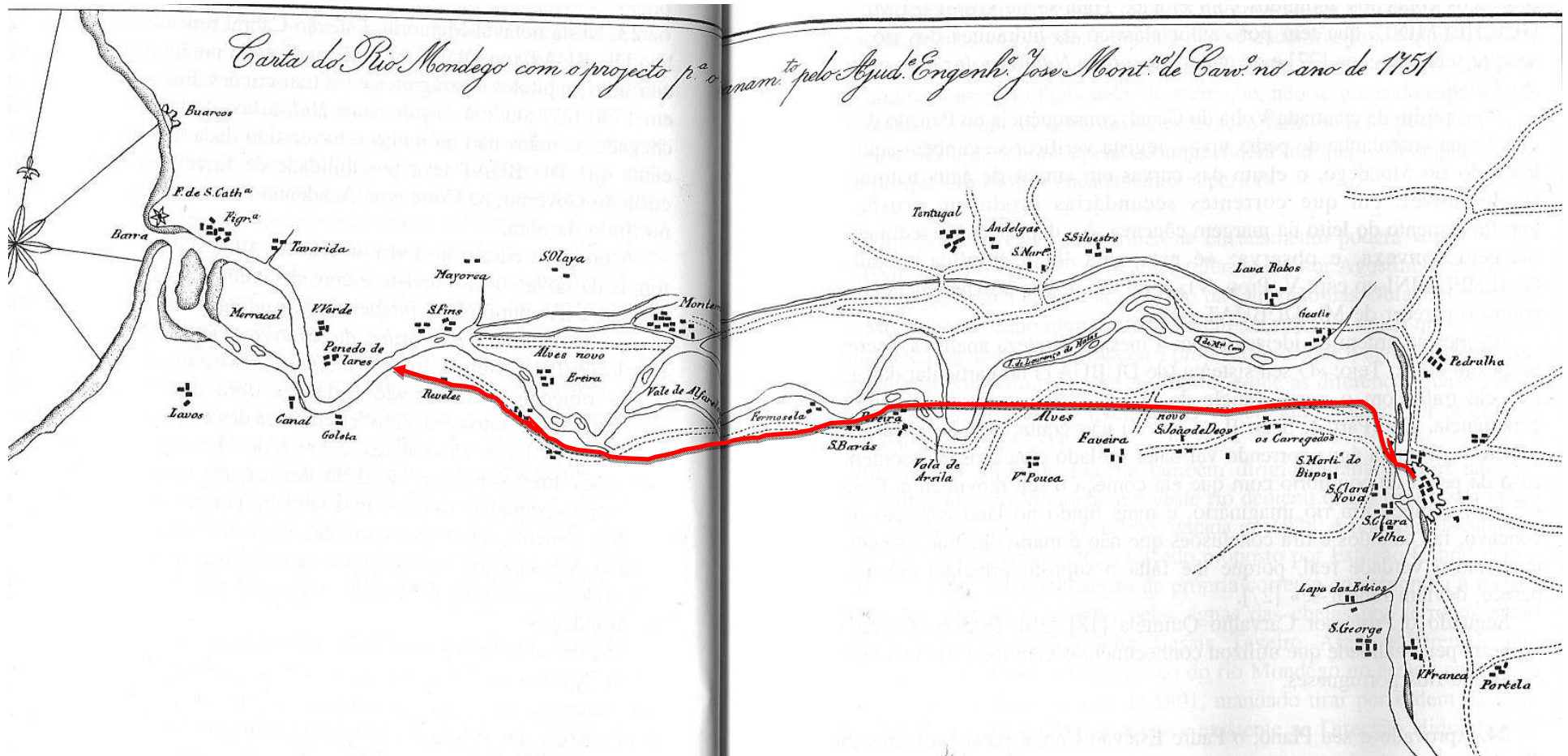
# ANTECEDENTES HISTÓRICOS

De facto o rio Mondego “desce” de 750 m nos seus primeiros 50 km e de apenas 15 m nos 30 km finais. A inclinação entre Coimbra e a Figueira da Foz é de 0.05%.



# ANTECEDENTES HISTÓRICOS

## Plano do Padre Estevão Cabral em 1790







# ANTECEDENTES HISTÓRICOS

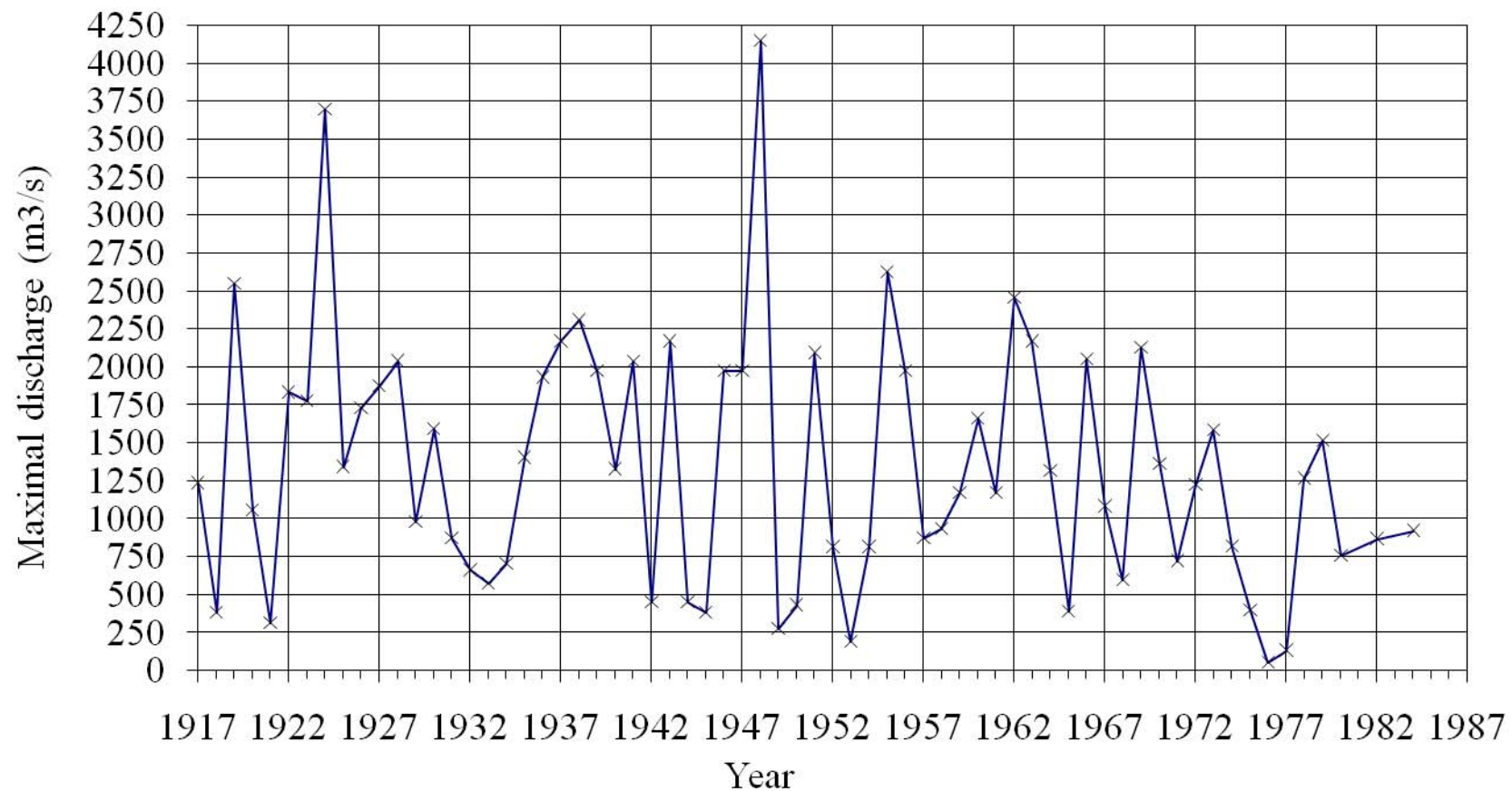
---

## Cheias históricas em Coimbra



# ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A maior cheia de que há registos ocorreu em 29 Janeiro de 1948, com um caudal máximo de 4200 m<sup>3</sup>/s:



# ANTECEDENTES HISTÓRICOS

---



**A maior cheia conhecida em Coimbra – 29 Janeiro de 1948**





# ANTECEDENTES HISTÓRICOS

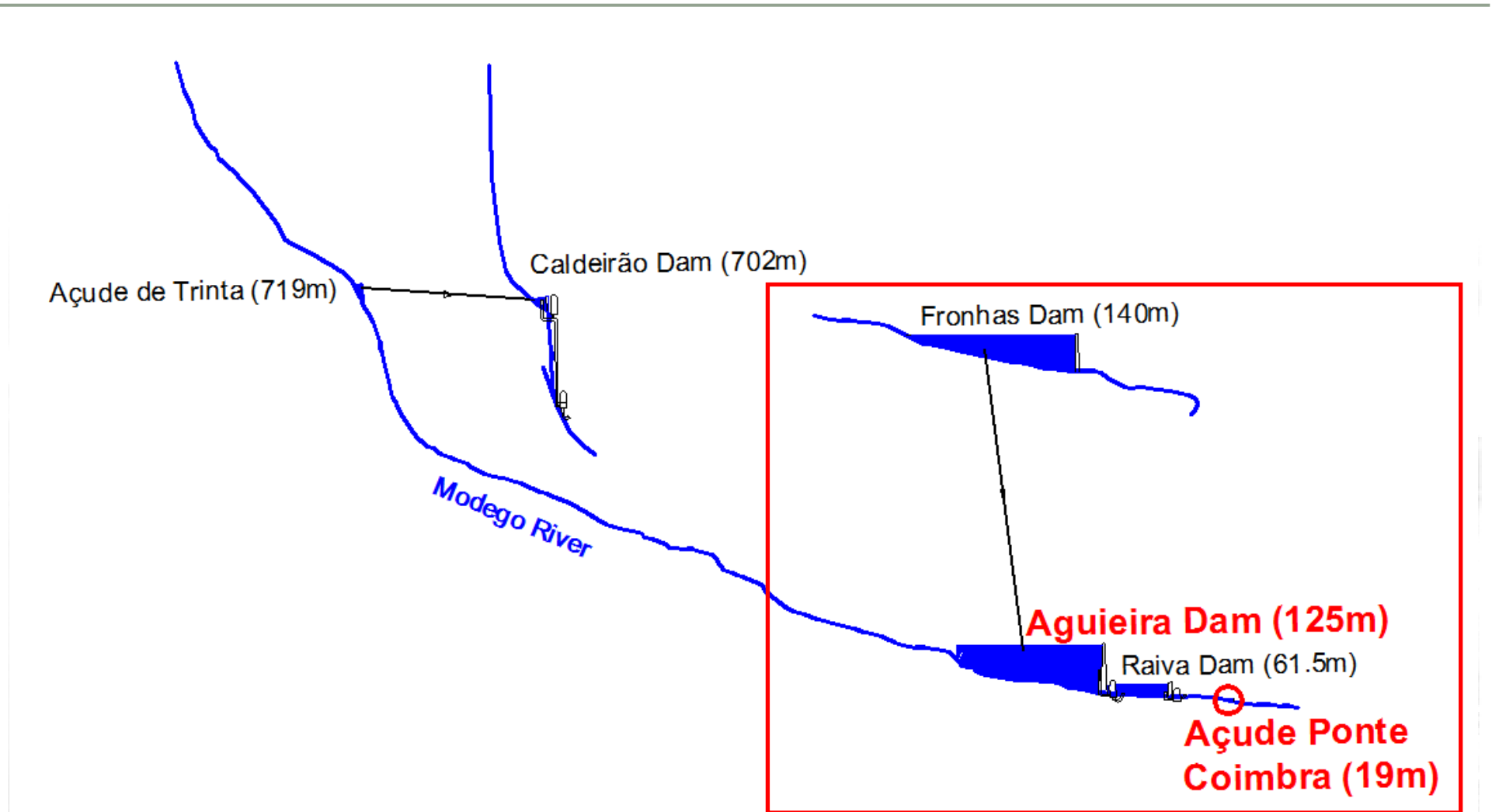
---

Durante o século 20 foram desenvolvidos vários estudos até que um Plano Geral para o Rio Mondego foi elaborado, aprovado e entrou em execução.

Quatro barragens foram então construídas.



# ANTECEDENTES HISTÓRICOS



# 3. AS INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA





# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

---

- Depois da construção das barragens em 1981, só ocorreram algumas inundações:
  - Inverno de 2000 / 2001, com uma cheia de caudal 2300 m<sup>3</sup>/s.
  - Janeiro de 2009



# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA



**Coimbra, 22 - 31 de Janeiro de 2001**



# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA



**Coimbra, 22 - 31 de Janeiro de 2001**





# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA



**Coimbra, 30 de Janeiro de 2009**





# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

---

- Em Dezembro de 2000 e Janeiro de 2001 as cheias do rio submergiram uma área de recreio.
- Foi solicitado um estudo à Universidade de Coimbra para análise deste problema.



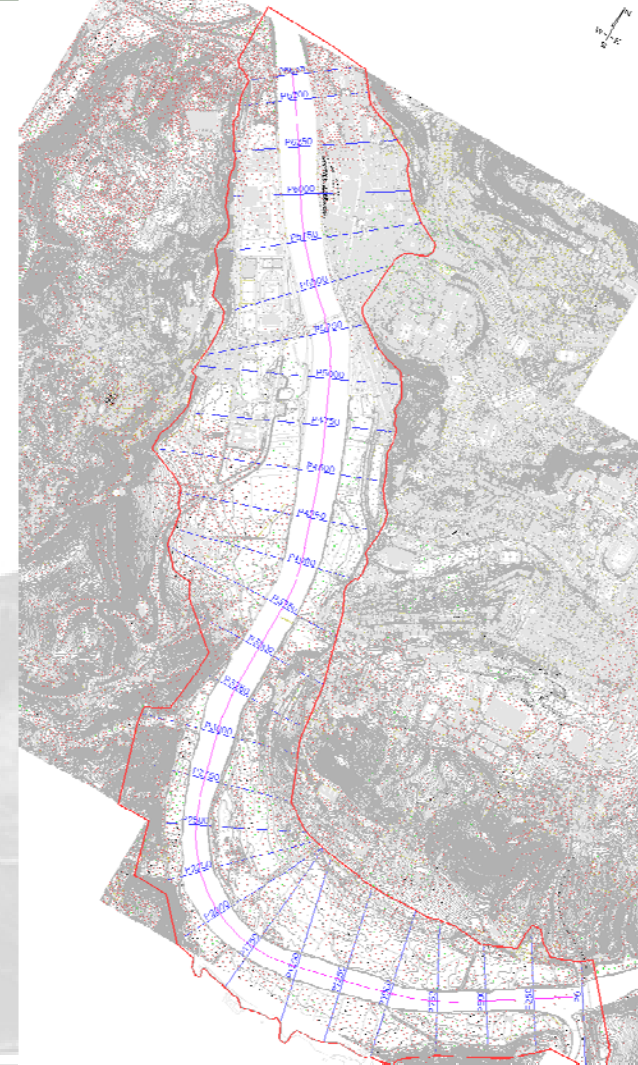
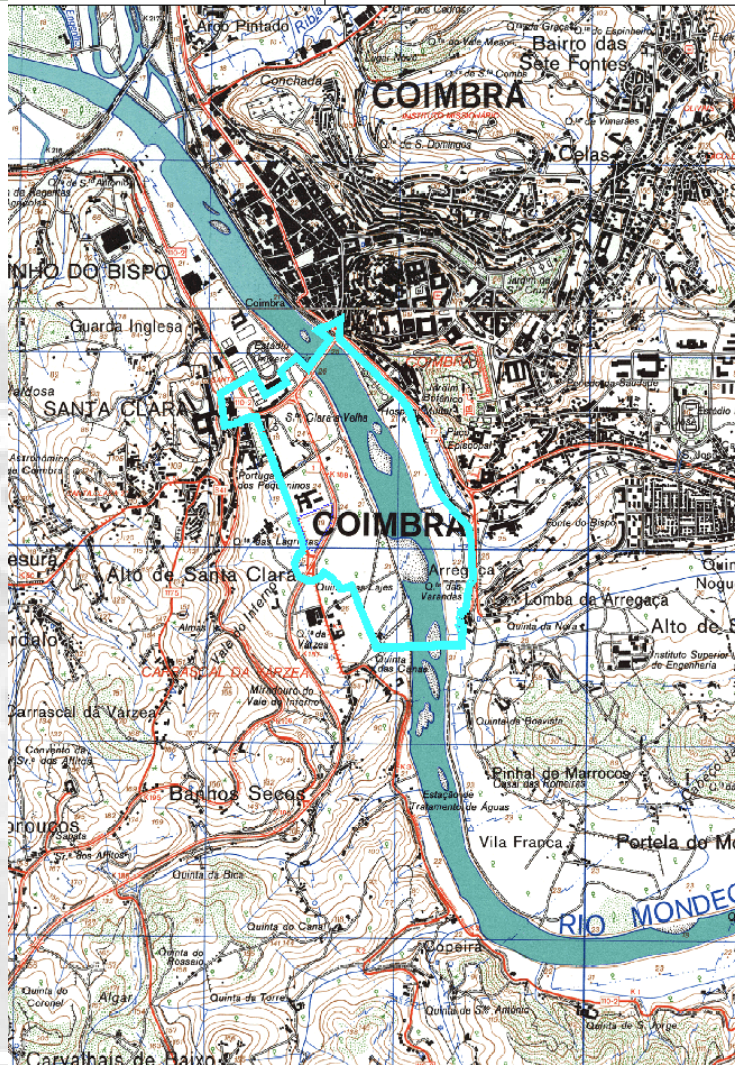
# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

---

- Utilizando uma estrutura computacional, desenvolvida na Universidade de Coimbra, foram efectuadas várias simulações hidráulicas entre as Pontes da Portela e Ponte Açude.
- Com o conhecimento dos impactos reais das descargas da Barragem da Aguieira na zona baixa da Cidade de Coimbra é possível prevenir problemas futuros.



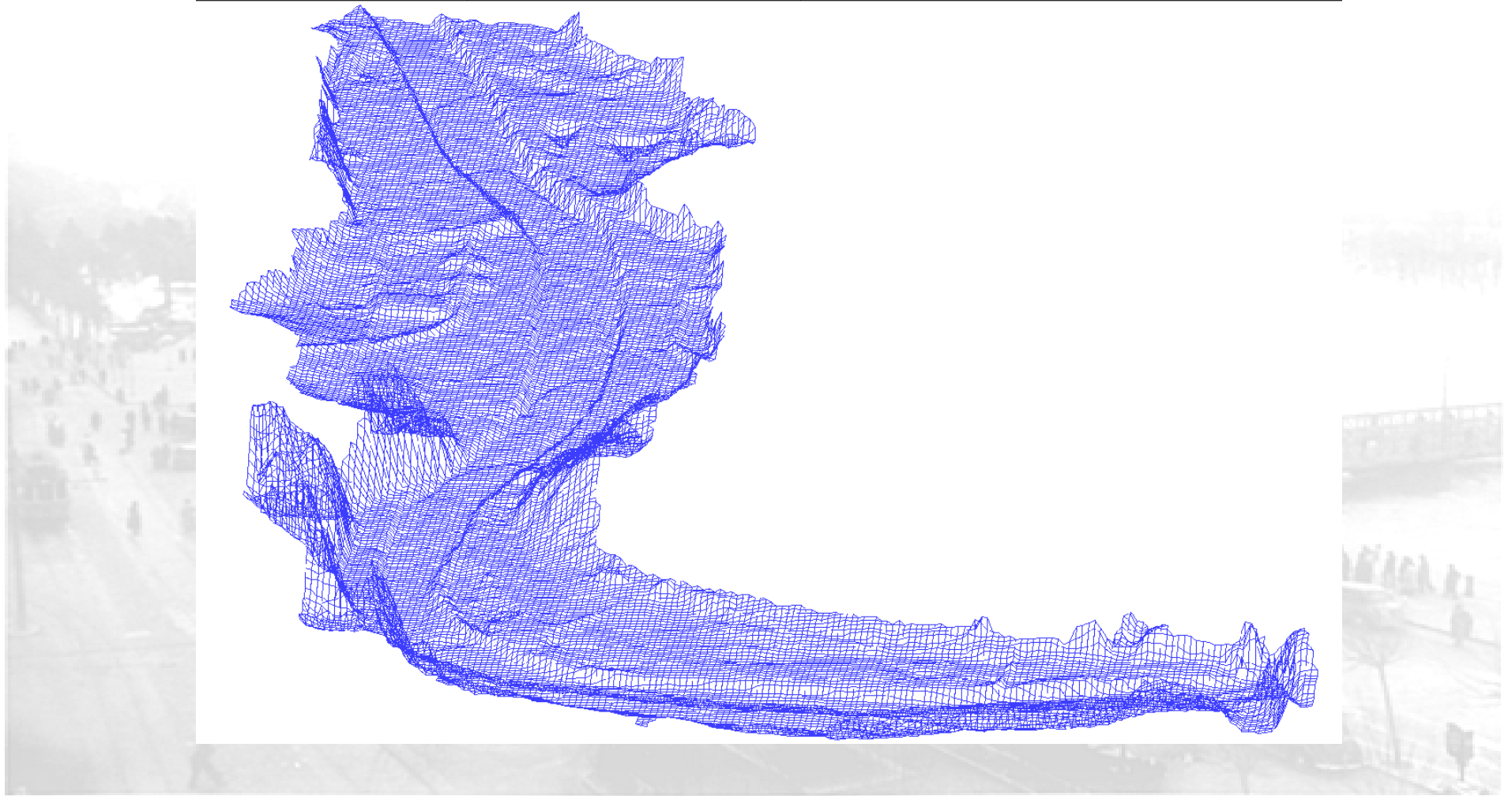
# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA





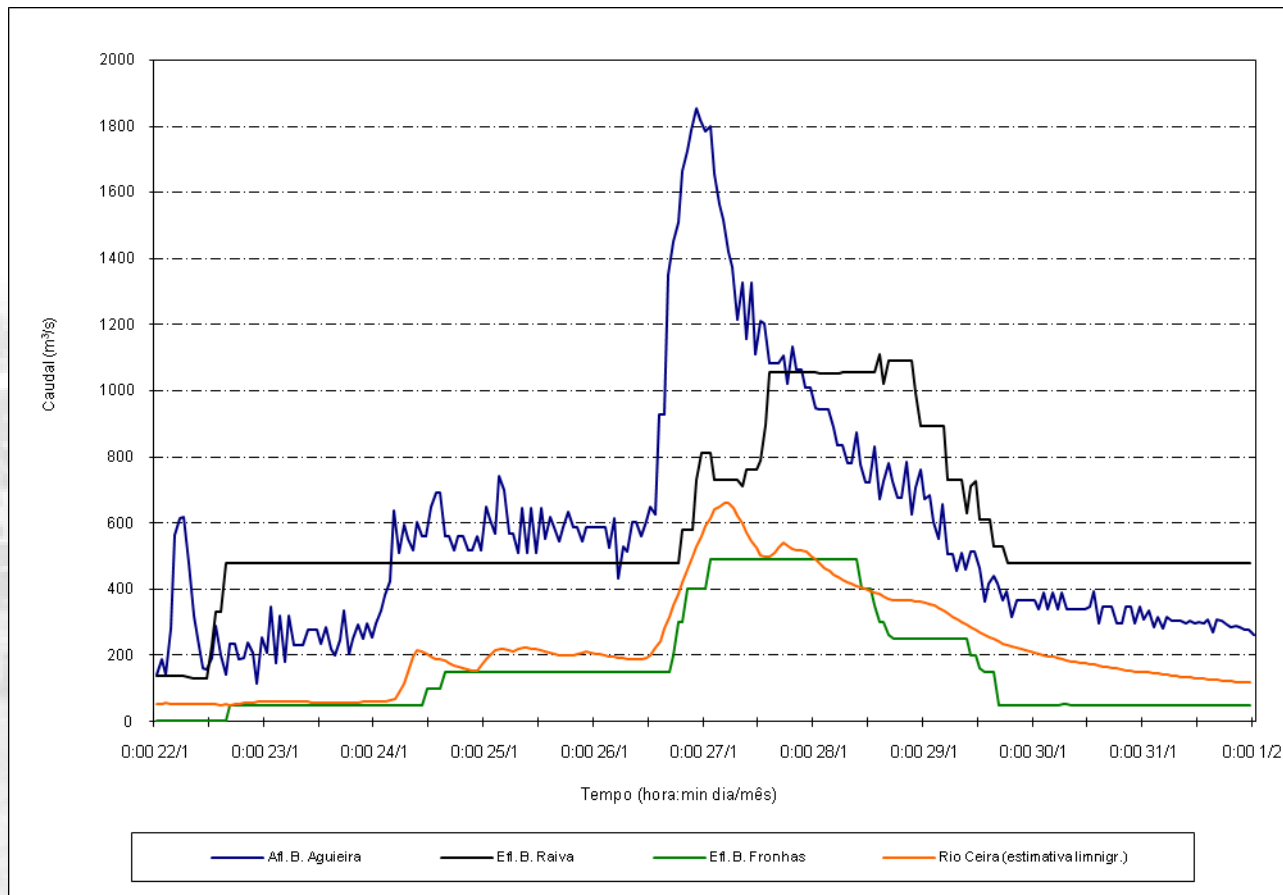
# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

---





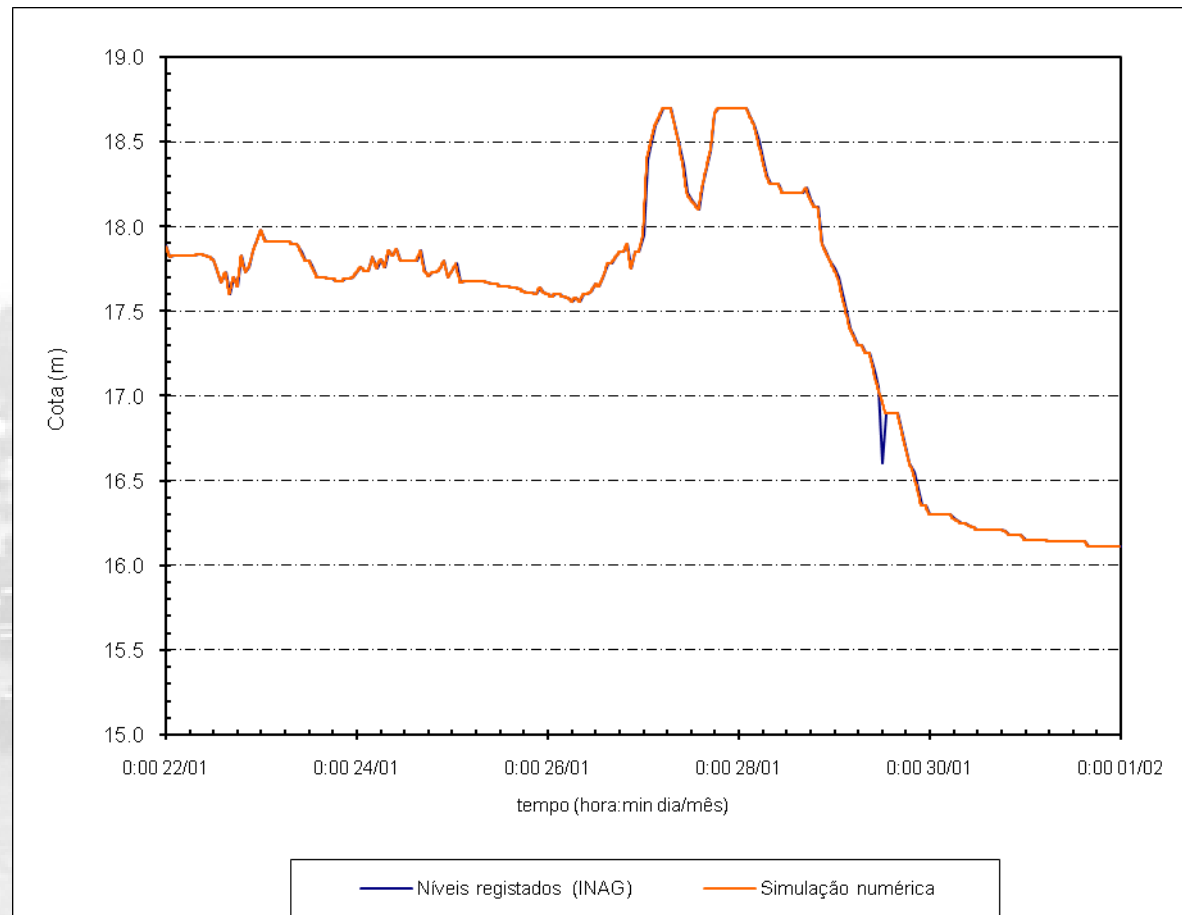
# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Análise comparativa entre os hidrogramas naturais e numéricos em Janeiro de 2001



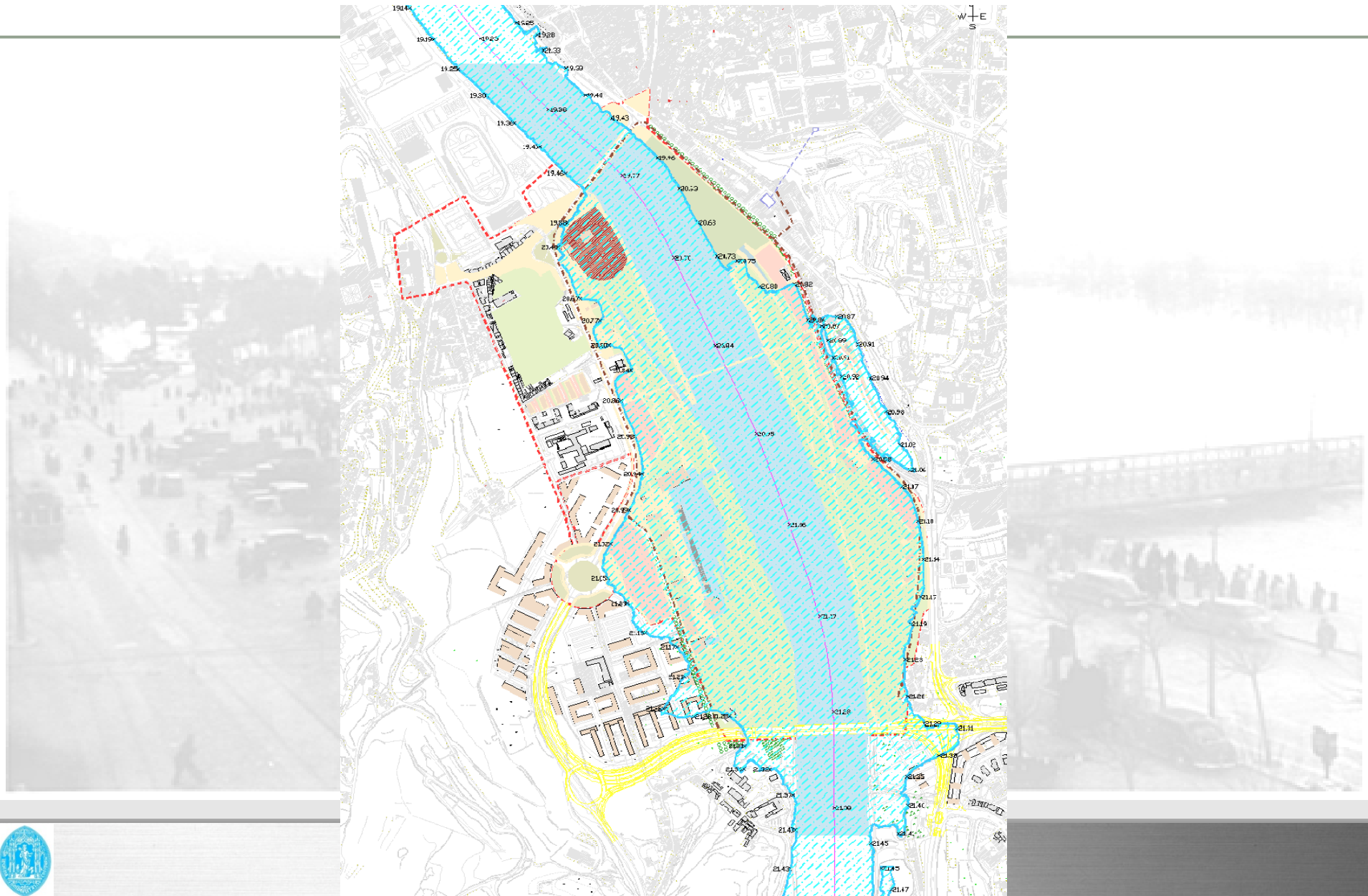
# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Níveis de água na Ponte Açude (dados reais e resultados numéricos com uma condição de fronteira a jusante imposta no modelo).



# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA




# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

---

## Após a construção das Barragens no Mondego



### Novos problemas



Com as cheias menos frequentes aumentou a pressão de construção nas planícies de inundação



Expansão de novas áreas de construção





# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

---

## ■ “Estudos de Hidrologia Urbana na cidade de Coimbra”

- Cooperação entre a Câmara Municipal de Coimbra e a Universidade de Coimbra
- Objectivos:
  - Estudo da hidrologia e drenagem de Coimbra
  - Implementação de “regras” para o Plano Director Municipal de Coimbra.
  - Plano Director de Drenagem



# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

---

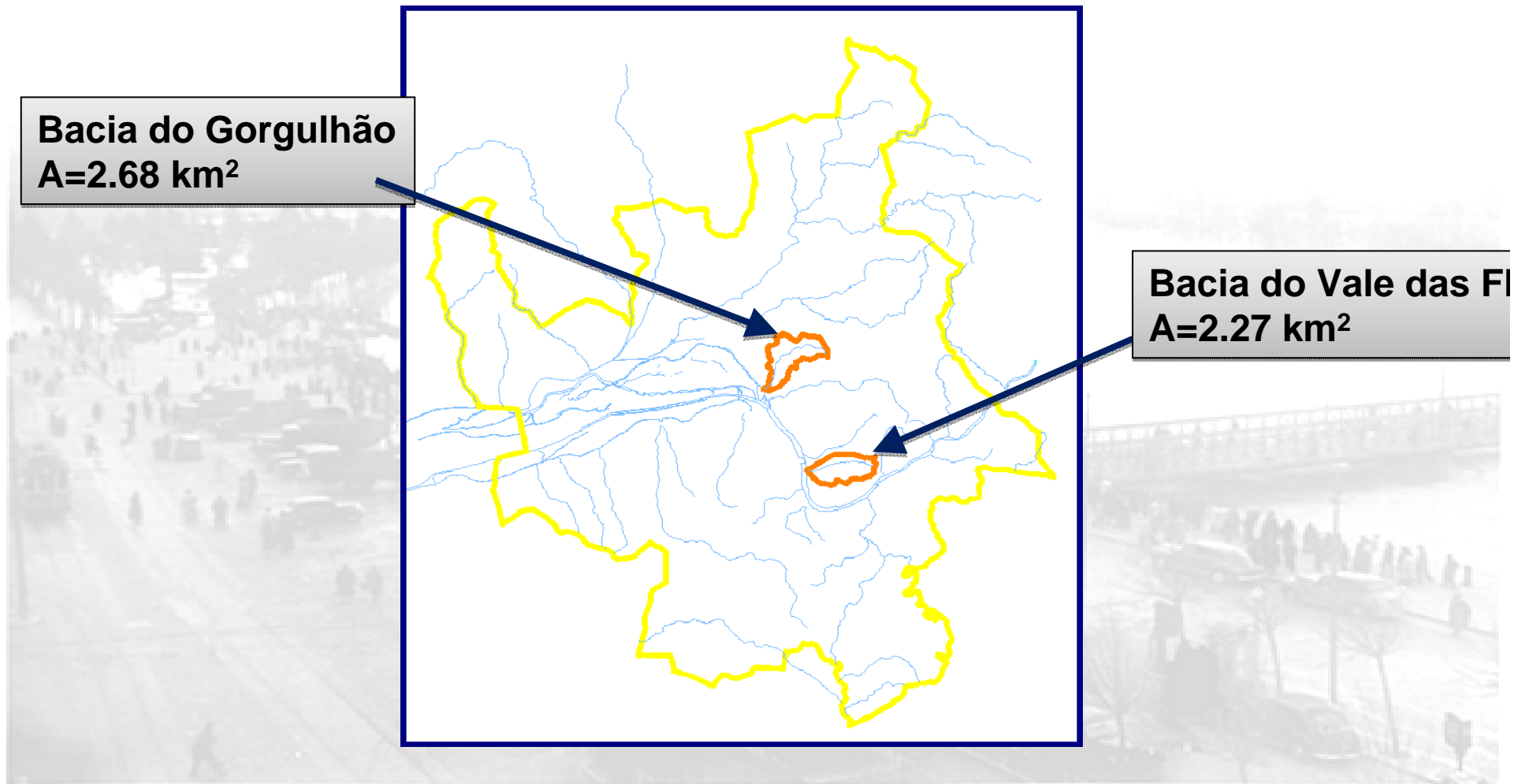
- “Estudos de Hidrologia Urbana na cidade de Coimbra”

– Principal trabalho Desenvolvido:

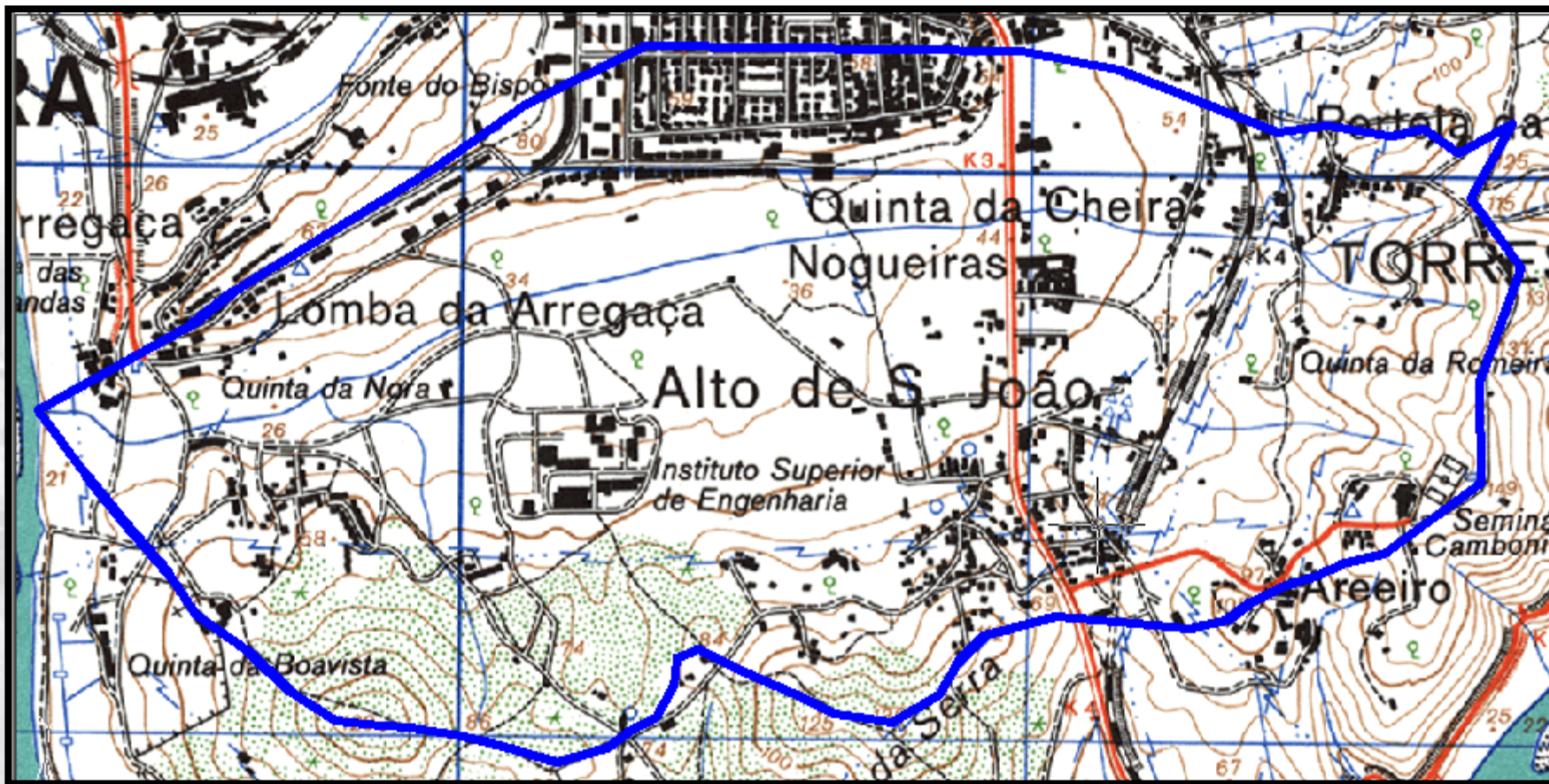
- Caracterização da área
- Estudo da precipitação
- Identificação de áreas de risco de inundação
- **Proposta de medidas não estruturais** para resolver/minimizar os problemas



# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA



# INTERVENÇÕES DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

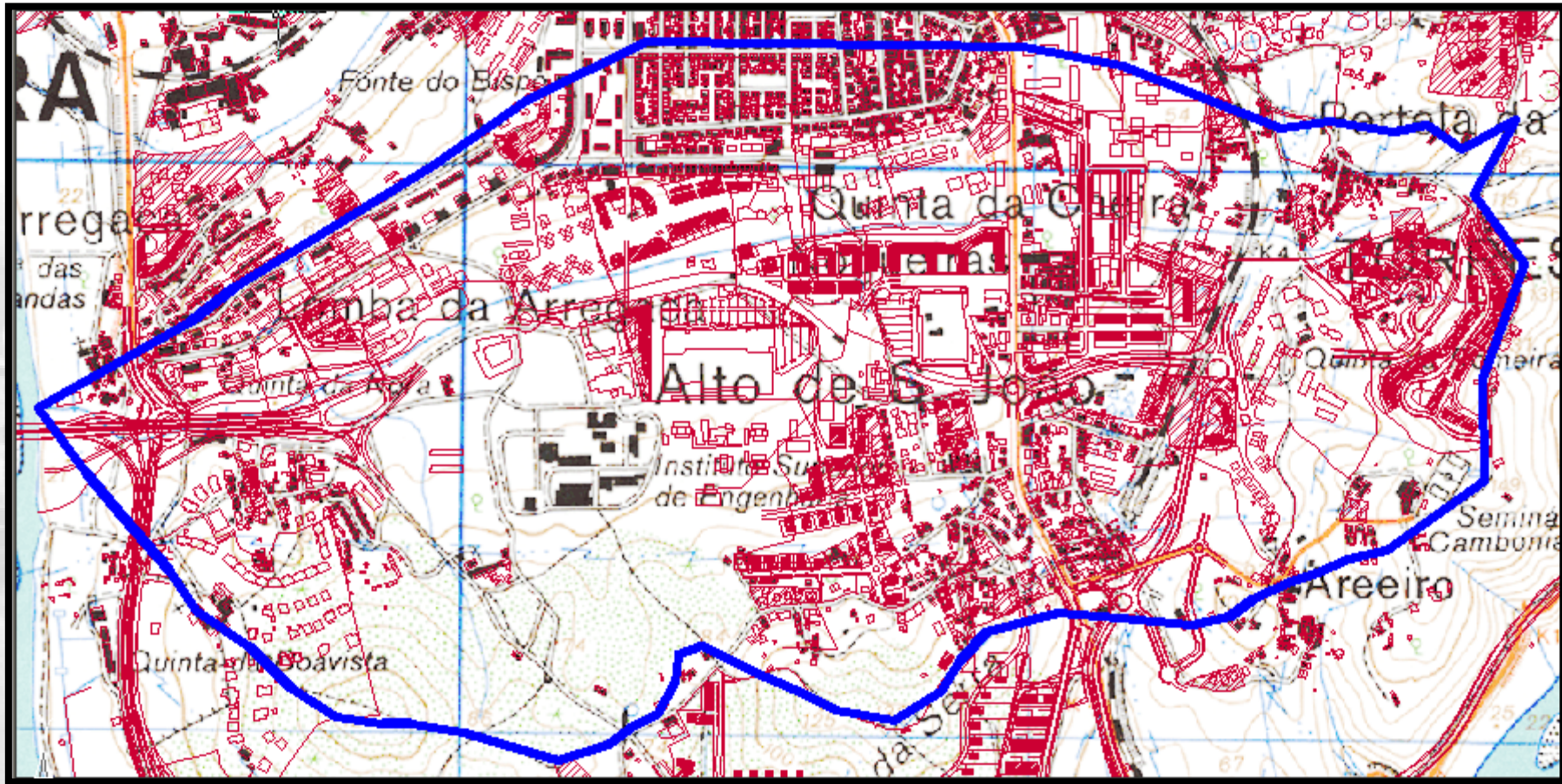


**Bacia do Vale das Flores - 1970**





# A INFLUENCIA DE NOVAS ÁREAS URBANAS - EXEMPLOS

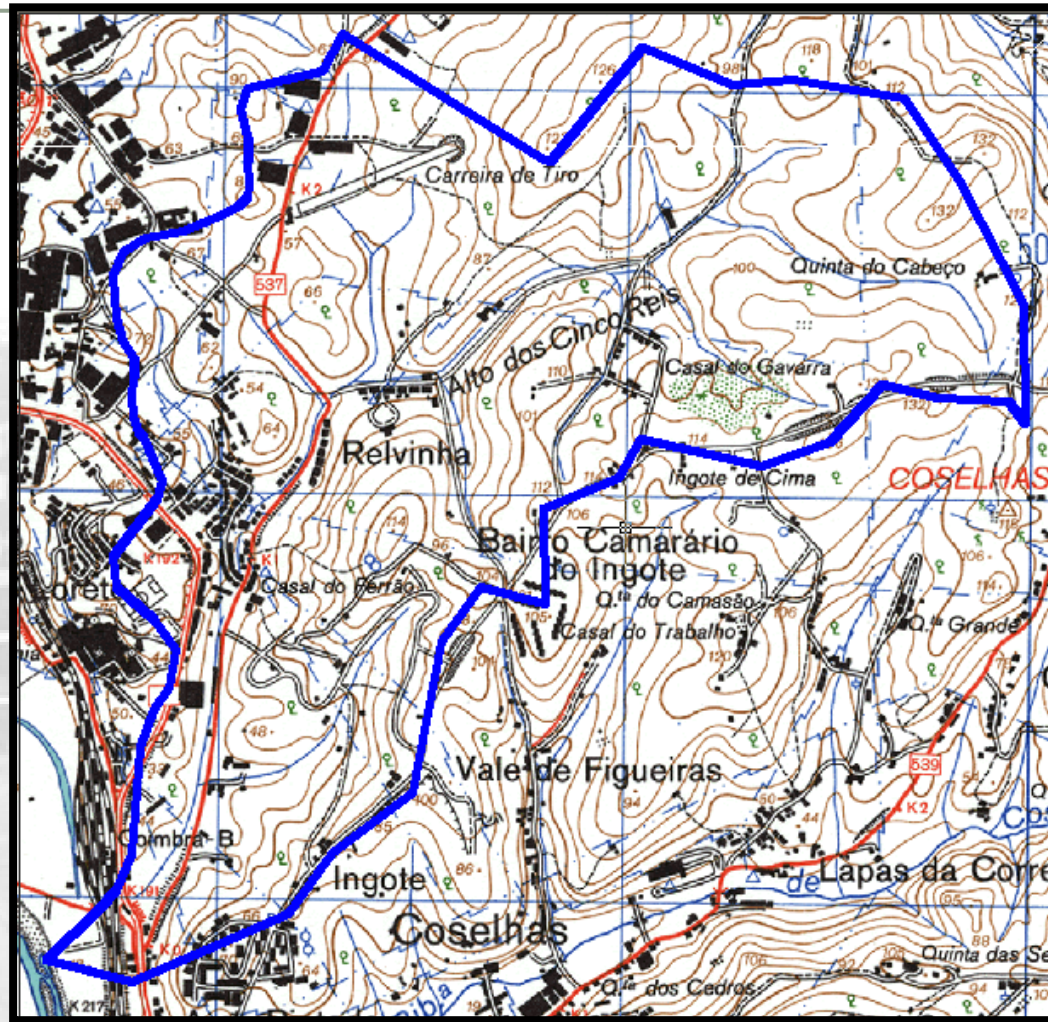


**Bacia do Vale das Flores - 2005**





# A INFLUENCIA DE NOVAS ÁREAS URBANAS - EXEMPLOS

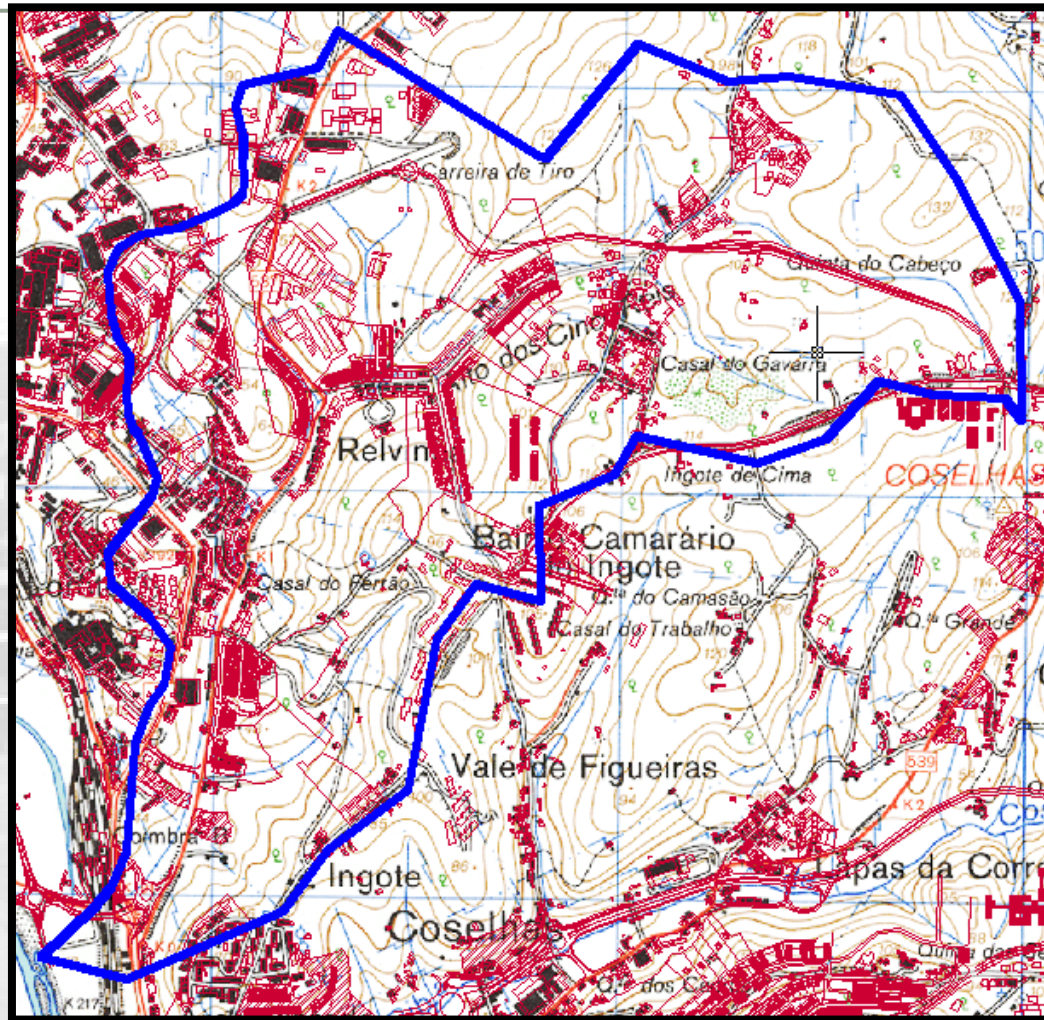


**Bacia do Gorgulhão - 1970**

José Alfeu Almeida de Sá Marques



# A INFLUENCIA DE NOVAS ÁREAS URBANAS - EXEMPLOS



**Bacia do Gorgulhão - 2005**





# A INFLUENCIA DE NOVAS ÁREAS URBANAS - EXEMPLOS

---

- Conseqüências da expansão urbana desorganizada:

- Aumento do pico de cheia:
  - 75 % na bacia do Gorgulhão
  - 50 % na bacia do Vale das Flores



Período de retorno diminui



**Mais elevada frequência de inundações**





# A INFLUENCIA DE NOVAS ÁREAS URBANAS - EXEMPLOS



**Centro de Coimbra, 2006**



# A INFLUENCIA DE NOVAS ÁREAS URBANAS - EXEMPLOS



**Centro de Coimbra, 2008**



# 4. SITUAÇÃO ACTUAL





# SITUAÇÃO ACTUAL

---

- **Cooperação**
  - Universidade de Coimbra
  - AC. EM, (Empresa municipal de água, esgotos águas pluviais da cidade de Coimbra)

**Projectos de  
manutenção e análise  
de risco de inundação**



**Desenvolvimento dos Planos Directores de Drenagem**





# SITUAÇÃO ACTUAL

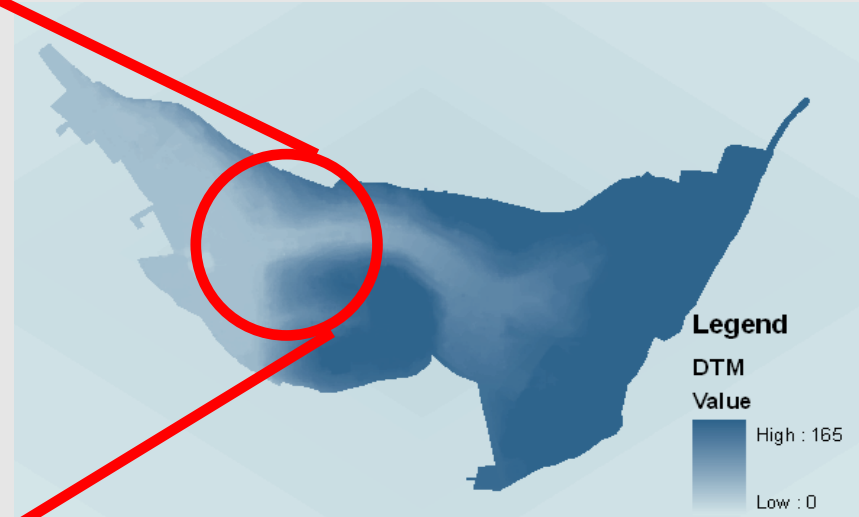
- Trabalhos em curso:
  - Bases de dados e georeferenciação (GIS)
  - Modelação Hidráulica e Hidrológica
  - Calibração dos modelos
  - Sistemas de monitorização



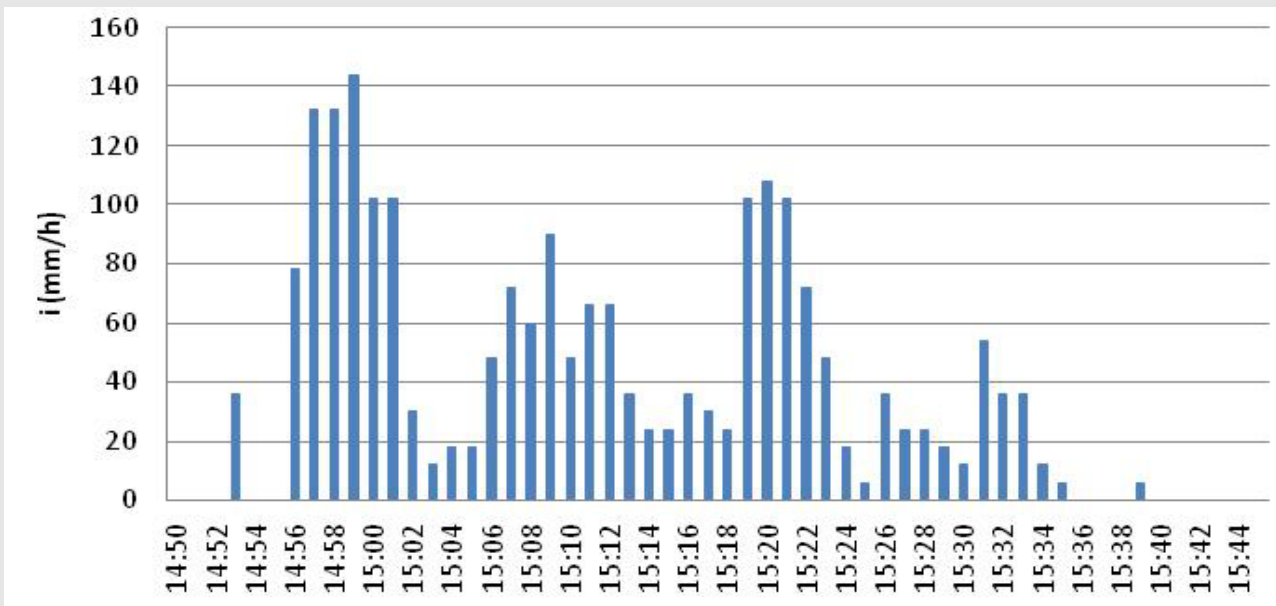
# 5. Modelação - Exemplo



# Caso de estudo



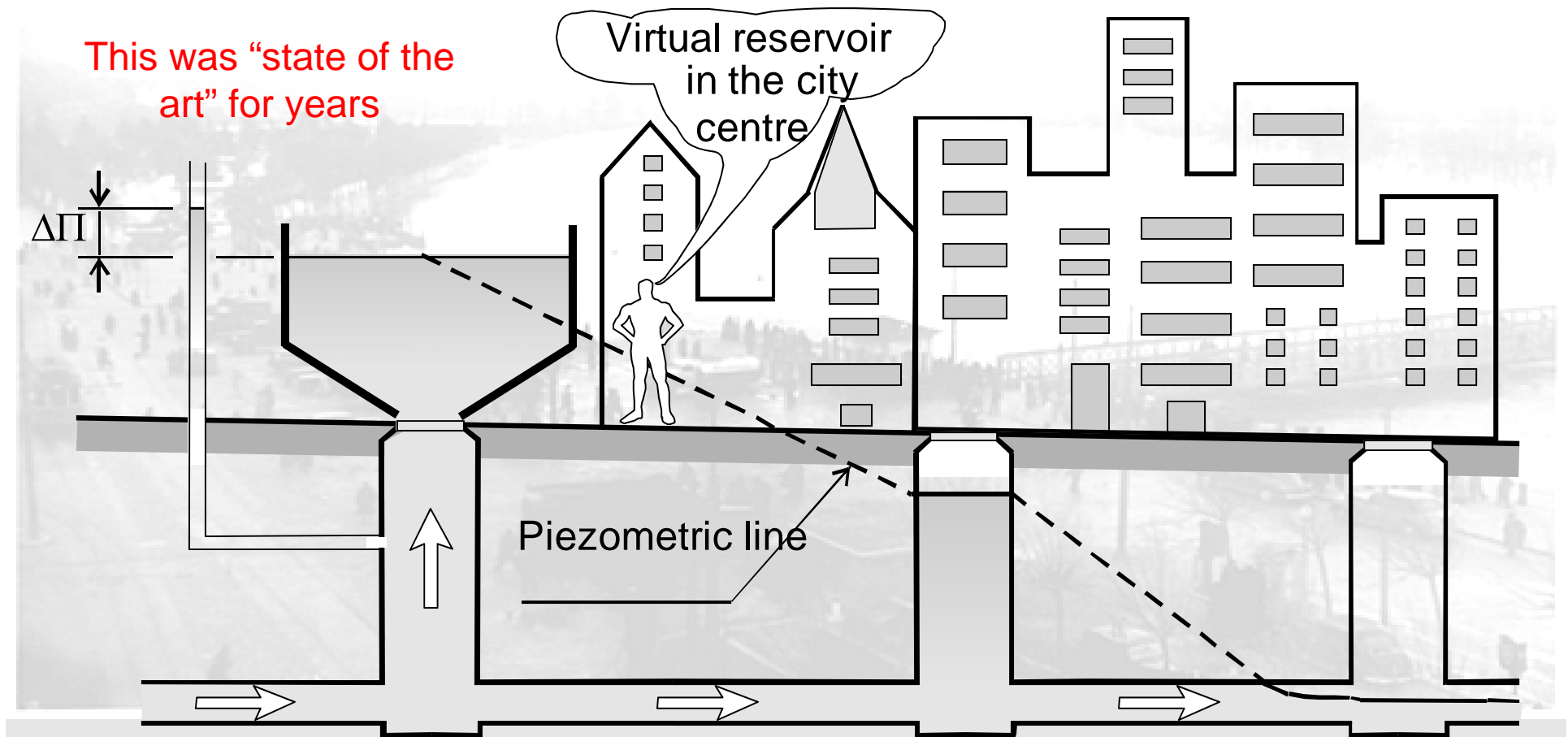
# O evento de 9 de Junho de 2006



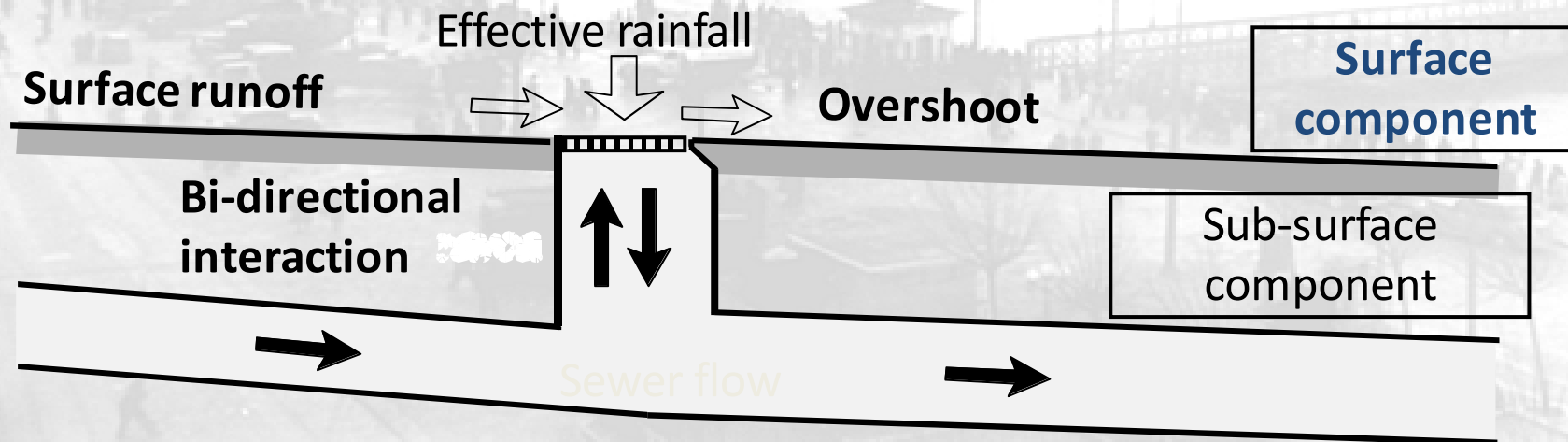
	Duração				
	5 (min)	10 (min)	15 (min)	30 (min)	45 (min)
Intensidade máxima de precipitação (mm/h)	122.4	76.8	72.4	61.6	47.6
Periodo de retorno <sup>1</sup> (anos)	10	8	20	>50	50



# Virtual Reality in Modelling

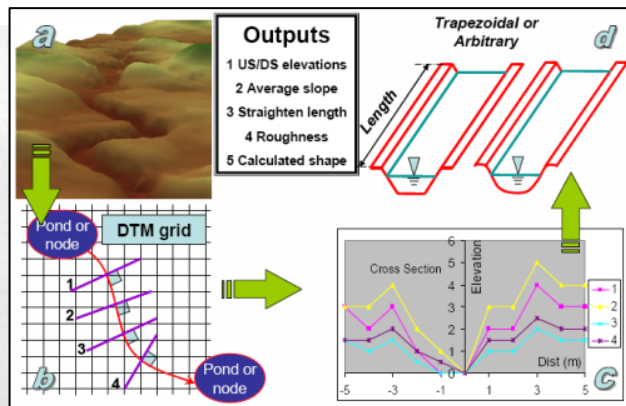
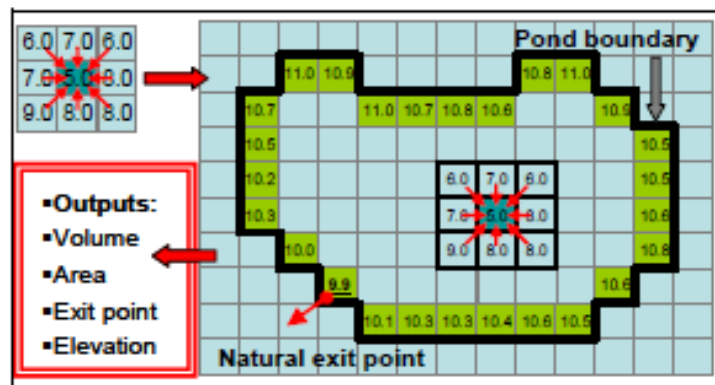


# Pluvial Flooding – Dual Drainage Concept



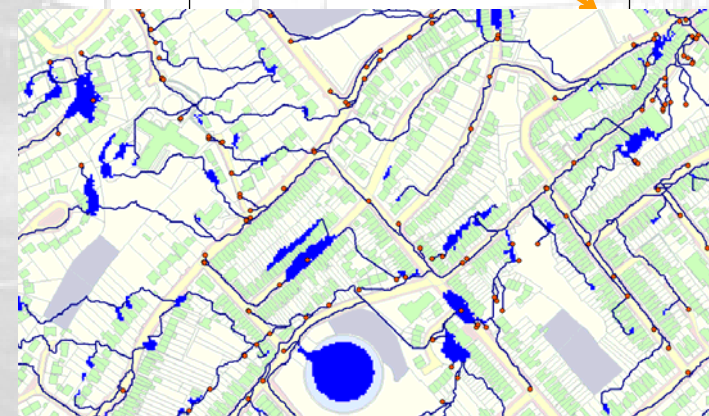
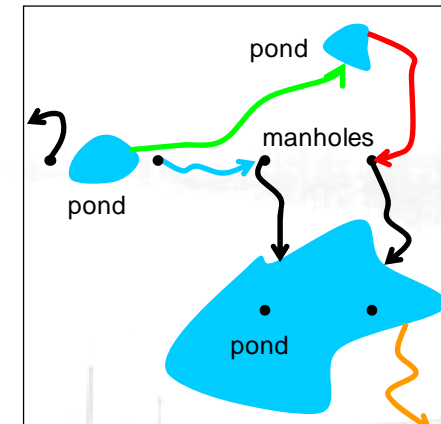
# Automatic Overland Flow Delineation (AOFD)

## 1. Pond delineation



## 3. pathways' geometry

## 2. Pathway delineation



## 4. 1D overland network



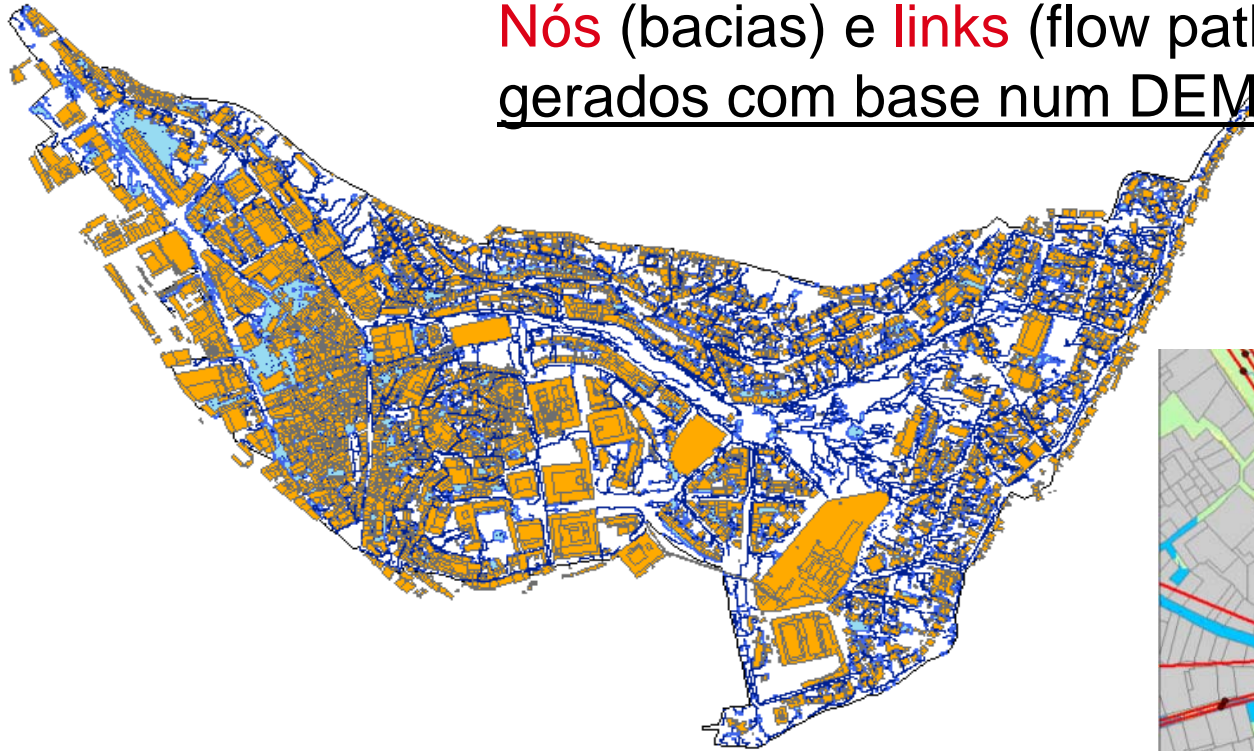


# Modelação de Cheias Urbanas

Conceito de Drenagem Dual: rede superficial + rede de colectores

1D overland flow modelling

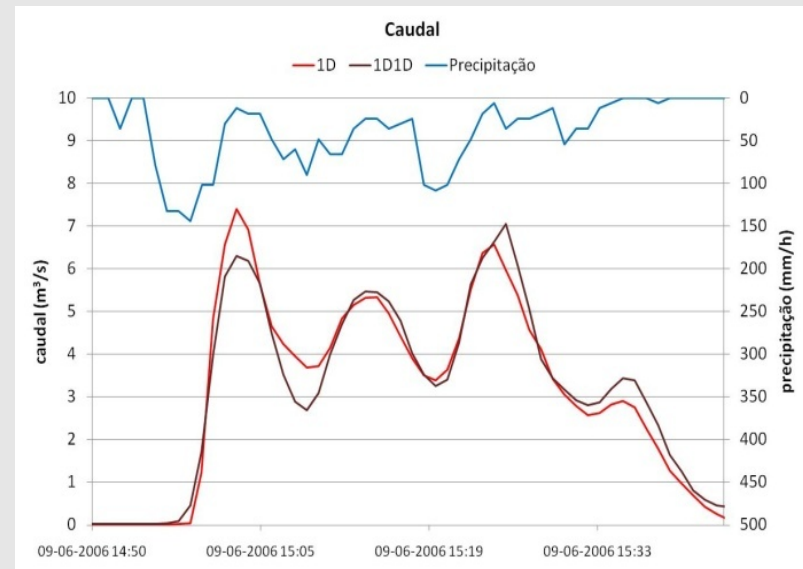
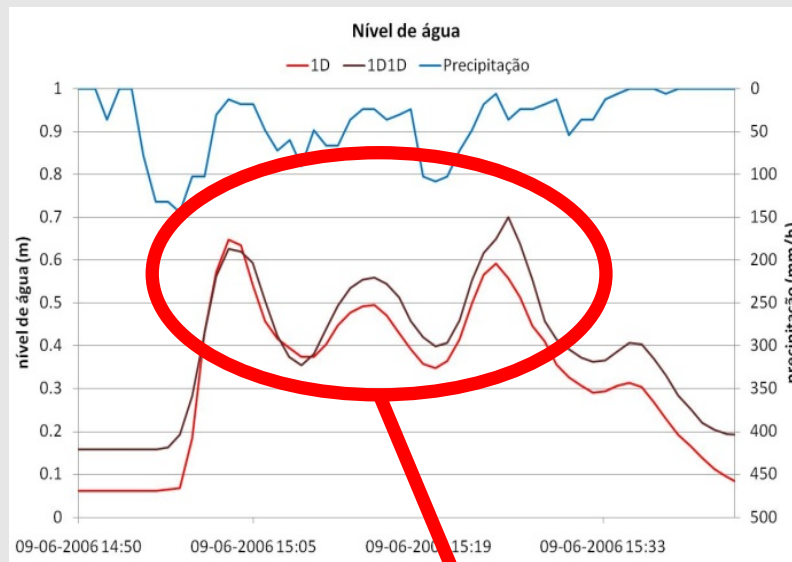
**Nós** (bacias) e **links** (flow paths),  
gerados com base num DEM





# Resultados

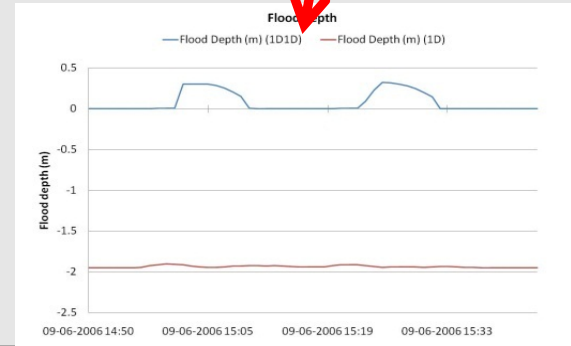
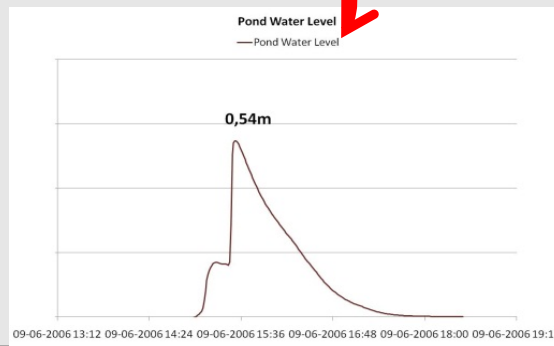
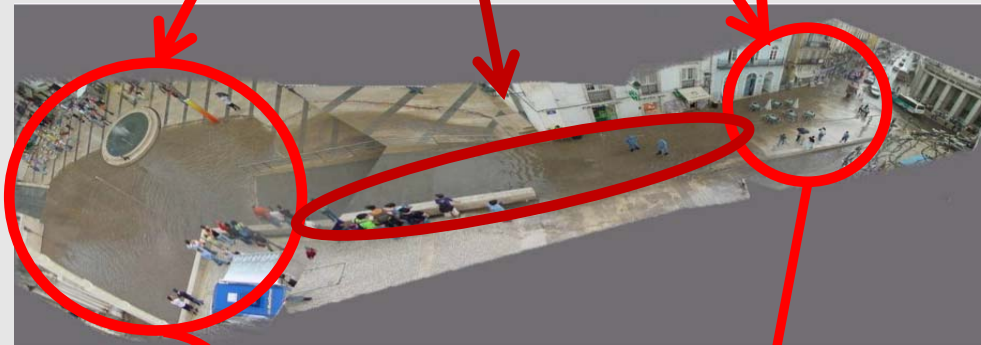
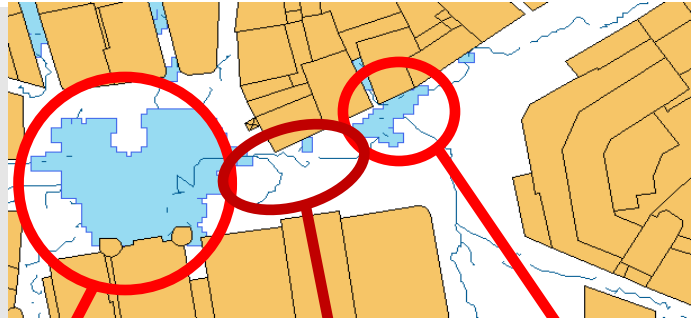
## Caudal e Altura de Água no Colector



O colector não está em pressão!  
Mas temos fotografias da inundaçãõ



# Resultados

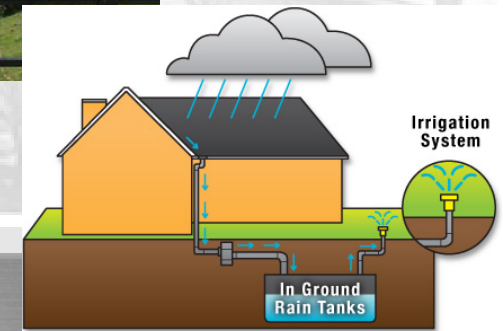
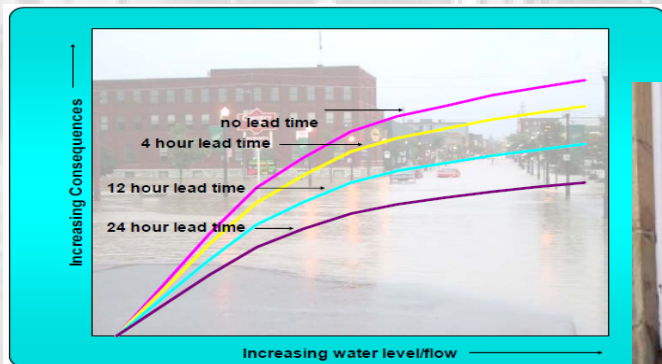


# Inundações urbanas resultantes das chuvadas

## Soluções de mitigação?

Melhorar a previsão e a  
Gestão do Evento

Planeamento e Gestão  
Urbana











José Alfeu Almeida de Sá Marques





José Alfeu Almeida de Sá Marques





José Alfeu Almeida de Sá Marques







## Previsão das Inundações de Precipitação Urbana

- Este tipo de inundações acontece muito depressa – **Flash Floods**
- O tempo disponível (i.e. **lead time**) é crítico
- Previsões rápidas são necessárias

Observations

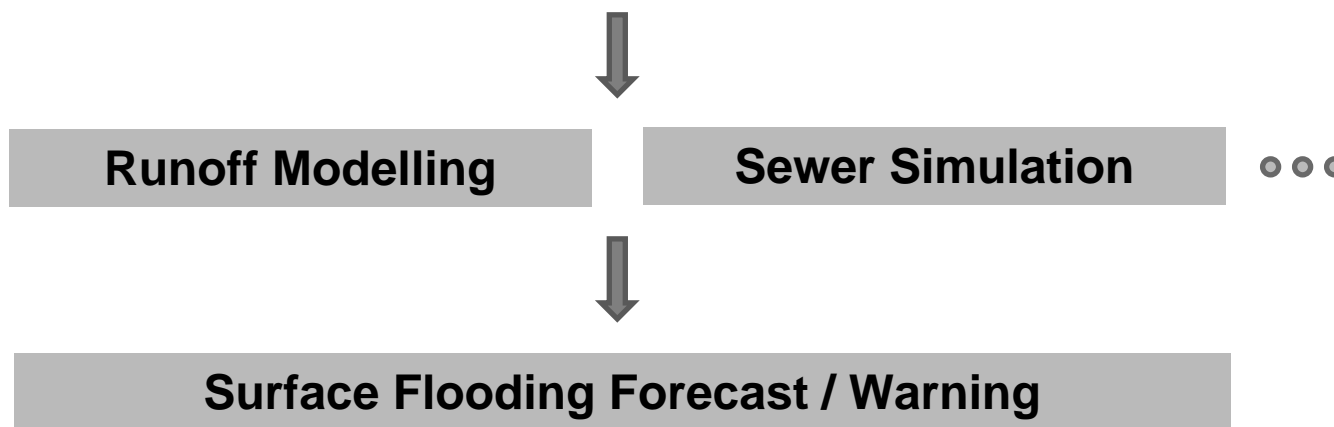
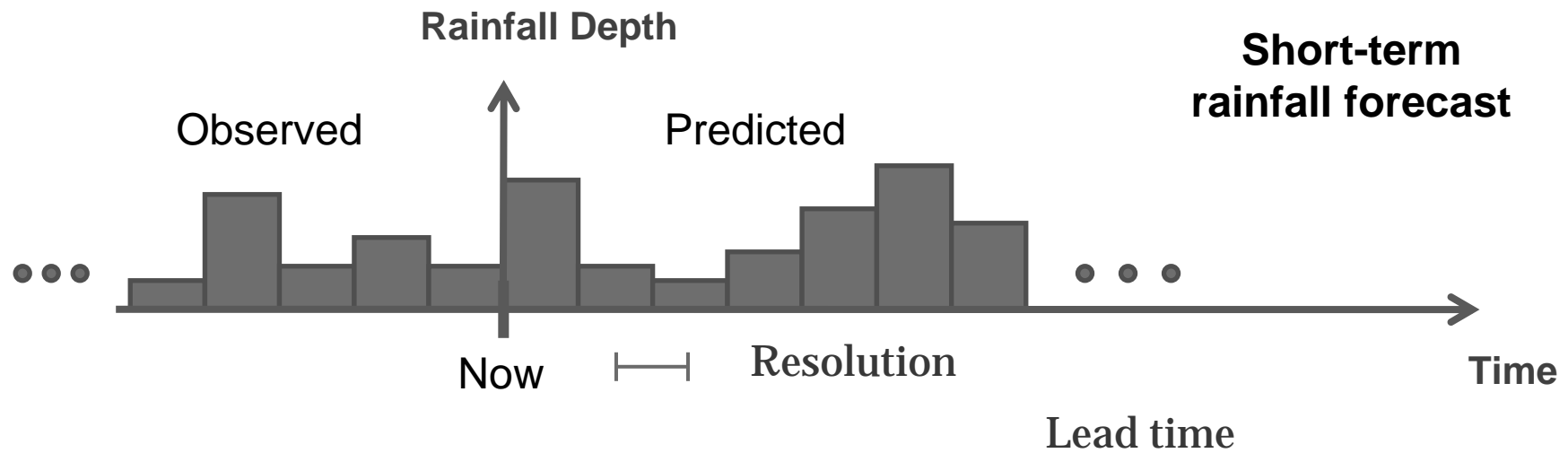
Short term  
Rainfall  
forecast

Short term  
Flood  
forecast

Emergency  
management

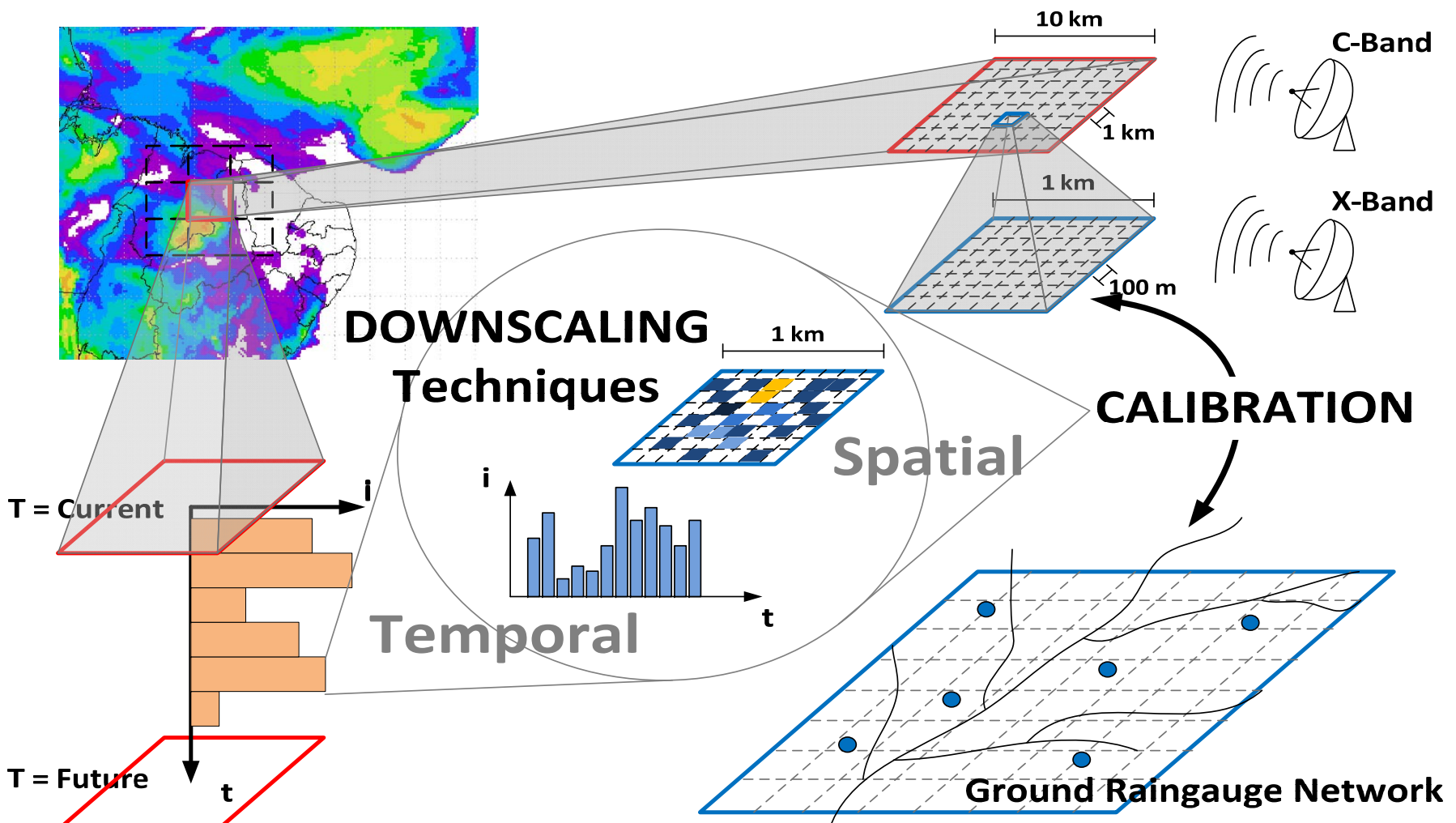


# Previsão das Inundações de Precipitação Urbana

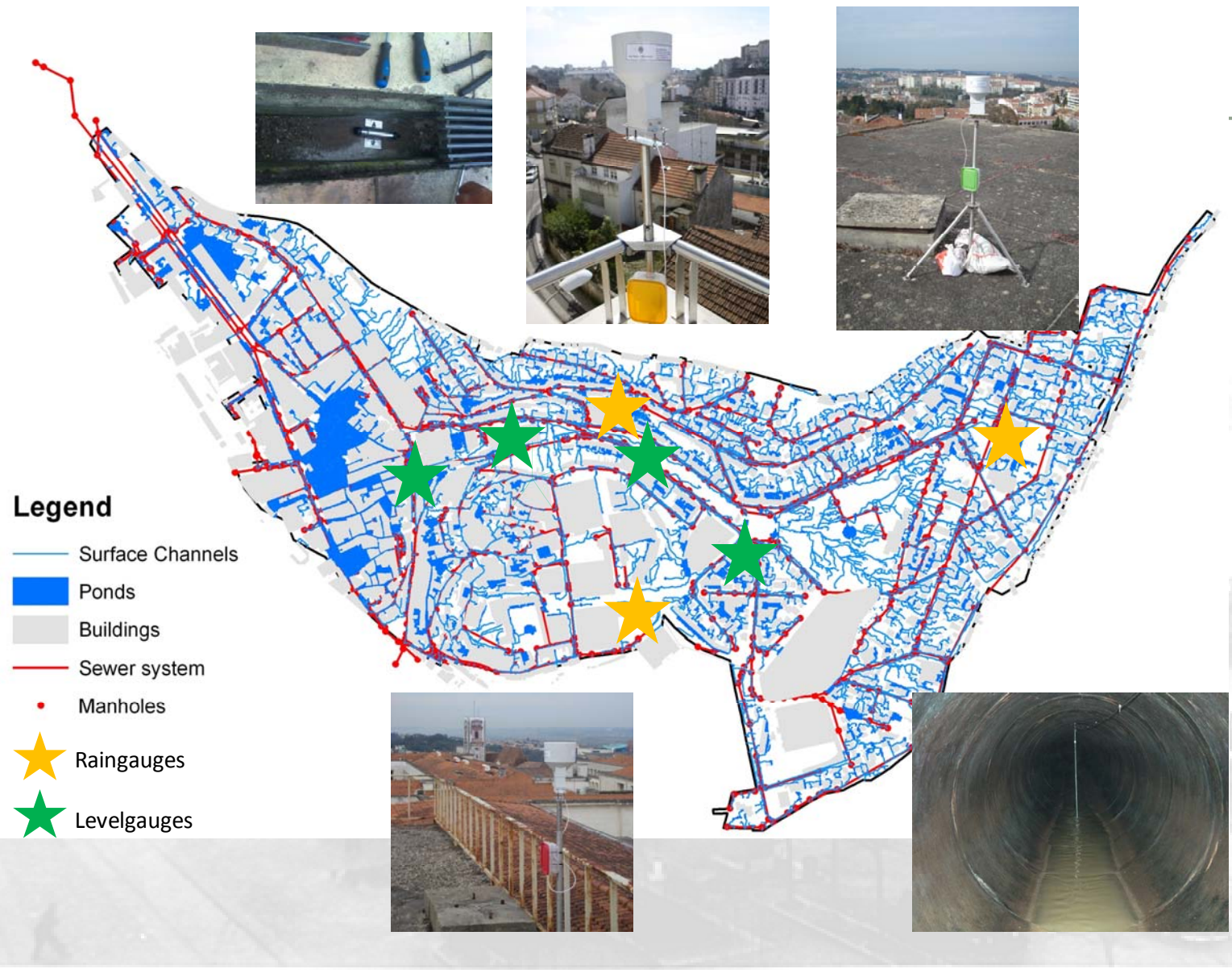


# Numerical Weather Prediction: UM/MM5

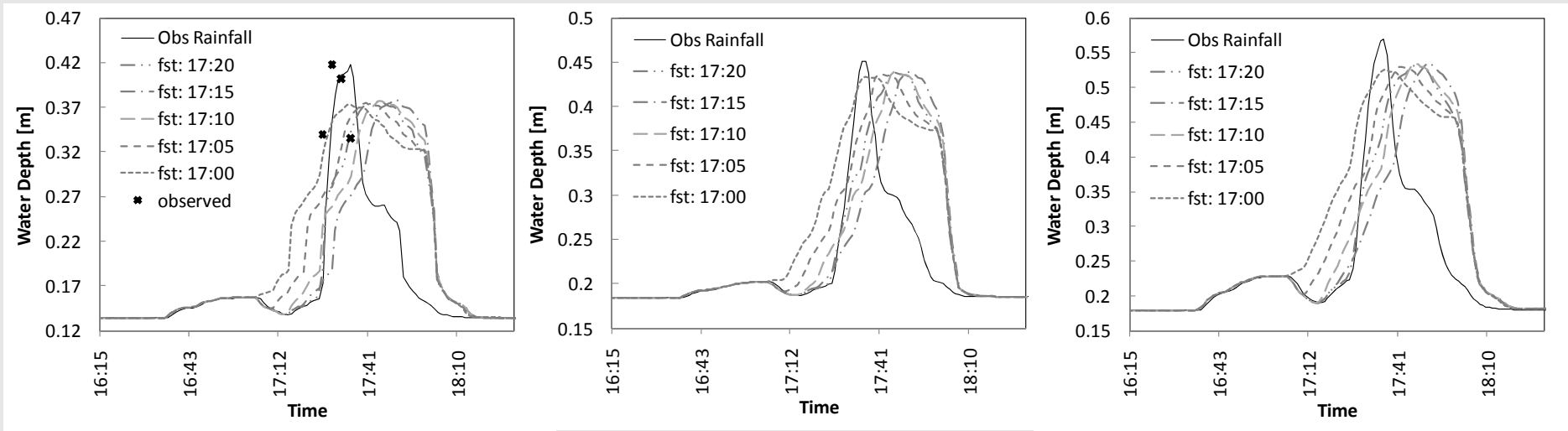
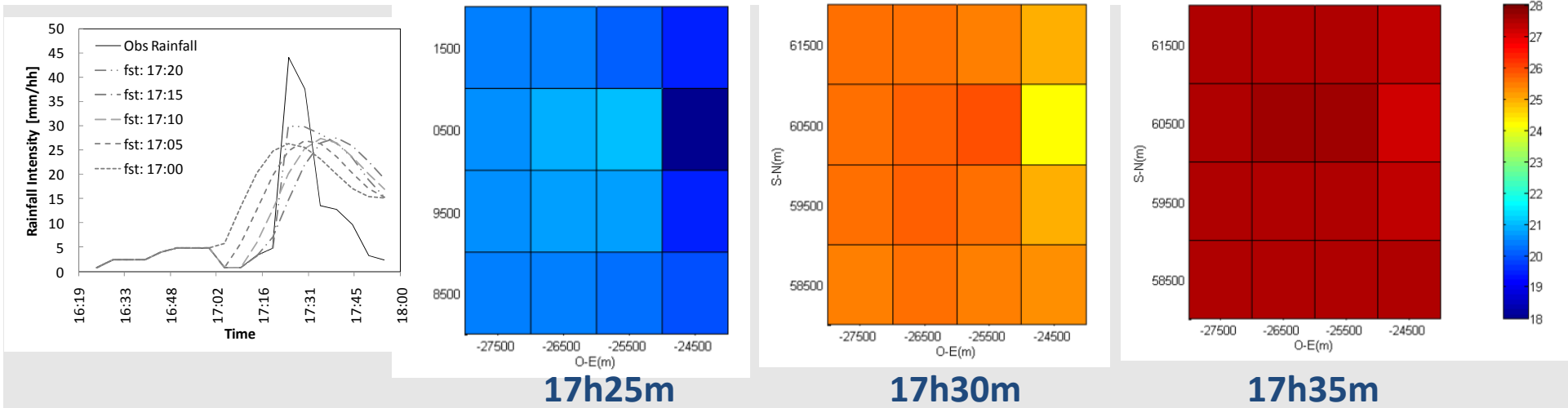
# NOWCASTING







# Time series prediction (SSA + SVM) + interpolation method (IDW)



Prediction of water levels 30 minutes in advance

José Alfeu Almeida de Sá Marques

# 6. CONCLUSÕES



# CONCLUSÕES

---

- A Câmara de Coimbra adoptou medidas de controlo na origem e de drenagem sustentável. O novo PDM e o RMUE exige que as novas construções tenham impacto zero no sistema de drenagem.
- A responsabilidade da gestão da rede de drenagem pluvial foi transferida da Câmara para as Águas de Coimbra com vista a uma gestão integrada da Água em Meio Urbano (Planeamento, Gestão, Operação e Manutenção).
- Esta abordagem corresponde a uma nova visão do ciclo urbano da água e integra-se na Directiva Comunitária sobre a Água.





# CONCLUSÕES

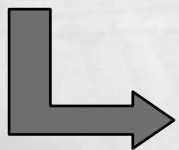
- A cooperação entre a Câmara de Coimbra, as Águas de Coimbra e a Universidade de Coimbra é um bom exemplo da colaboração entre a Academia e a Indústria. Acredita-se que Coimbra é um bom Estudo de Caso de desenvolvimento e implementação de novas estratégias.

- Previsão de Cheias ou Gestão de Cheias?

No estágio actual a maioria dos problemas são resultado de falta de planeamento e gestão.

No futuro, se alguns problemas persistirem a previsão de cheias conjuntamente com a gestão em tempo real serão as soluções para alguns problemas locais.

**Gestão é fundamental**



**Previsão ajuda/minimiza, quando já não é possível modificar**



# CONCLUSÕES

- **Consultoria – Benefício directo à sociedade**
- **Investigação:**
  - **Várias publicações em revistas científicas**
    - Natural Hazards and Earth System Sciences
    - Journal of Hydrology
    - International Association of Hydrological Sciences (IAHS) “Red Book” Series
    - Water Science & Technology
  - **Várias publicações em conferências científicas**
    - International Conference on Urban Drainage
    - Computing and Control for the Water Industry
    - IWRA World Water Congress
    - International Conference on Urban Drainage Modelling, Tokyo, Japan.
    - International Disaster and Risk Conference IDRC Davos
    - Encontro Nacional de Saneamento Básico
    - Congresso Nacional da Água
  - **Doutoramento**
  - **Premio**



# CONCLUSÕES



## 12<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE

September 11-16, 2011  
Porto Alegre - Brazil



### THE POUL HARREMOËS AWARD FOR THE BEST URBAN DRAINAGE PAPER BY A YOUNG AUTHOR

is given to

**Nuno Eduardo da Cruz Simões**

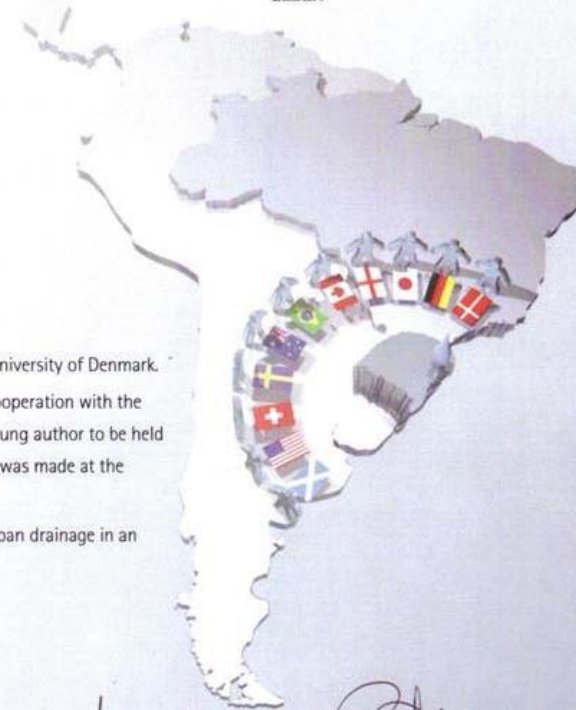
for the paper

**Urban drainage models for flood forecasting: 1D/1D, 1D/2D and hybrid models**

Vision and innovation were the hallmarks of Prof. Poul Harremoës (1934 - 2003) career at the Technical University of Denmark. In recognition of his outstanding and unique contributions, the Joint Committee on Urban Drainage, in cooperation with the International Water Association, has established a triennial competition for the best paper written by a young author to be held in conjunction with the Committee's triennial conferences on urban drainage. The first award in this series was made at the 10<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage (ICUD) held in Copenhagen, August 21-26, 2005.

The Award is given for presentation of novel and ideally provocative ideas relating to developments in urban drainage in an entertaining and convincing way in both writing and oral delivery.

Porto Alegre, September 15<sup>th</sup>, 2011



Maria Viklander  
Luleå University of Technology  
Sweden

Mohamed Nor Bin Mohamed Desa  
Universiti Tenaga Nasional  
Malaysia

Jiri Marsalek  
National Water Research Institute  
Canada

Nilo de Oliveira Nascimento  
Federal University of Minas Gerais  
Brazil

David Butler (Chair)  
University of Exeter  
United Kingdom



José Alfeu Almeida de Sá Marques