

Ana R. Oliveira [anamosoliveira@tecnico.ulisboa.pt](mailto:anamosoliveira@tecnico.ulisboa.pt)

# CURSO MOHID-LAND

Modelagem hidrológica



**MARETEC**  
CENTRO DE CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DO AMBIENTE E DO MAR  
TÉCNICO LISBOA







# Modelagem hidrológica

1. O ciclo hidrológico e a sua modelagem
2. Objetivos da modelagem hidrológica
3. Classificação dos modelos hidrológicos
4. Processo de modelagem
5. Incertezas e obstáculos
6. O modelo MOHID-Land

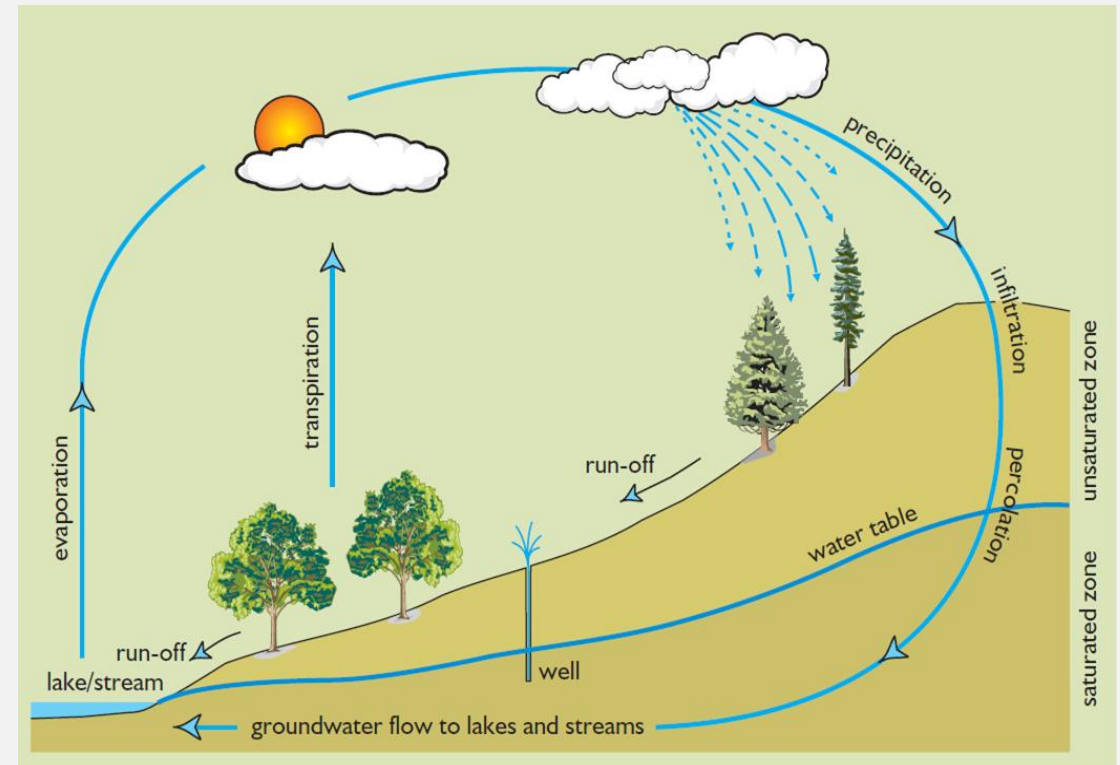


# 1

O ciclo hidrológico e a sua  
modelagem

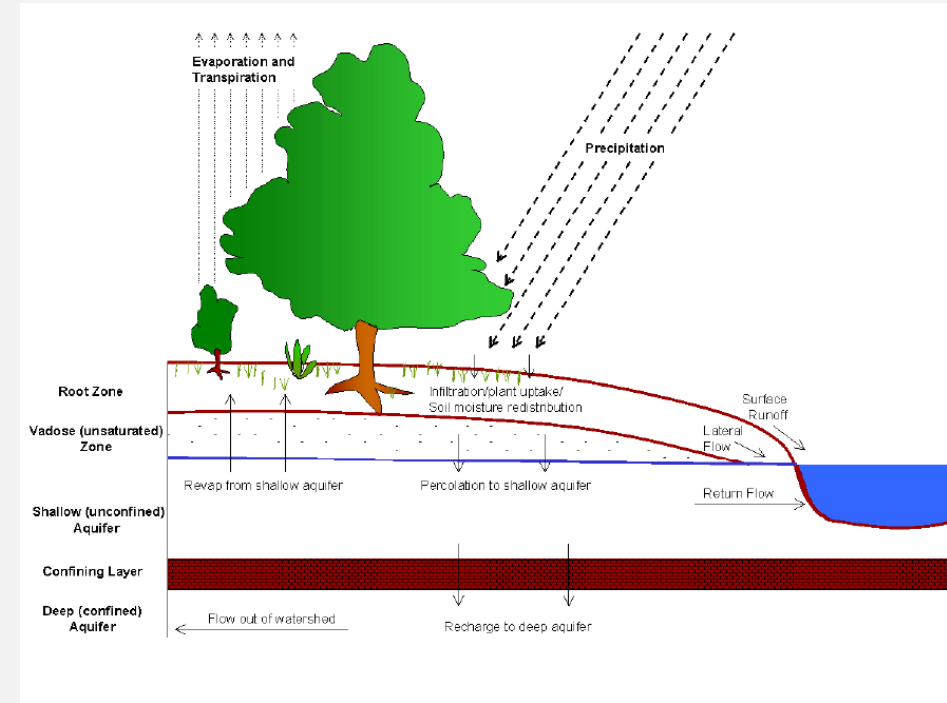


# O ciclo hidrológico



- Todas as componentes do ciclo hidrológico estão intimamente relacionadas entre si
- A gestão de um único componente pode afetar o estado de outros componentes do sistema
- A relação entre os componentes resulta na necessidade de modelos que permitam a consideração da interação entre as diferentes partes e processos do sistema

# Modelagem do ciclo hidrológico



- Os modelos hidrológicos são uma representação simplificada do sistema real.
- Esta simplificação está relacionada com diferentes limitações: incerteza nos dados de entrada, incerteza nas observações, representação da heterogeneidade dos sistemas, limitação das equações, etc.
- Mesmo considerando essas limitações, os modelos continuam a ser uma das melhores ferramentas para obter informação relevante relativa aos recursos hídricos.



# 2

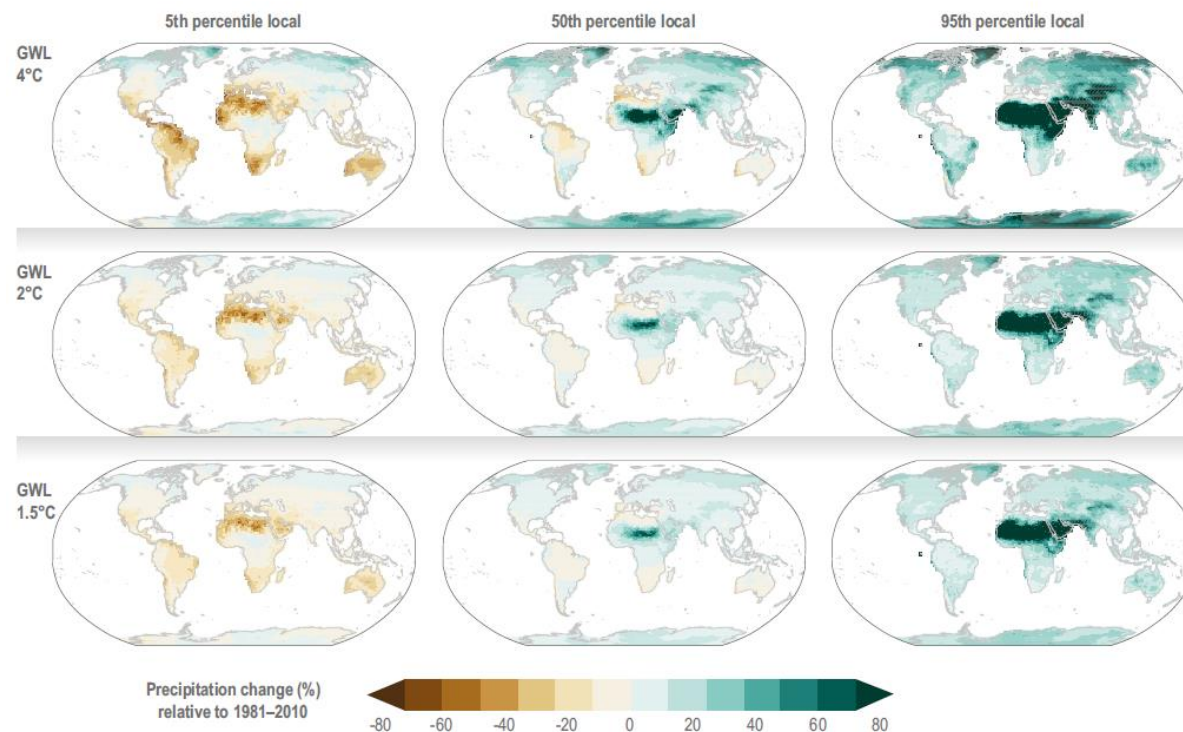
Objetivos da modelagem  
hidrológica



# Principais objetivos da modelagem

- Simular os processos hidrológicos e a sua interação utilizando expressões matemáticas por forma a melhorar a compreensão de um sistema
- Promover a análise de cenários futuros que não podem ser medidos ou caracterizados com dados reais

Projected percentage changes in annual mean precipitation

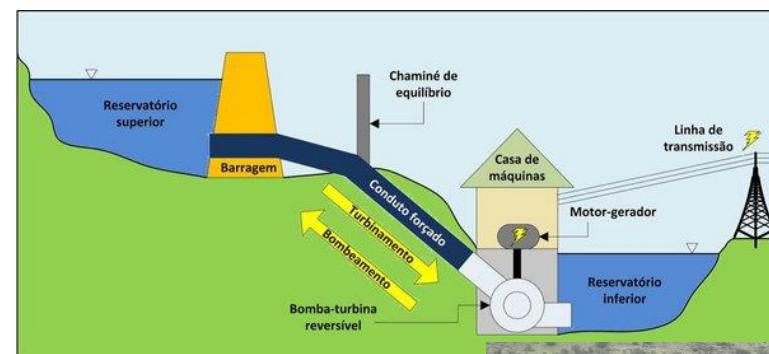


IPCC report, 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability



# Os modelos...

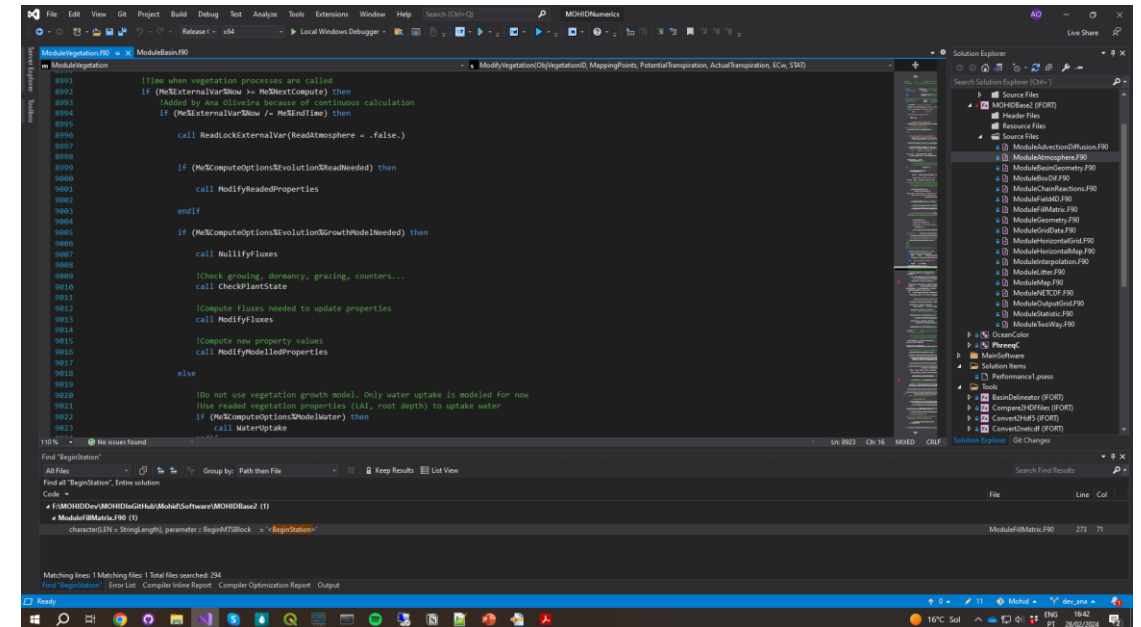
- São ferramentas importantes para prever alterações inesperadas dos sistemas, ajudando na tomada de decisão
- São uma forma eficiente de analisar dados espaciais e temporais considerando as interações e impactos dos diferentes componentes do sistema hidrológico (Loucks et al., 2005)
- Permitem, por exemplo:
  - sistematizar dados
  - otimizar programas de monitoramento
  - testar cenários e diferentes circunstâncias
  - fazer uma gestão operacional
  - podem ser incorporados em sistemas de alerta
  - otimizar o dimensionamento e operação de infraestruturas





# Os modelos...

- Devem ser vistos como uma ferramenta e não como objetivo final
- Não são um sistema de apoio à decisão, mas fazem parte dele
- A sua aplicação por parte do utilizador tem por base interfaces simples e *user-friendly*, mas as equações nas quais se baseiam são escritas em diferentes linguagens de programação



# 3

Classificação dos modelos  
hidrológicos



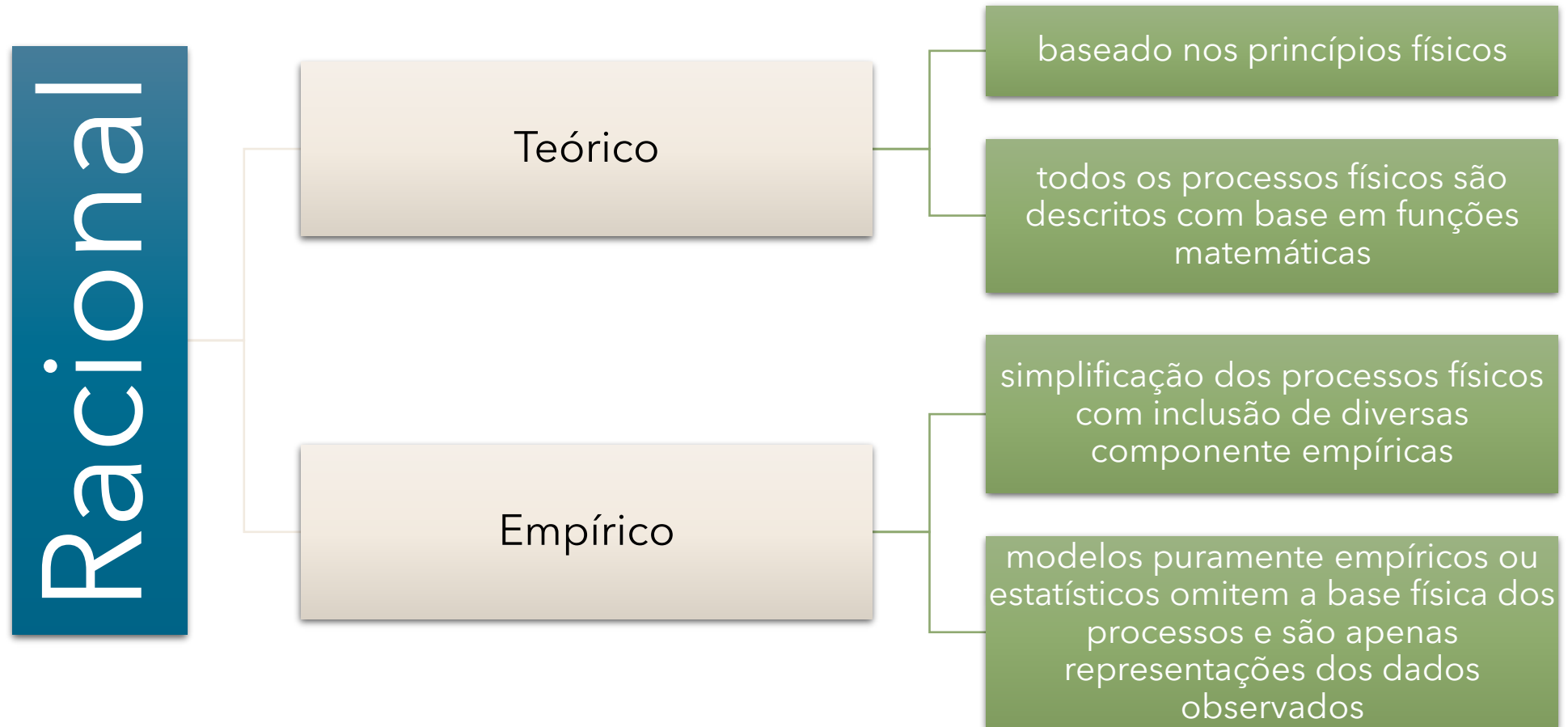


# Classificação dos modelos hidrológicos

Os modelos hidrológicos podem ser classificados segundo:

- O seu racional/complexidade
- Os seus resultados
- A sua cobertura temporal
- A sua distribuição espacial

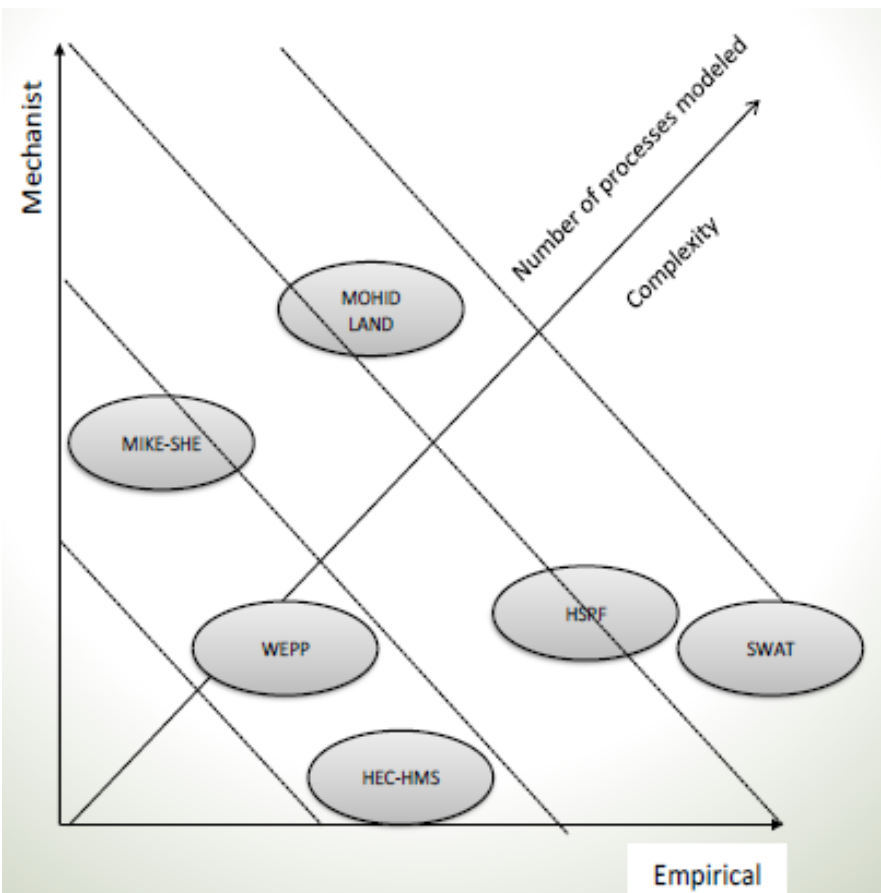
# Racional





# Racional - complexidade

## Três classes: empíricos, conceituais e físicos

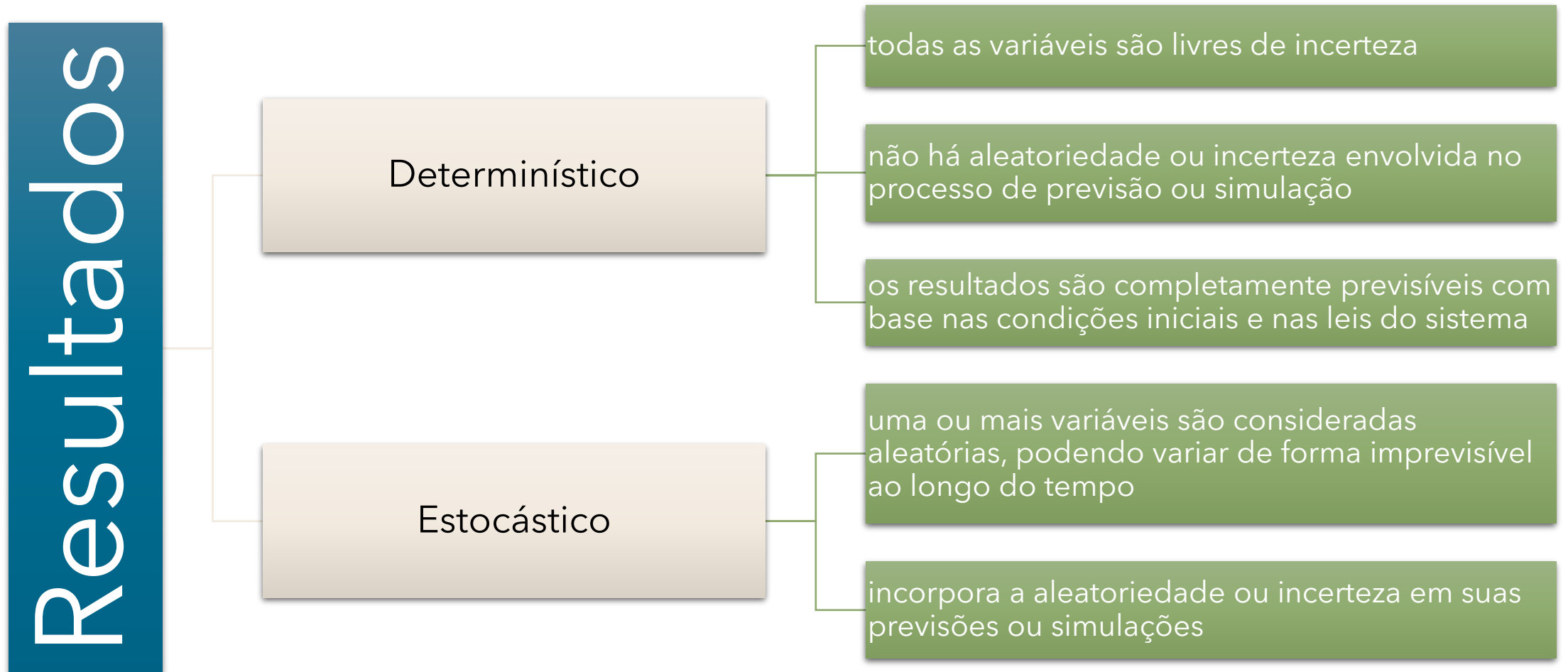


Empirical model	Conceptual model	Physically based model
Data based or metric or black box model	Parametric or grey box model	Mechanistic or white box model
Involve mathematical equations, derive value from available time series	Based on modeling of reservoirs and Include semi empirical equations with a physical basis.	Based on spatial distribution, Evaluation of parameters describing physical characteristics
Little consideration of features and processes of system	Parameters are derived from field data and calibration.	Require data about initial state of model and morphology of catchment
High predictive power, low explanatory depth	Simple and can be easily implemented in computer code.	Complex model. Require human expertise and computation capability.
Cannot be generated to other catchments	Require large hydrological and meteorological data	Suffer from scale related problems
ANN, unit hydrograph	HBV model, TOPMODEL	SHE or MIKESHE model, SWAT
Valid within the boundary of given domain	Calibration involves curve fitting make difficult physical interpretation	Valid for wide range of situations.

**Modelos conceituais** - "are precipitation-runoff models built based on observed or assumed empirical relationships among different hydrological variables. They are different from black-box models which consider precipitation-runoff relationship only statistically."

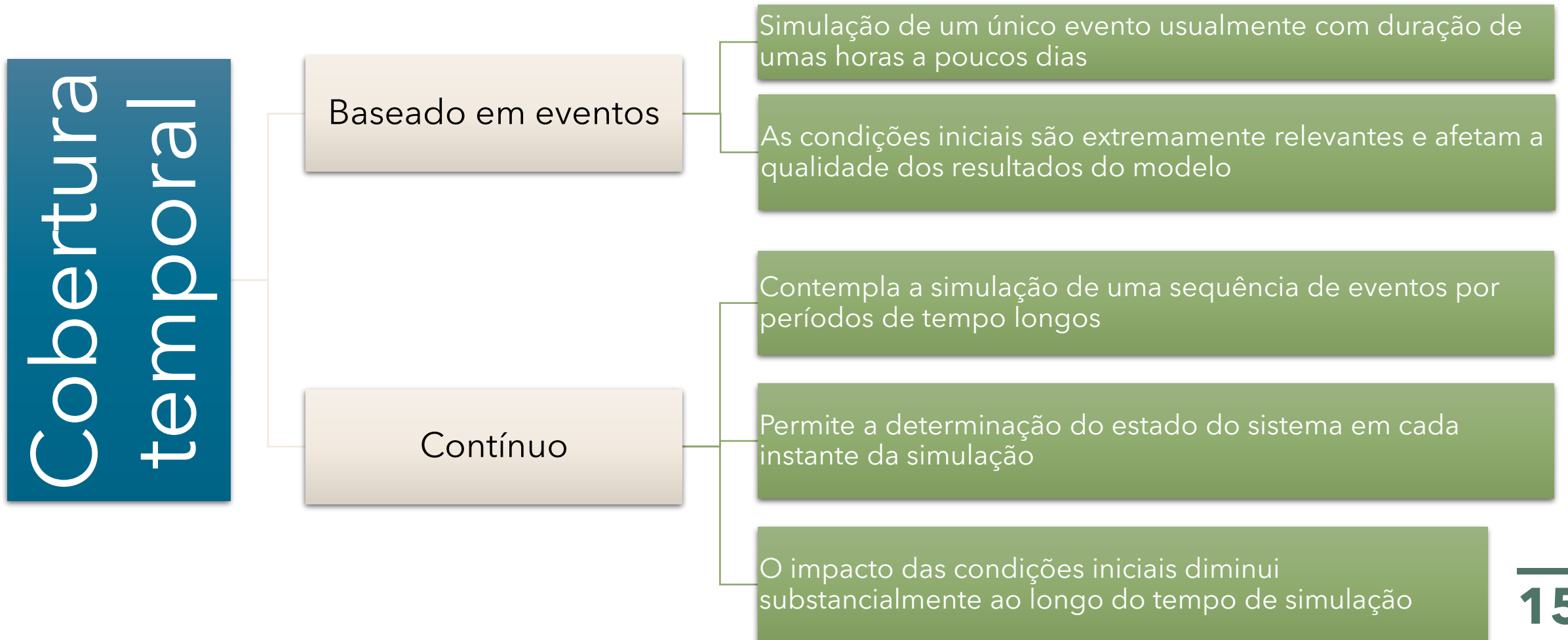
In Liu, Z., Wang, Y., Xu, Z., Duan, Q. (2017). Conceptual Hydrological Models. In: Duan, Q., Pappenberger, F., Thielen, J., Wood, A., Cloke, H., Schaake, J. (eds) Handbook of Hydrometeorological Ensemble Forecasting. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-40457-3\\_22-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-40457-3_22-1)

# Resultados

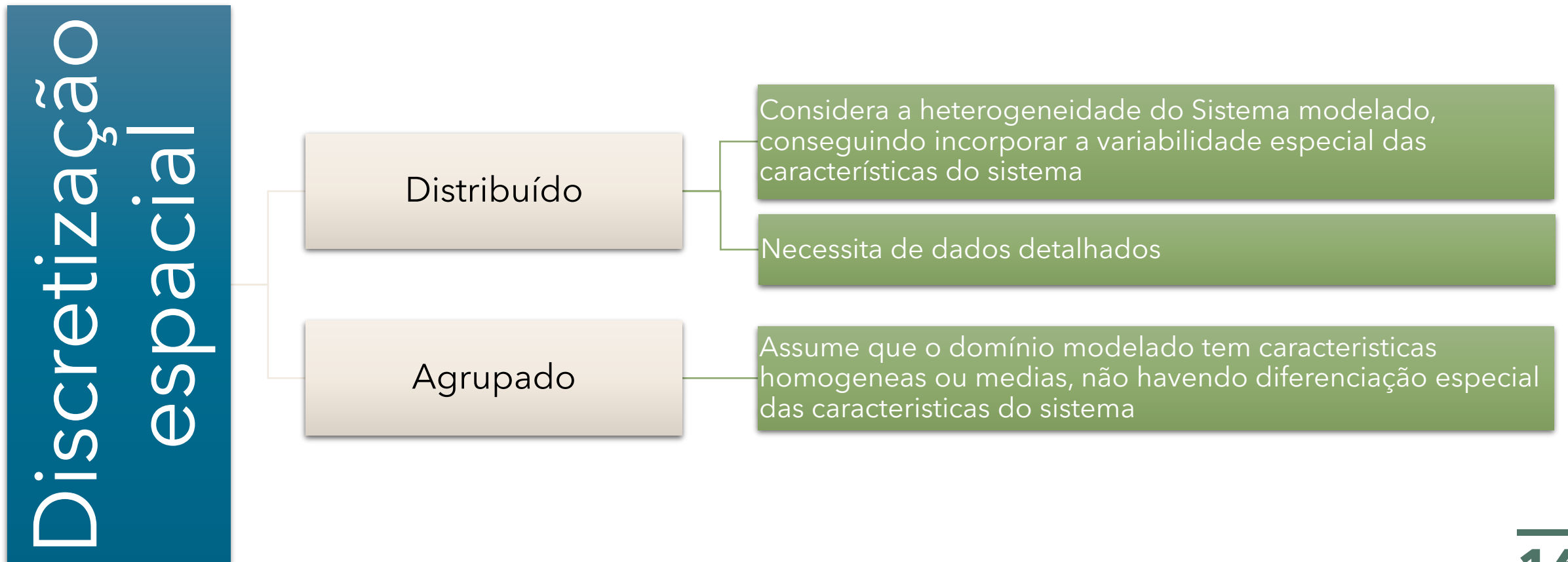




# Cobertura temporal



# Discretização espacial





# 4

Processo de modelagem



# Etapas da modelagem

Identificação do problema a estudar e dos processos e variáveis envolvidos

Recolha de informação e dados

Seleção do modelo a aplicar

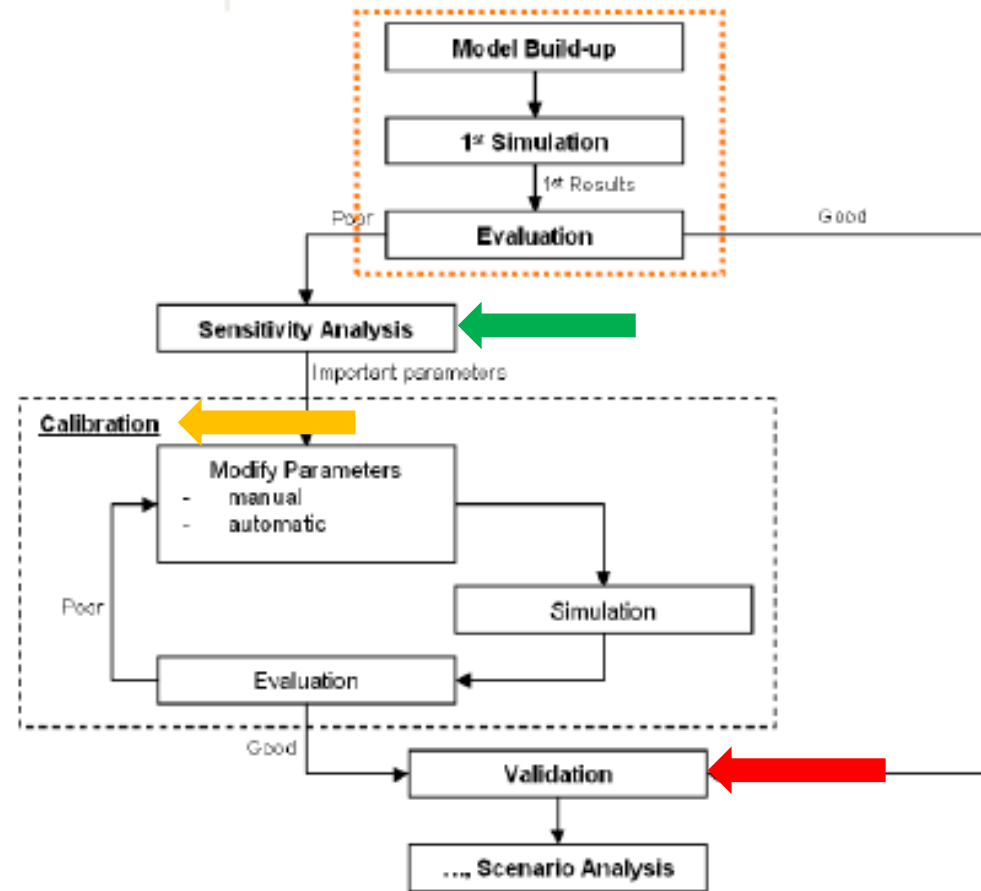
Definição das condições iniciais e de fronteira

Calibração e validação do modelo

Aplicação do modelo

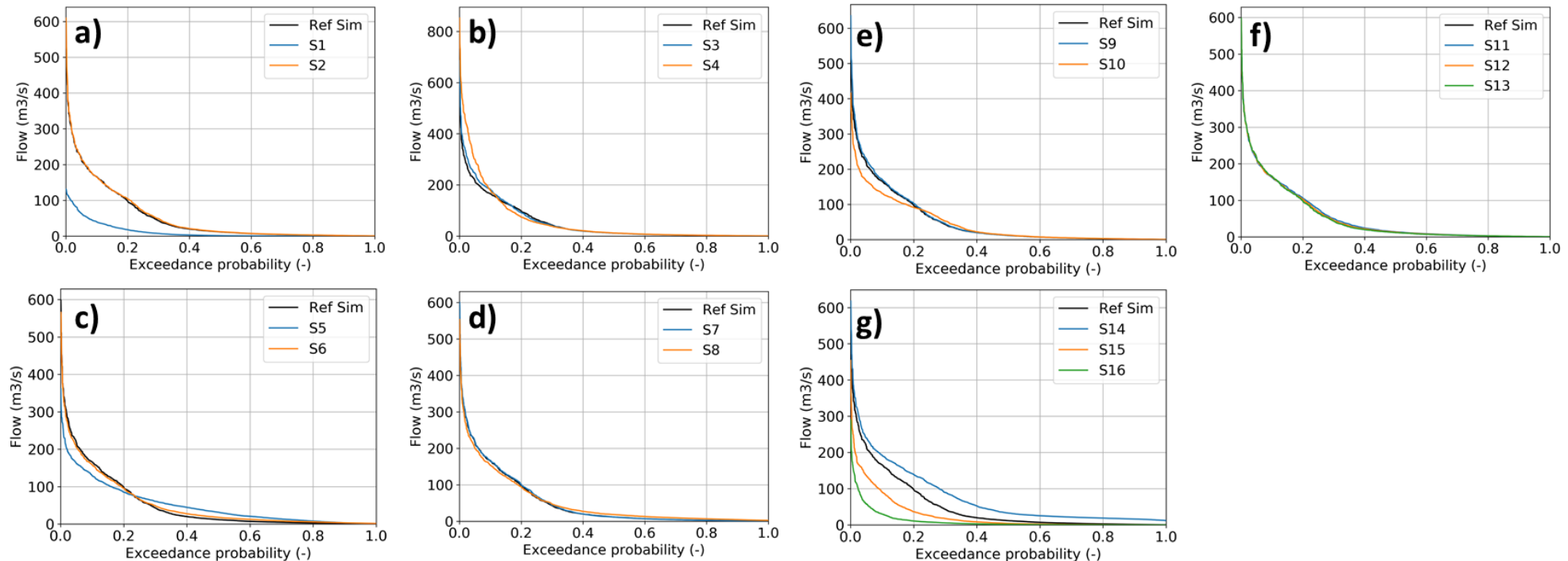
# Etapas da modelagem

- **Análise de sensibilidade** – permite avaliar a influência de um determinado parâmetro nos resultados e é realizada para identificar os parâmetros e processos com maior impacto no processo de modelagem.
- **Calibração** – período de tempo durante o qual a é testada a melhor combinação de parâmetros.
- **Validação** – período de tempo, distinto do período de calibração, utilizado para verificar a validade da combinação de parâmetros obtida durante a calibração.



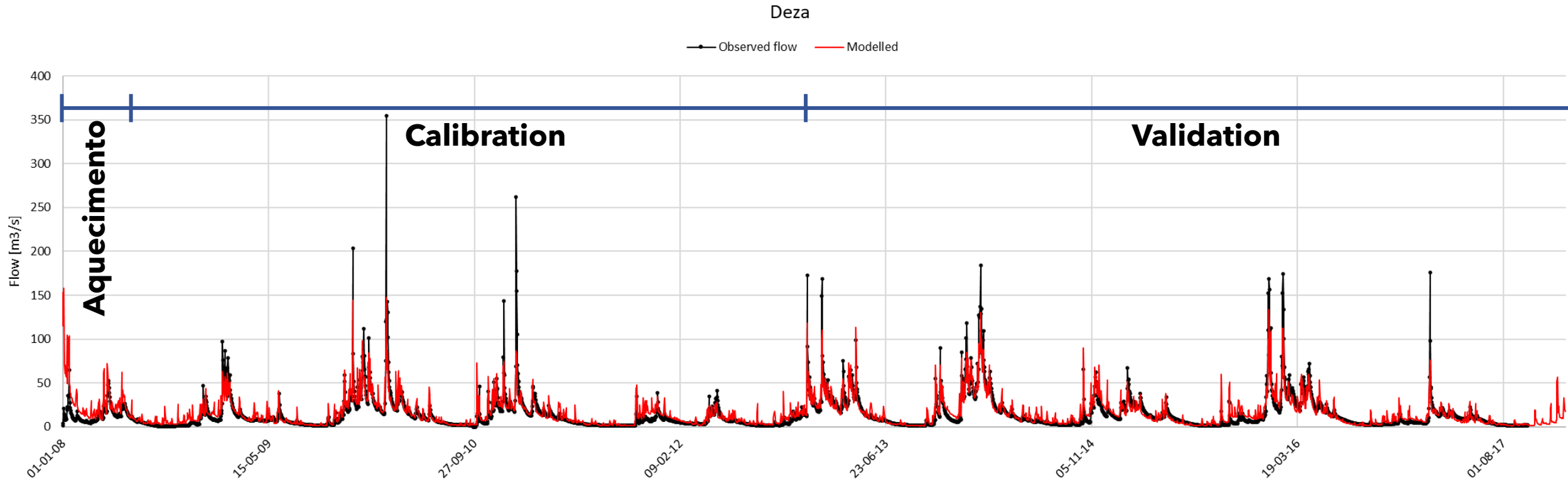


# Análise de sensibilidade



**S1** – resolução da malha; **S2** – resolução do MDT de entrada; **S3** – largura das seções transversais; **S4** – altura das seções transversais; **S5** – condutividade hidráulica saturada vertical; **S6** – rácio entre as condutividades hidráulica saturada vertical e horizontal; **S7** – discretização vertical do solo; **S8** – profundidade do solo; **S9** – coeficiente de Manning à superfície; **S10** – coeficiente de Manning na rede de drenagem; **S11** – cálculo da taxa de infiltração com o método do número de curva; **S12** – S11 com diminuição do número de curva; **S13** – cálculo da taxa de infiltração com o método de Green and Ampt; **S14** – sem vegetação; **S15** – sem vegetação e sem solo (com CN); **S16** – S15 com redução do CN.

# Calibração e validação



Calibration					Validation			
Station	R <sup>2</sup> (-)	RSR (-)	PBIAS (%)	NSE (-)	R <sup>2</sup> (-)	RSR (-)	PBIAS (%)	NSE (-)
Deza	0.74	0.53	-8.96	0.72	0.85	0.40	-4.35	0.84
Acceptable	>0.5	≤0.7	±25%	>0.5	>0.5	≤0.7	±25%	>0.5

# 5

Incertezas e obstáculos

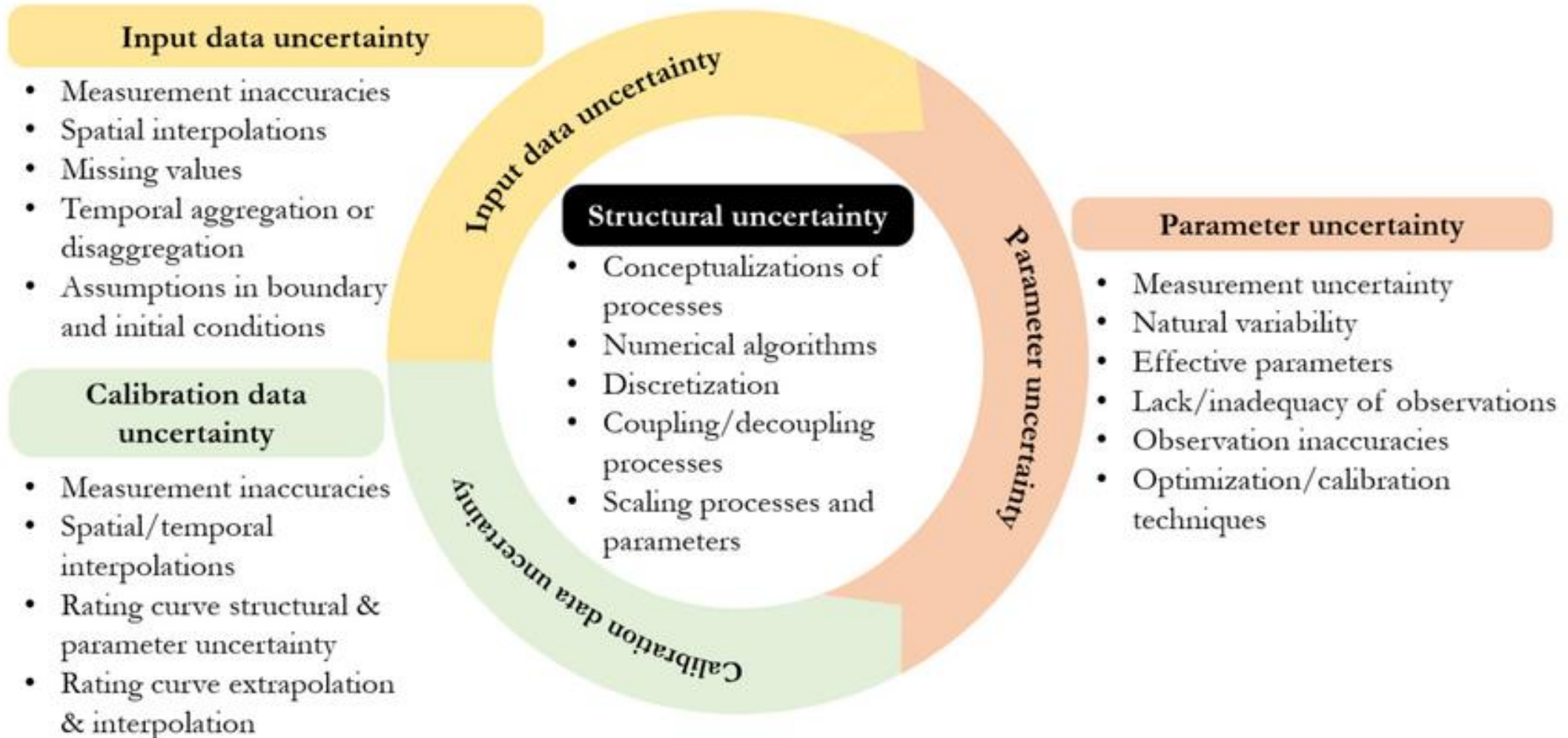




# Incertezas e obstáculos

1. A incerteza está presente em todos os passos do processo de modelagem
2. Os dados de entrada como a meteorologia, o uso de solo ou os tipos de solo podem ter altos níveis de incerteza devido à sua resolução espacial e processos de generalização dos dados medidos.
3. O próprio modelo contém incerteza
4. Os processos de calibração e validação são também caracterizados pela incerteza devido à incerteza nas observações e nos parâmetros calibrados

# Incertezas e obstáculos

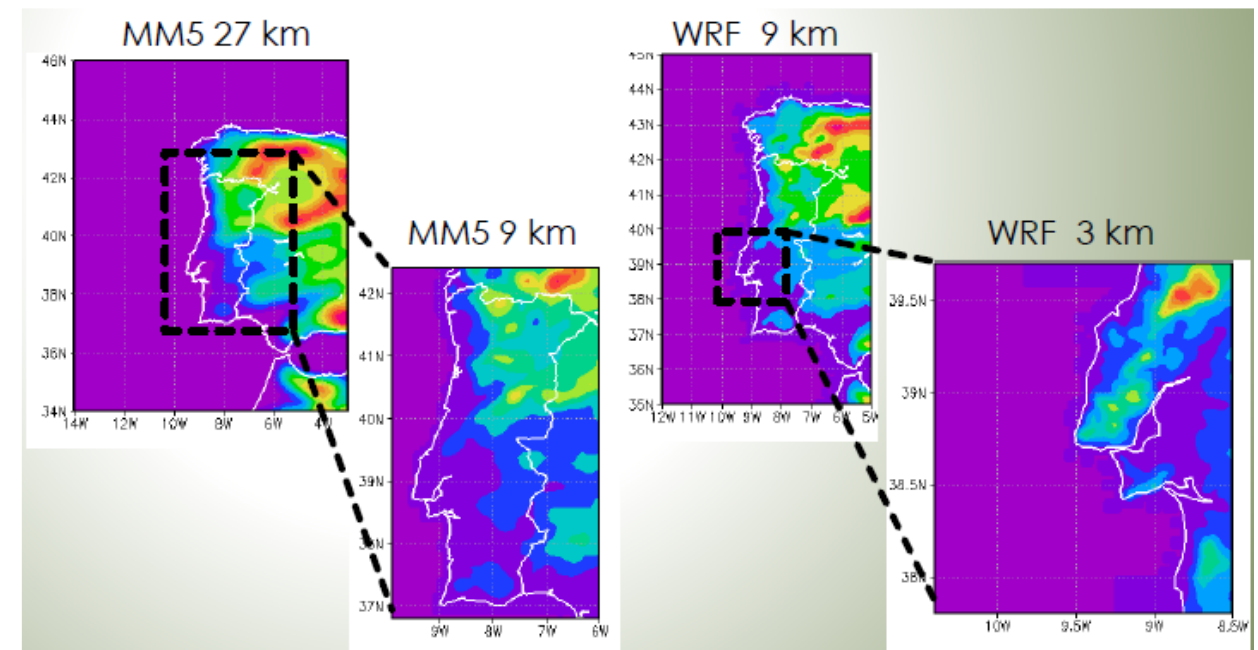


# Incertezas e obstáculos - meteorologia

Distribuição das estações



Resolução dos modelos



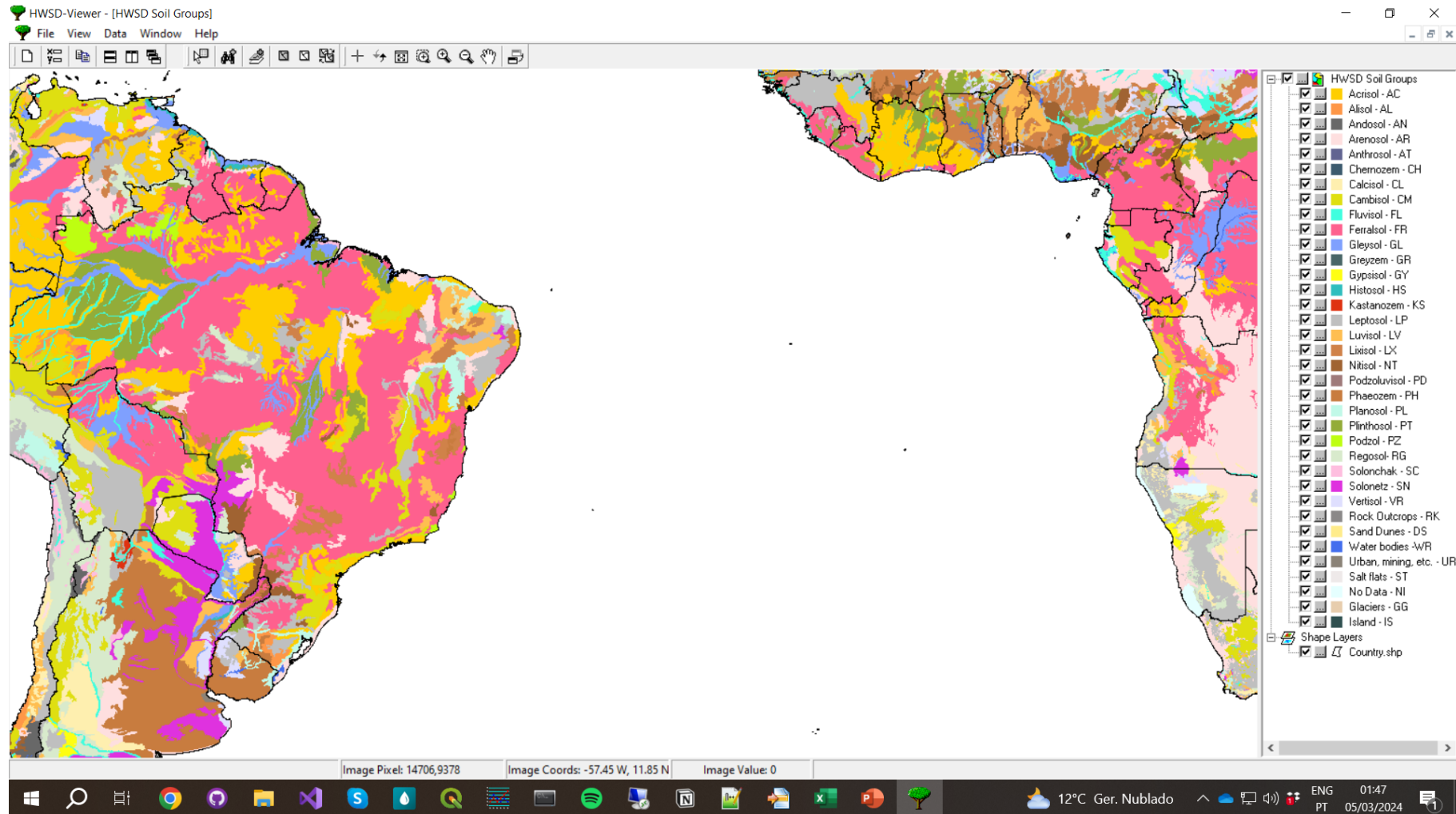


# Incertezas e obstáculos - vazão

- Dificuldade de acesso ao local onde se encontram as estações
- Controle de qualidade das medições das estações
- Reservatórios: vazão estimada com base em balanço de massa que consideram o nível do reservatório e as descargas



# Incertezas e obstáculos - dados de entrada





# 6

O modelo MOHID-Land

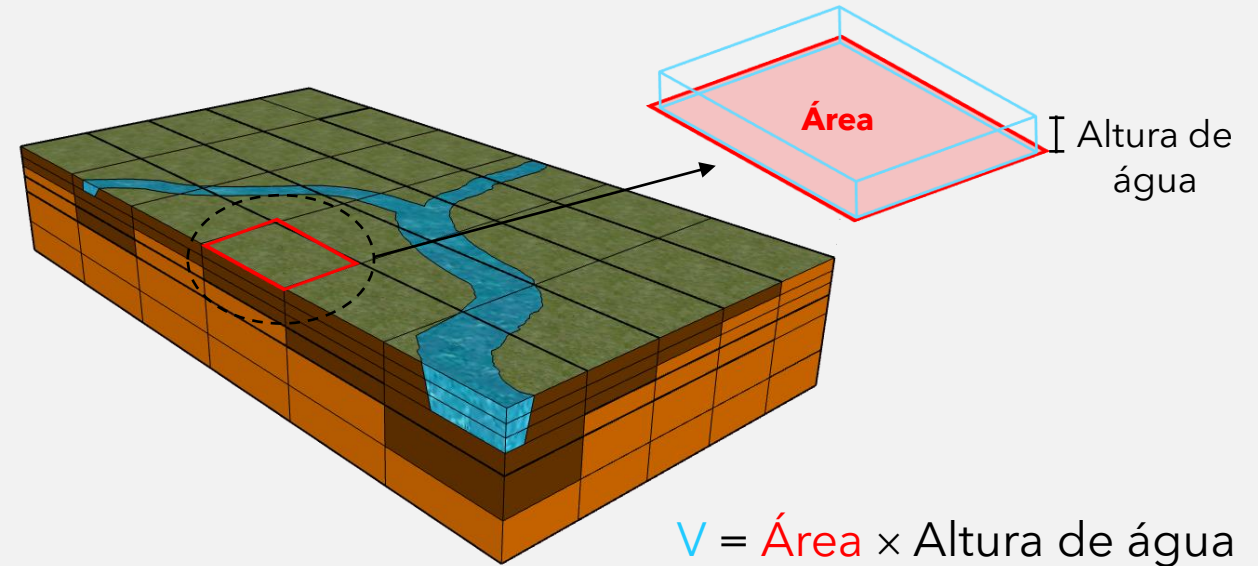




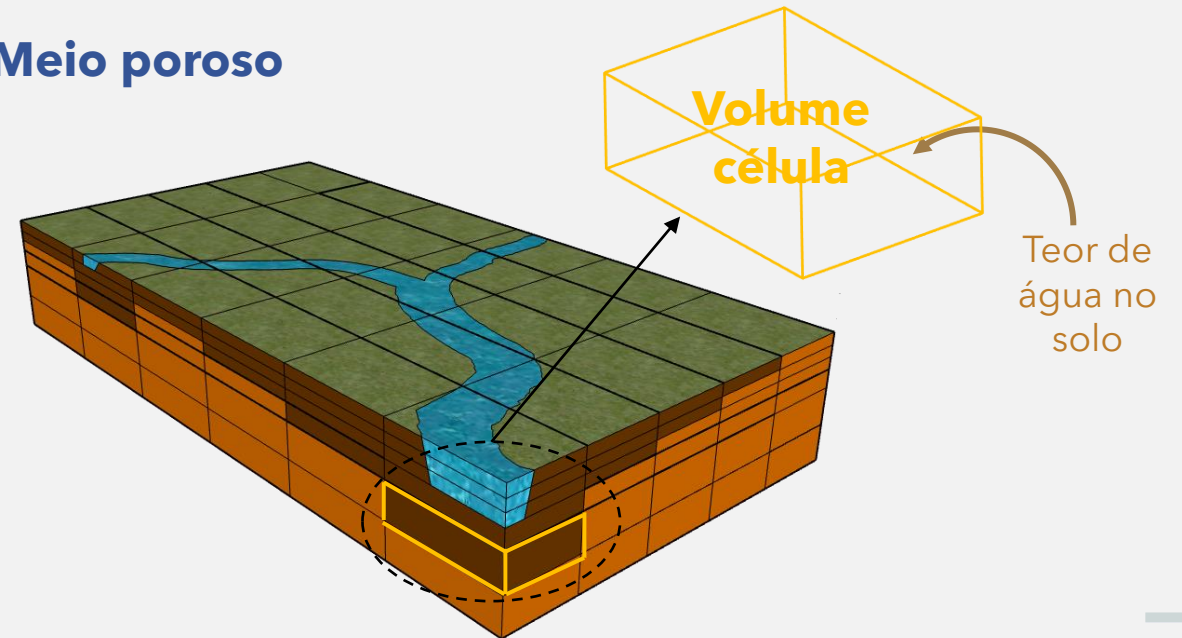
# Conceitos

Célula – volume finito

## Escoamento superficial



## Meio poroso



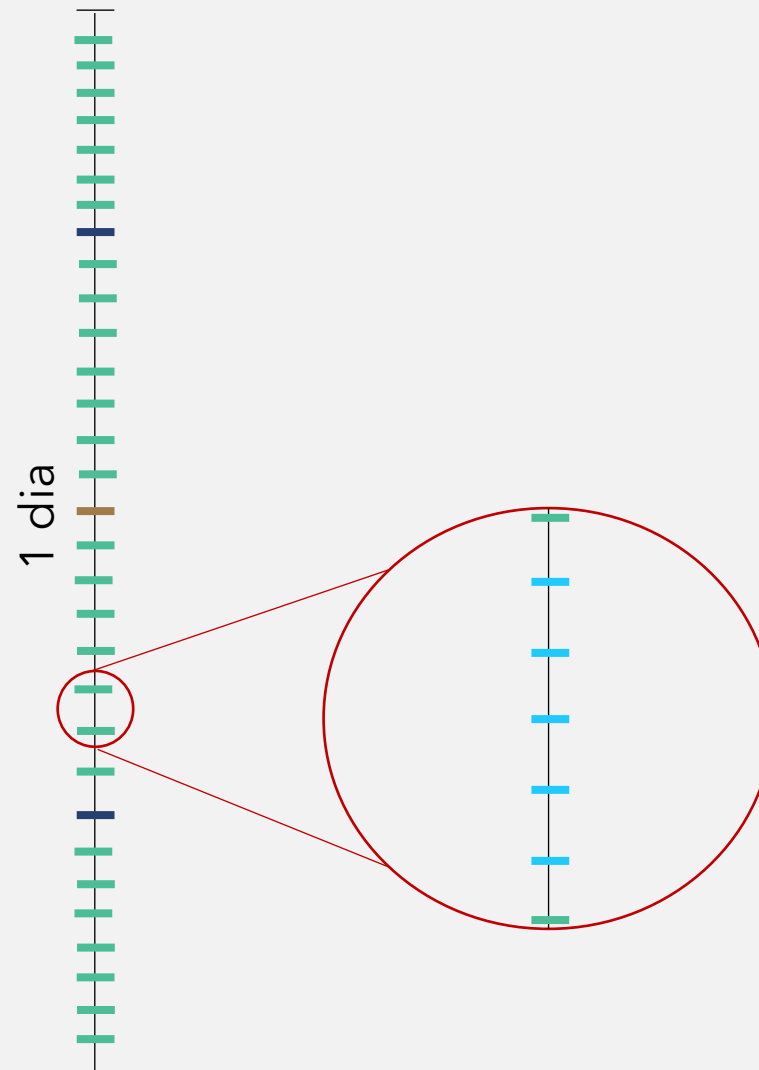
$$V_{\text{água}} = \text{Volume célula} \times \text{Teor de água no solo}$$

# Conceitos

## Passo temporal

Período de simulação: 01/01/2022 - 02/01/2022

└─▶ 1 dia = 24 h = 1440 min = 86400 s



DT = 86400 s

DT = 43200 s

DT = 21600 s

DT = 3600 s

DT = 600 s

O estado do sistema é calculado em cada passo temporal!

# Conceitos

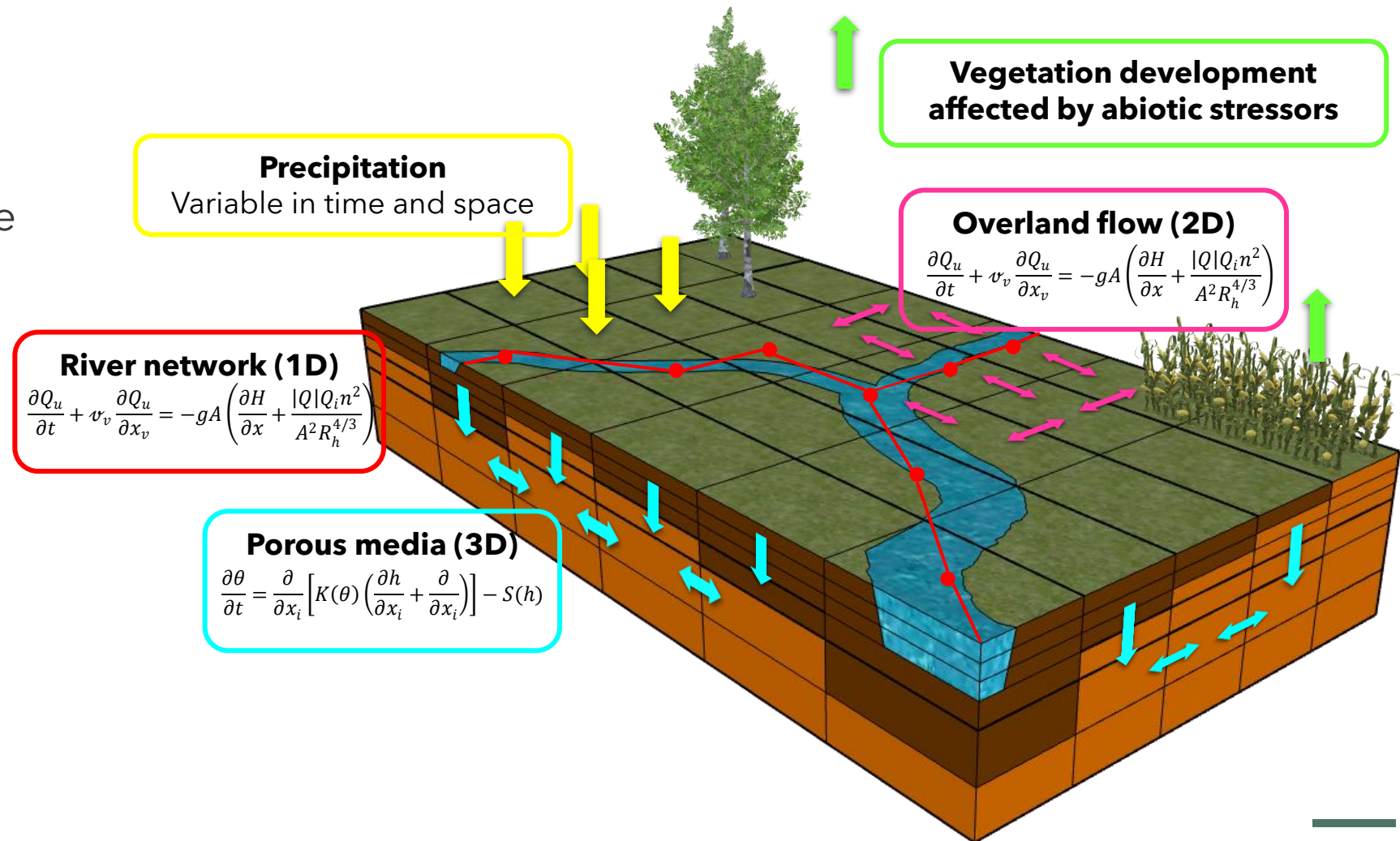
Instabilidade

**O modelo torna-se instável quando há uma grande variação do volume de água num dos elementos finitos do domínio considerando o tempo decorrido num único passo temporal!**



# O modelo MOHID-Land

- Modelo físico
- Conservação da massa e do momento
- Distribuído
- Passo temporal variável
- Modelo contínuo no tempo
- Volumes finitos



# FIM

Ana R. Oliveira  
anaramosoliveira@tecnico.ulisboa.pt