

# Verificação e Validação de Modelos

**Verificação** Determinar se o modelo de simulação representa adequadamente o modelo conceitual

*A verificação determina se o modelo está correto*

**Validação** Determinar se o modelo conceitual reflete de uma forma correta o sistema real

*A validação determina se o modelo é o correto*

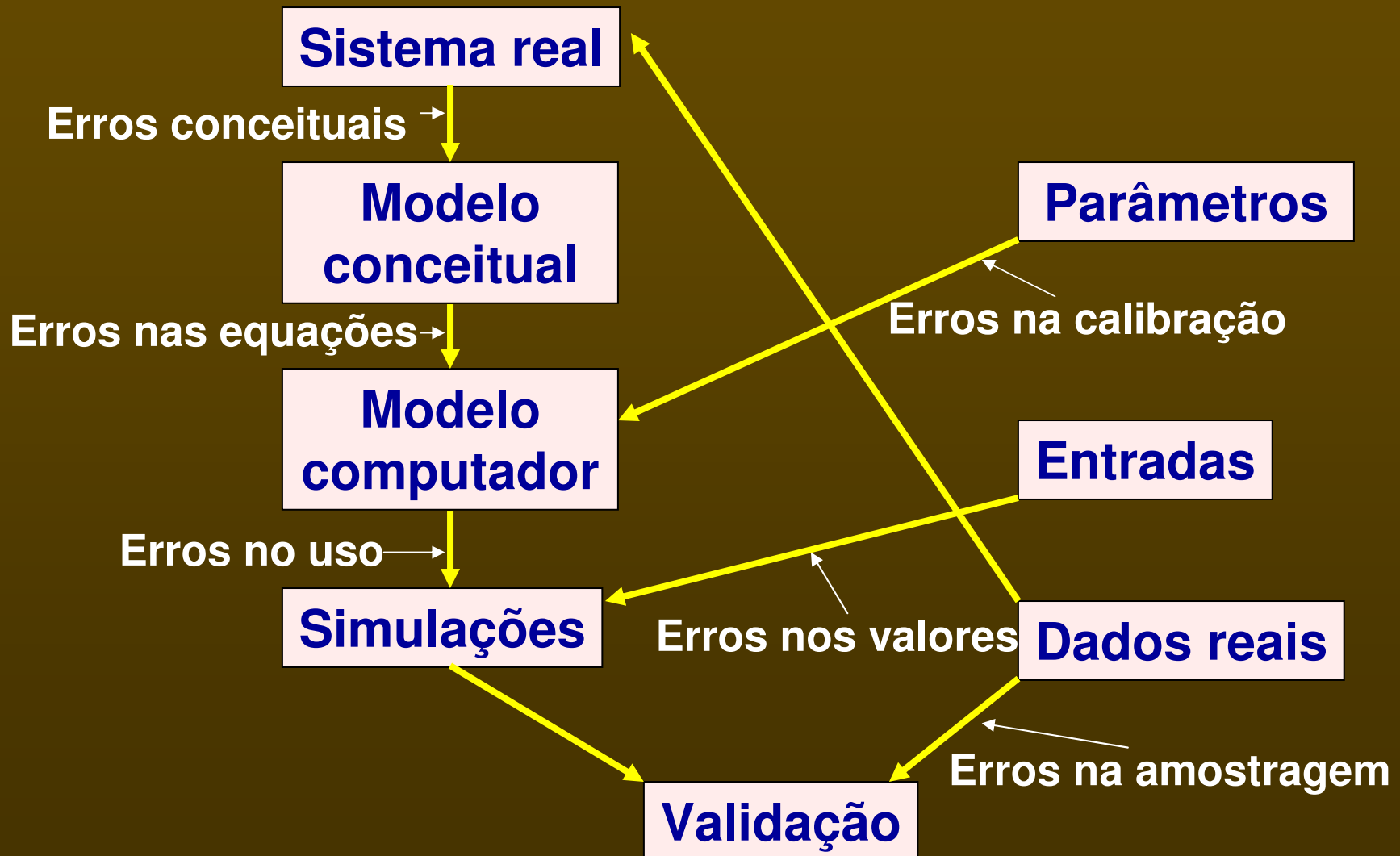
# Entendendo os resultados do modelo

- Quando um modelo é utilizado para analisar um sistema é essencial entender como ele representa os processos biológicos, físicos, econômicos, etc. do sistema.
- Sem o conhecimento do sistema sob estudo e do modelo utilizado não é possível interpretar corretamente as diferenças entre os dados medidos (reais) e os resultados da simulação

# Validação do modelo

- Validar o modelo é um requerimento necessário para sua utilização
- Para uma validação confiável vários passos devem ser seguidos, para identificar fontes de erro que podem influenciar o resultado final

# Verificação do modelo



# Erros

1. Modelo tem erros conceituais
2. Falta calibração
3. Erros nas equações ou programa
4. Erros nos inputs
5. Erros no uso (modelo não simula um processos fundamental para o ambiente sob estudo)
6. Erro nas amostragem dos dados reais

**erros 2, 4, 5 e 6 são devidos ao usuario**

# 1. Erros conceituais

- **Todos os processos necessários foram incluído ?**
- **Todos os processos foram modelados corretamente ?**
- **A amplitude os dados usados para desenvolver o modelo inclui os cenários das simulações?**
- **Há consistência dimensional?**

## **2. Calibração**

**O modelo foi calibrado corretamente ?**

**Não existe um modelo universal que funcione  
com os mesmos parâmetros para todas as  
condições**

### **3. Erros no programa**

- **Simular casos conhecidos**
- **Recodificar**
- **Simular casos extremos**
- **Comparar resultados com dados utilizados para construir o modelo**
- **Alterar intervalo e/ou método de integração numérica**



## 4. Erros nos inputs

- Os erros devido aos parametros de entrada são proporcionais à sensibilidade do modelo ao parâmetro.
- São comuns erros em variaveis tipo lookup como temperaturas, chuva, vendas, etc
- Importante verificar a qualidade dos dados usados como input:
- lixo in => lixo out

## 5. Erros na utilização

- Um modelo é uma interpretação de um sistema, ou seja, das inter-relações entre elementos do mundo real. Se corretamente estruturado um modelo contém os sub-modelos para simular os processos mais importantes do sistema.
- Todos os modelos têm limitações no seu uso, dadas por sua estrutura: usar um modelo em condições aonde processos não modelados são importantes causa resultados errados para a maior parte dos processos modelados

## 6. Erros nos dados reais

- Os dados reais utilizados para validar o modelo podem conter erros de amostragem, algumas vezes grandes.
- Somente amostragens relativamente grandes permitem uma avaliação do modelo significativa, em termos estatísticos.
- Resultados simulados e reais provavelmente nunca serão iguais; avaliação da tendência dos resultados simulados é uma ferramenta útil para avaliação do modelo.

# Verificação do Modelo

**Tipicamente, poderão ser utilizados três mecanismos intuitivos de forma a verificar o modelo:**

## **1. Senso Comum**

- **Ter a representação em computador verificada por alguém que não seja o programador**
- **Examinar com precisão os resultados apresentados pelo modelo em consequência da variação dos parâmetros de entrada**
- **Por vezes poderá ser possível a comparação com valores teóricos.**

## **2. Documentação descritiva. Descrevendo em detalhe o modelo/programa e as opções realizadas poderá encontrar-se erros.**

## **3. Execução passo- a- passo. Examinado o comportamento do modelo ao longo da execução do programa.**

# Validação de Modelos

1. Validar as hipóteses efetuadas para o modelo
2. Avaliação subjetiva
3. Avaliação estatística

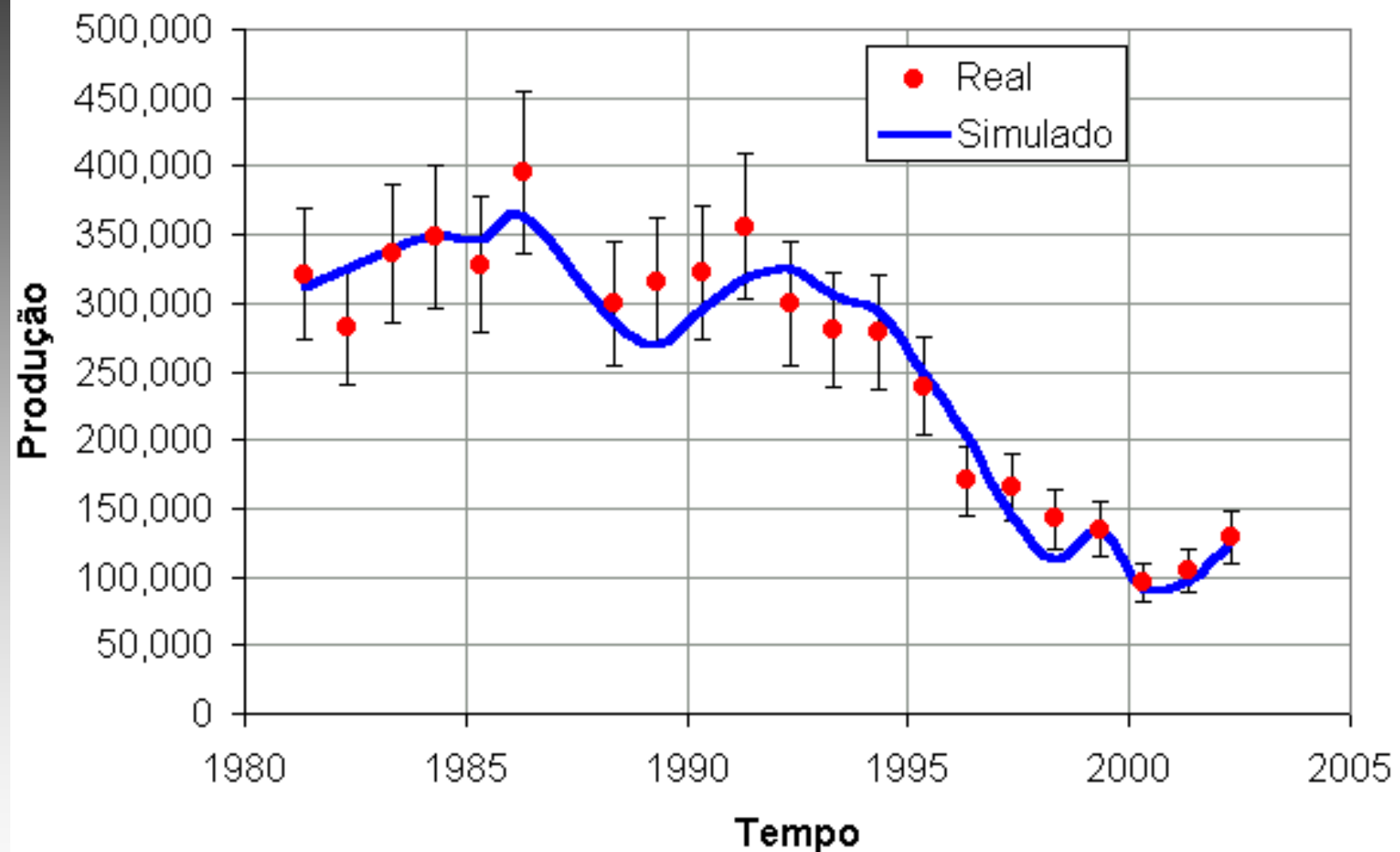
# Avaliação subjetiva

- É recomendada quando não há possibilidade de dados reais independentes para comparação de resultados
- Teste de Turing. Consiste em submeter as informações geradas pelo modelo e as obtidas do sistema real, em um mesmo formato, à análise de um grupo conhecedor do sistema. Caso não haja consenso entre eles, quanto a origem das informações, é indicativo que o modelo pode ser aceito.
- Outra forma deste tipo de validação dá-se por análises de especialistas, os quais procedem o julgamento do modelo, segundo lógicas associadas ao sistema em estudo.

# **Avaliação estatística**

- **análise de variância**
- **intervalo de confiança**
- **análises de regressão**
- **análises de séries temporais**

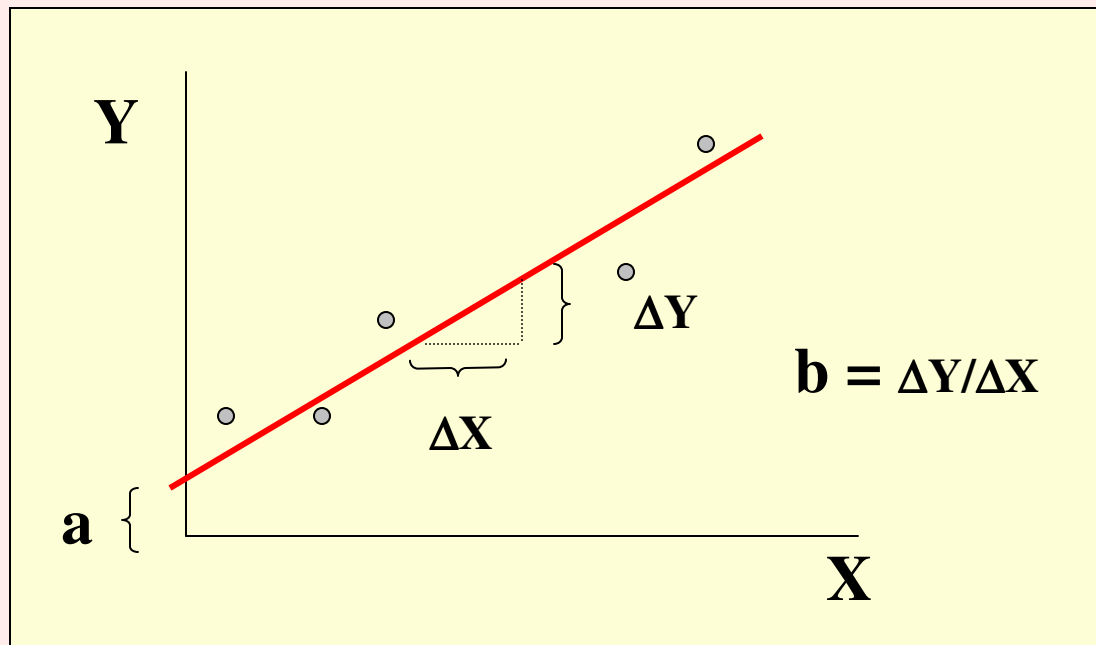
# Intervalo de confiança





# Regressão linear

- Regressão linear é utilizada para comparar os resultados simulados com dados reais disponíveis.
- Equação da regressão
- $Y = a + b \cdot X + \text{erro}$



# Regressão linear

$$Y = a + b \cdot X$$

$$\text{simulado} = a + b \cdot \text{real}$$

$$\begin{aligned} \text{se } a = 0 \text{ e} \\ b = 1 \text{ então} \end{aligned}$$

$$\text{simulado} = \text{real}$$

# Regressão linear

**Estimativas das Soma de Quadrados (SQ) e das Soma de Produtos (SP)**

$$SQ_X = \sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}$$

$$SQ_Y = \sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n}$$

$$SP_{XY} = \sum (X_i * Y_i) - \frac{(\sum X_i) * (\sum Y_i)}{n}$$

Real	Sim
$X_1$	$Y_1$
$X_2$	$Y_2$
$X_3$	$Y_3$
$X_n$	$Y_n$

# Regressão linear

**Estimativas de a e b**

$$b = \frac{SP_{XY}}{SQ_X}$$

$$a = \frac{\sum Y_i}{n} - b * \frac{\sum X_i}{n}$$

# Regressão linear

## Testes de significancia para b

**Ho:  $b = 1$  (se teste t não for significativo)**

**Ha:  $b \neq 1$  (se teste t for significativo)**

$$t = \frac{b - 1}{\sqrt{s_b^2}} \quad s_b^2 = \frac{SQ_y - \frac{SP_{XY}^2}{SQ_x}}{(n - 2) * SQ_X}$$

# Regressão linear

**Testes de significancia para a**

**Ho:  $a = 0$  (se teste t não for significativo)**

**Ha:  $a \neq 0$  (se teste t for significativo)**

$$t = \frac{a - 0}{\sqrt{s_a^2}}$$

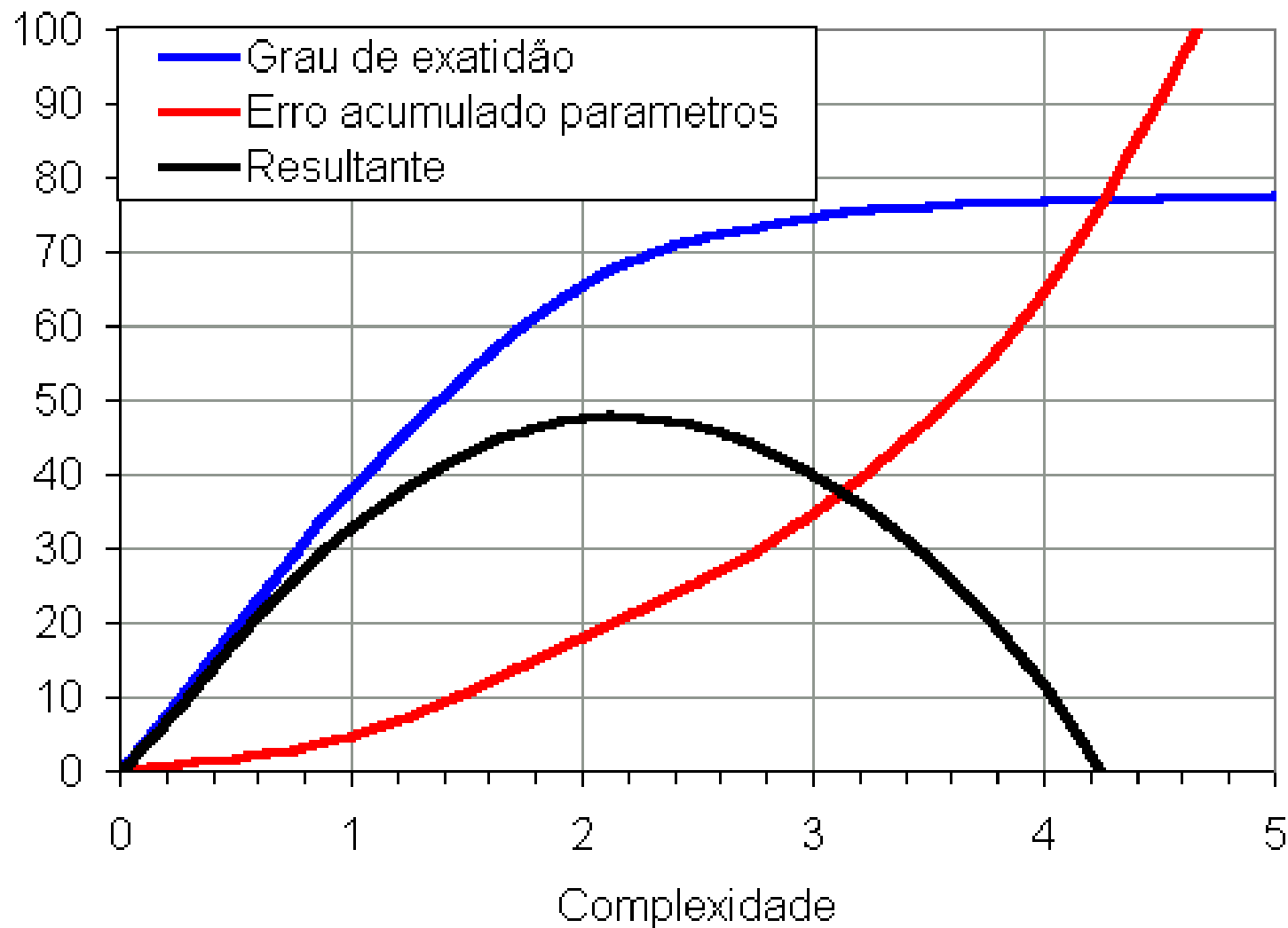
$$s_a^2 = \frac{SQ_Y - b * SP_{XY}}{n - 2} * \left( \frac{1}{n} + \frac{X_{medio}^2}{SQ_X} \right)$$

**O mais correto é aplicar o teste simultâneo para  $a = 0$  e  $b \neq 1$  (Dent and Blackie, 1979)**

# Tabela de t

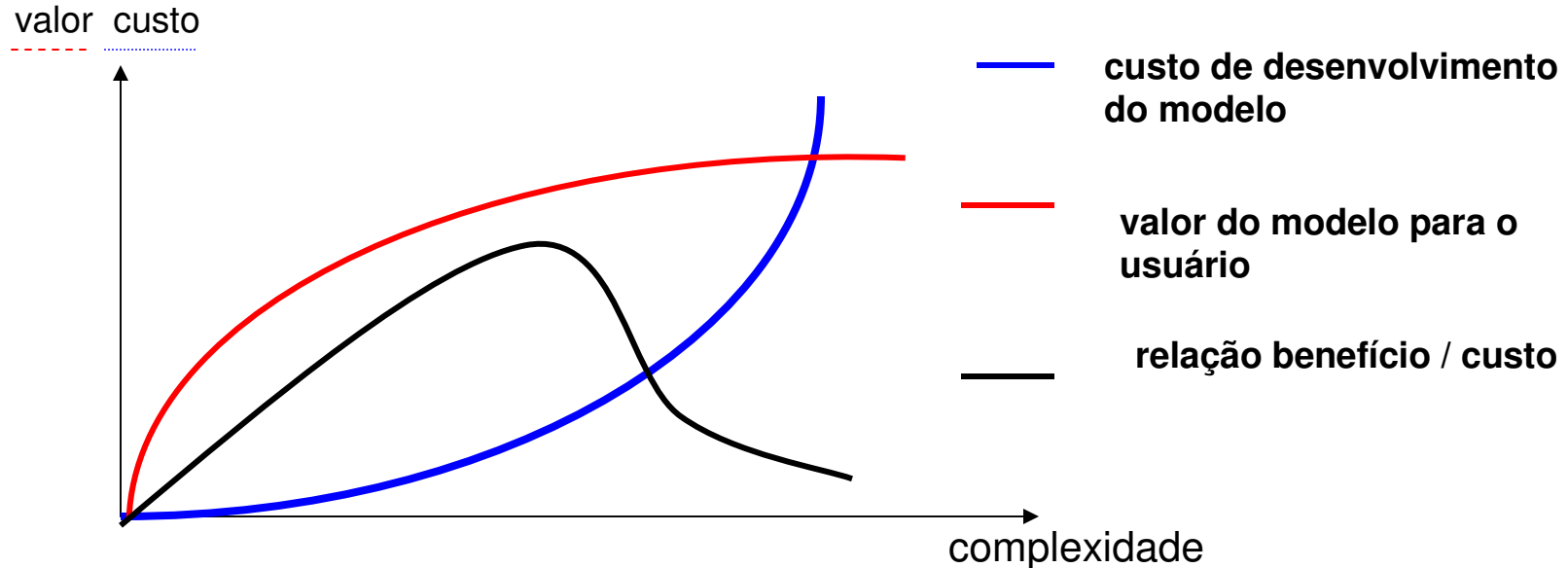
<b>N-2</b>	<b><math>t_{0.990}</math></b>	<b><math>t_{0.995}</math></b>
<b>1</b>	<b>31,82096</b>	<b>63,65590</b>
<b>2</b>	<b>6,96455</b>	<b>9,92499</b>
<b>3</b>	<b>4,54071</b>	<b>5,84085</b>
<b>4</b>	<b>3,74694</b>	<b>4,60408</b>
<b>5</b>	<b>3,36493</b>	<b>4,03212</b>
<b>6</b>	<b>3,14267</b>	<b>3,70743</b>
<b>7</b>	<b>2,99795</b>	<b>3,49948</b>
<b>8</b>	<b>2,89647</b>	<b>3,35538</b>
<b>9</b>	<b>2,82143</b>	<b>3,24984</b>
<b>10</b>	<b>2,76377</b>	<b>3,16926</b>

# Quando finalizar o modelo?





# Quando finalizar o modelo ?



- **provar que um modelo é válido de forma absoluta tem um custo normalmente excessivo**
  - **é suficiente provar que o modelo é válido para os objetivos e condições desejados**

# Dicas

Quais os aspectos de um sistema real que deverão ser incluídos no modelo de simulação?

- Modelos são apenas válidos para propósitos específicos.

*É necessário definir claramente os objectivos, medidas de desempenho, e a utilização potencial do modelo*

- Devem concentrar-se nos aspectos mais importantes do sistema.

- Não incluir excessivos detalhes!

*Deve-se começar com um modelo não muito detalhado, e adicionar mais detalhes se necessário. Apenas adicionar detalhes se existir suficientes dados a seu respeito.*

- Utilizar uma modelagem por fases

*Um modelo analítico ou de simulação simples poderá ser utilizado inicialmente para identificar os factores importantes e o desejado nível de detalhe.*