



# Simulação Estacionária

## Tópicos em Avaliação de Desempenho de Sistemas

**Aline Oliveira** [aso2@cin.ufpe.br](mailto:aso2@cin.ufpe.br)  
**Camila Araujo** [cga2@cin.ufpe.br](mailto:cga2@cin.ufpe.br)  
**Iure Fé** [isf2@cin.ufpe.br](mailto:isf2@cin.ufpe.br)  
**Janailda Silva** [jbs4@cin.ufpe.br](mailto:jbs4@cin.ufpe.br)



# Agenda

Contextualização

Modelo e Simulação

Tipos de Modelos

Simulação Terminante e Não-Terminante

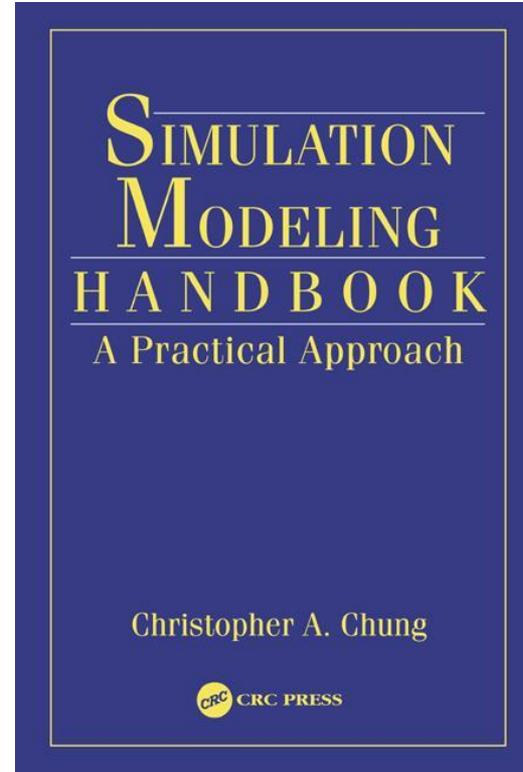
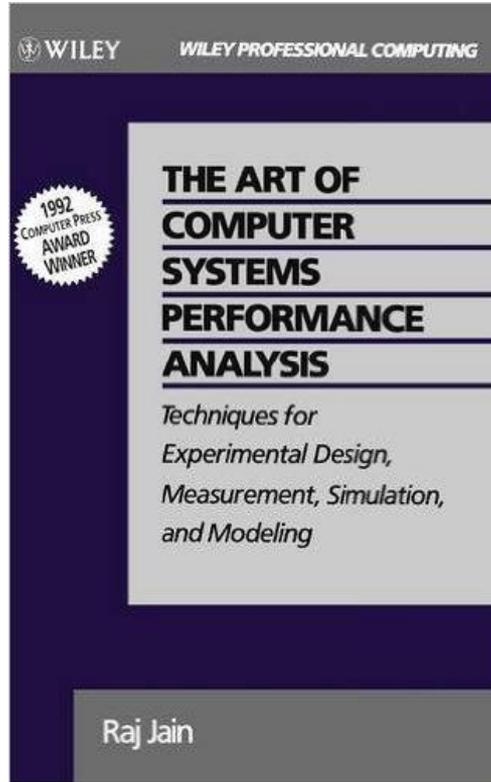
Rodada x Replicação

Viés de Inicialização

Determinando o Estado Estacionário

Ferramenta Arena

# Referências

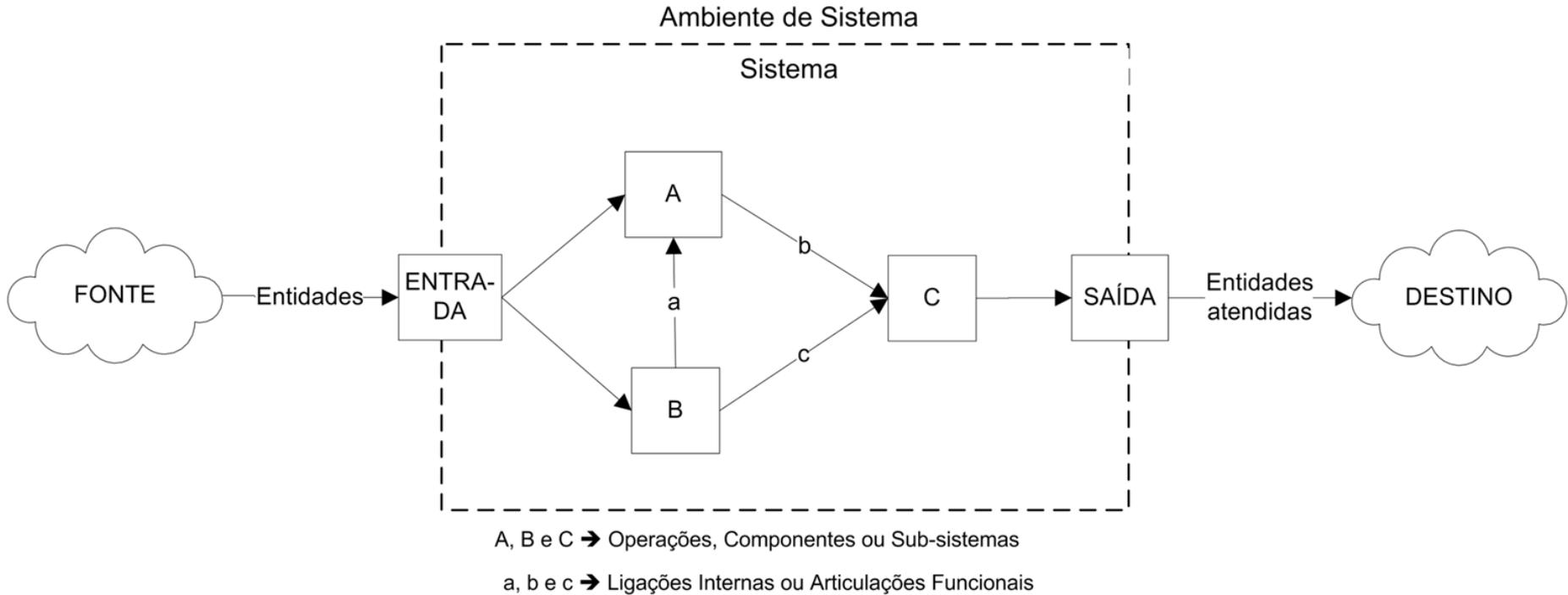


- “Sistema é um grupo de objetos que interagem de forma a alcançar um propósito comum.
- “Um conjunto de partes organizadas para algum propósito”
- Os objetos que compõe o sistema podem ser afetados através de variações externas denominado ambiente de sistema

**De acordo com Checkland (1981), os sistemas encontram-se divididos em quatro classes ou categorias principais:**

- **Sistemas Naturais:** Sistemas cujas origens se encontram na origem do universo, os átomos, as galáxias, a Terra;
- **Sistemas Físicos projetados:** Sistemas físicos que são resultado de projetos humanos: Casa, carro, fábricas de automação;

- **Sistemas Abstratos Projetados:** Sistemas abstratos que são de autoria humana, como a matemática e a literatura;
- **Sistemas de Atividade Humana:** Sistemas que são resultados de ações conscientes ou inconscientes dos seres humanos, a família, cidades, sociedade e o sistema político;





# Técnicas de Avaliação

Existem basicamente três tipos de técnicas de avaliação que se pode operar sobre um sistema:

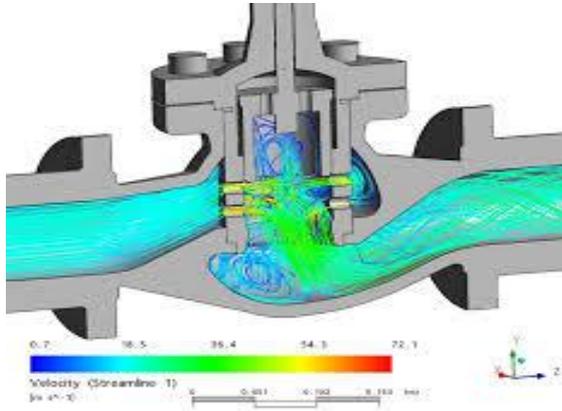
- **Modelagem analítica:** Descrição matemática do sistema.
- **Simulação:** Programa que modela funcionalidades do sistema.
- **Medição:** Dados do sistema real.



# Simulação

- *“Uma imitação de um sistema”*
- *“Uma imitação (em um computador) de um sistema à medida que este progride através do tempo” Stewart & Robinson, 2004*
- *“[simulas’äw] s.f. Ato ou efeito de Simular. Experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos.”*
- *“Simulação se tornou uma ferramenta muito poderosa para planejamento, projeto e controle de sistemas. Não mais renegado ao posto de “último recurso”, hoje ela é vista como uma metodologia indispensável de solução de problemas para engenheiros, projetistas e gerentes. C. Dennis Pegden”*

# Simulação – Exemplo





# Simulação - Quando NÃO é Apropriada

- Quando o problema pode ser resolvido usando o senso comum.
- Quando os custos são excessivos.
- Quando é mais fácil realizar experiências diretas.
- Quando não há tempo suficiente.



# Simulação - Vantagens

- Novas políticas, regras e procedimentos podem ser testados sem a interrupção do sistema;
- O tempo pode ser comprimido ou expandido para desacelerar fenômenos investigados;
- Compreensão do funcionamento do sistema, em vez de *adivinhação*;
- Possibilidade de animar dinamicamente as operações realizadas no sistema simulado;



# Simulação - Desvantagens

- **Cara:** Softwares de simulação nem sempre são baratos, além do elevado custo do próprio modelo;
- **Consome tempo;**
- ***Data Hungry:*** Requerem grande quantidade de dados que as vezes não está disponível de imediato;
- **Requer experiência;**
- **Excesso de Confiança:** Interpretar resultados erroneamente pode levar ao fracasso total do projeto;

# Simulação – Áreas de Atuação

- Aplicações de Fabricação
- Engenharia Civil
- Aplicações Militares
- Aplicação em Logística, transporte e distribuição
- Simulação de processos de negócios
- Sistemas Humanos



# Simulação – Propósito

- Ganhar conhecimento sobre a operação de um sistema.
- Desenvolvimento de políticas operacionais ou de recursos para melhorar o desempenho do sistema.
- Testar novos conceitos e/ou sistemas antes da implementação.
- Obtenção de informações sem interferir no sistema real.





# Modelo de um Sistema

- É uma simplificação do sistema, contendo estritamente os elementos que afetem de alguma forma o problema em estudo.
- Deve contar com um detalhamento que seja suficiente para possibilitar a validação das deduções realizadas.



# Tipos de Modelos

- Em um primeiro plano, os modelos podem ser **físicos** ou **matemáticos**.
  - Um **modelo de simulação** é um caso particular de um modelo matemático, uma vez que é caracterizado por notação simbólica e equações matemáticas.



# Tipos de Modelos

- Modelos de simulação podem ser classificados como **estáticos** ou **dinâmicos**, de acordo com sua relação com o tempo.
  - **Estático** - representa o sistema em um instante específico.
  - **Dinâmico** - representa o comportamento do sistema ao longo de um intervalo determinado de tempo.

# Tipos de Modelos

**Estático**



**Dinâmico**



# Tipos de Modelos

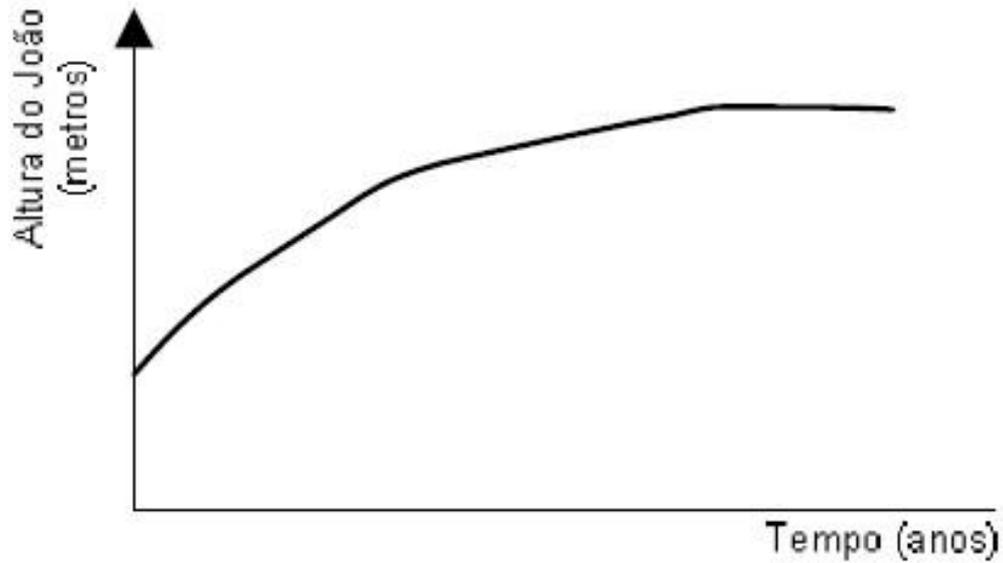
- Classificação quanto a aleatoriedade podem ser **determinísticos** ou **estocásticos**.
  - **Determinístico**- Caso não possua variáveis com comportamento probabilístico.
  - **Estocástico** – Caso uma ou mais variáveis possuam comportamento probabilístico.

# Tipos de Modelos

- Os modelos de simulação podem ser classificados como **contínuos** ou **discretos**.
- Para classificar estes modelos, predomina a mudança das variáveis de estado.
- **Contínuo** – As variáveis de estado mudam predominantemente de forma contínua no tempo.

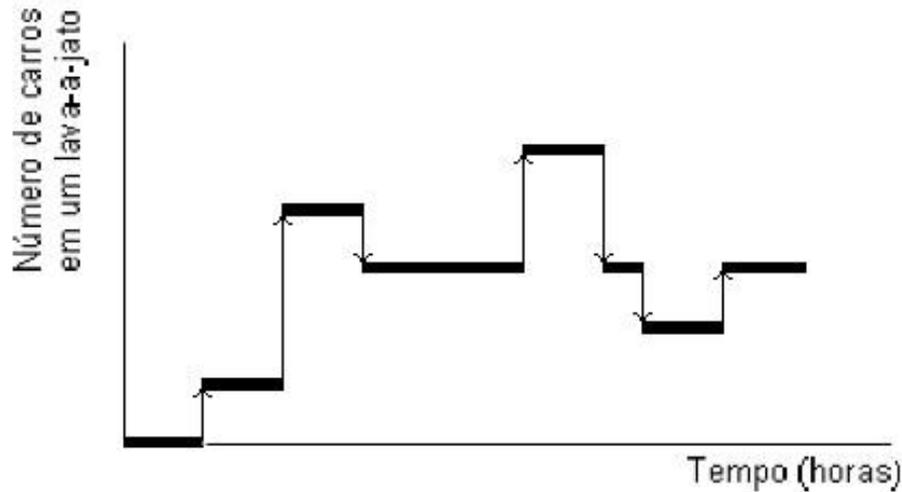


# Tipos de Modelos



# Tipo de Modelos

Discreto – caso predomina mudanças que ocorrem de forma discreta.





# Simulação de Sistemas de Eventos Discretos

- Estudo de sistemas utilizando modelos nos quais as variáveis de estado mudam apenas em instantes discretos de tempo.
- Um histórico artificial do sistema é gerado e observações são coletadas para serem analisadas e, só então, obter estimativas para as medidas de desempenho do sistema.



# Simulação de Sistemas de Eventos Discretos

Há duas abordagens de análise estatísticas para os Sistemas de Eventos Discretos.

- Terminante
- Não-Terminante



# Simulação Terminante

Caracterizada por executar por um tempo exato e após este tempo acaba.

Ex.

- Simulação de que uma clínica abre às 10:00 horas e fecha pontualmente às 16:00 horas
- Uma fábrica de produtos aeroespaciais tenha recebido uma encomenda de 200 aviões de um modelo em particular. A companhia pode estar interessada em quanto tempo levará para produzir o pedido.



# Simulação Não-Terminante

Não possui um tempo exato para terminar. Somente há interesse de estudar uma simulação não-terminante para o período em que a simulação está em regime estacionário.

Ex.

- Simulação de uma usina siderúrgica que opera 24 horas por dia, 7 dias por semana
- A simulação do comportamento das pás de uma turbina. O interesse seja estudar as características de seu escoamento em condições estáveis, após um período de aquecimento.



# Simulação Não-Terminante

- É aquele que funciona continuamente ou ao menos por um período muito longo.
- Usualmente se quer estudar características que não dependam do estado inicial no instante  $t=0$ .
- O instante final  $t=TF$  não está determinado pela natureza do problema, senão é mais um parâmetro a ser determinado no desenho do experimento.
- O sistema terá primeiro um estado transiente inicial antes que se torne equilibrado e atinja o **estado estacionário**



# Determinando a natureza dos dados de saída da simulação

Saídas de Simulações Terminantes	Transiente
Saídas de Simulações Não-Terminantes	Estacionário



# Classificação de sistema, modelo e simulação (PEREIRA, 2000).

SISTEMA	MODELO		SIMULAÇÃO
<b>DISCRETO:</b> Variáveis envolvidas assumem valores finitos ou infinitos numeráveis.	<b>DETERMINÍSTICO:</b> Variáveis assumem valores determinados.	<b>ESTÁTICO:</b> Estuda o sistema sem levar em conta sua variabilidade com o tempo.	<b>TERMINANTE:</b> Há interesse em se estudar o sistema num dado intervalo de tempo.
<b>CONTÍNUO:</b> Variáveis mudam constantemente com o tempo.	<b>ESTOCÁSTICO:</b> Variáveis assumem valores diversos segundo uma determinada distribuição de probabilidades.	<b>DINÂMICO:</b> Representa o sistema a qualquer tempo.	<b>NÃO TERMINANTE:</b> Há o interesse em estudar o sistema a partir de um determinado estado estável, podendo o estudo, prolongar-se indefinidamente.



# Rodada Vs Replicação

Rodada: o que ocorre quando selecionamos ou iniciamos o comando que executa a simulação no computador. Uma rodada pode envolver várias replicações.

Replicação: é uma repetição da simulação do modelo, com a mesma configuração, a mesma duração e com os mesmos parâmetros de entrada, mas com uma semente de geração dos números aleatórios diferente.

Apesar de os dados e dos parâmetros de entrada serem os mesmos, como os números aleatórios gerados são diferentes, cada replicação terá uma saída diferente também.



# Viés de Inicialização

A remoção do viés de inicialização é feita visando uma maior precisão nos resultados;

Dados imprecisos podem levar a resultados tendenciosos e equivocados;

Existem técnicas para evitar o impacto do viés de inicialização nos resultados das simulações;

- Condições Iniciais;
- Período de Aquecimento (warm-up) ;



# Viés de Inicialização

- **Condições Iniciais:**

Definir condições iniciais ao modelo, que é colocado em condições próximas as reais já de início

- **Período de Aquecimento (warm-up):**

Execução de um período de aquecimento (warm-up) até que atinja uma condição mais próxima possível da real e obter resultados a partir deste ponto;



# Determinando o Estado Estacionário

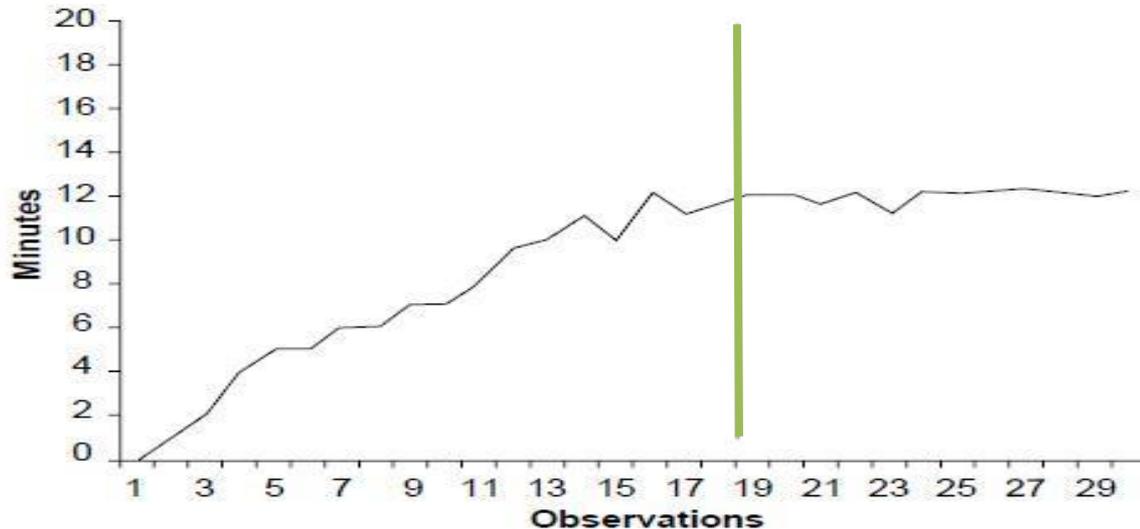
- Durante a simulação o estado transiente é rapidamente identificado e removido para que apenas dados gerados no estado estacionário possa ser observado.
- Identificação do estado estacionário
  - **Abordagem Gráfica**
  - **Regressão Linear**



# Determinando o Estado Estacionário

## Abordagem Gráfica

Visualmente se tenta determinar quando a inclinação do estado transiente inicial tende a zero e a medida de saída de desempenho atinge o estado estacionário.





# Determinando o Estado Estacionário

## Regressão Linear

O Método Mínimos quadrados é a forma mais comum de se calcular a reta de regressão.

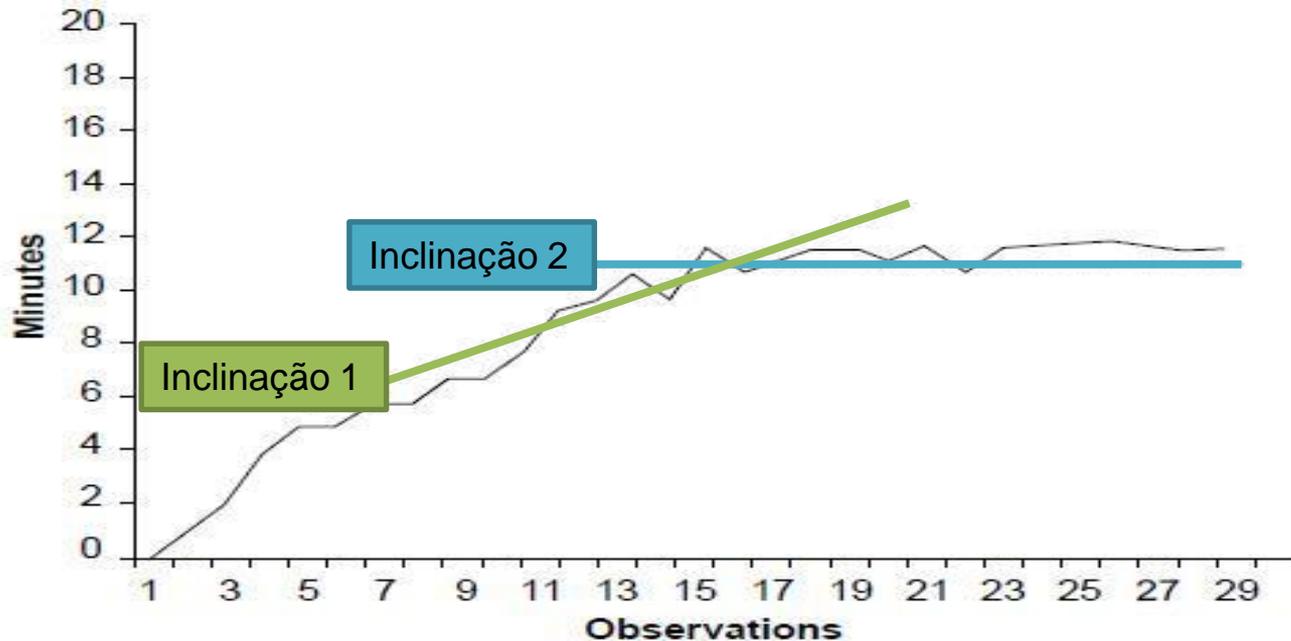
- Determina onde o estado inicial “transiente” termina.
- Verificar se o coeficiente angular da regressão linear é igual a zero.
- Caso não seja, avança o intervalo para um conjunto de observações posteriores.
- Eventualmente uma gama de dados será obtido para os quais o coeficiente de inclinação é significativo.



# Determinando o Estado Estacionário

## Regressão Linear

O Método mínimos quadrados é utilizado para determinar onde o estado transiente termina e inicia o estado estacionário.





# Determinar o tamanho do período de observação - Warm-up

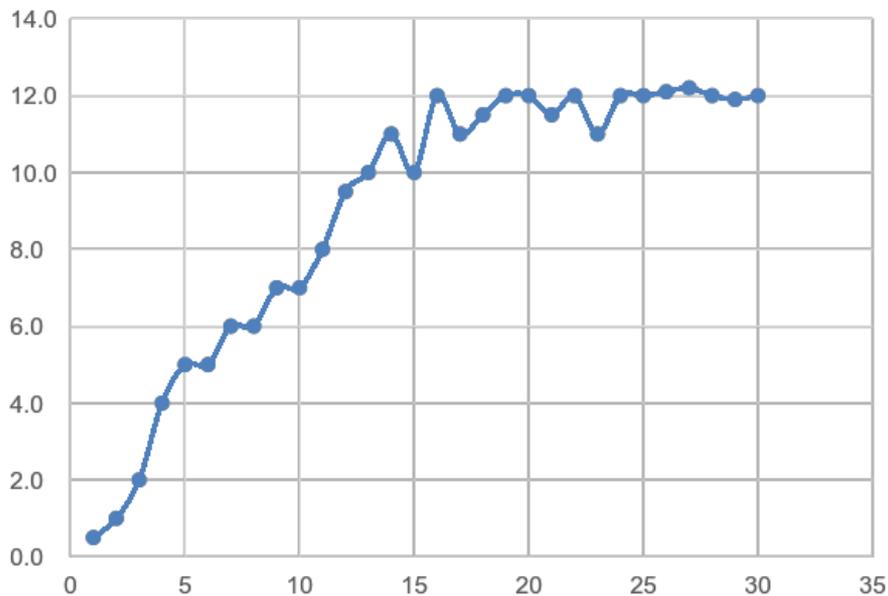
- Encontrar o período de observações warm-up, através de gráfico ou do teste do coeficiente de regressão linear
- **Gráfico:**
  - Visualizar o ponto estável;
- **Regressão linear:**
  - Intervalo de observação de 1-10, seguida avançar mais 5 observações de 10 (1-10; 6-15; 11-20; 16-25 e 21-30);
  - coeficiente de regressão  $\approx 0$
  - valor-P **não** for  $\approx 0$ ;



# Gráfico

Excel > Inserir > Gráfico de Dispersão

Obs (x)	Systime (Y)
1	0,5
2	1,0
3	2,0
4	4,0
5	5,0
6	5,0
7	6,0
8	6,0
9	7,0
10	7,0
11	8,0
12	9,5
13	10,0
14	11,0
15	10,0
16	12,0
17	11,0
18	11,5
19	12,0
20	12,0
21	11,5
22	12,0
23	11,0
24	12,0
25	12,0
26	12,1
27	12,2
28	12,0
29	11,9
30	12,0





# Regressão Linear

Excel > Dados > Análise de Dados > Regressão Linear

## RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,965
R-Quadrado	0,932
R-quadrado ajustado	0,924
Erro padrão	0,665
Observações	10

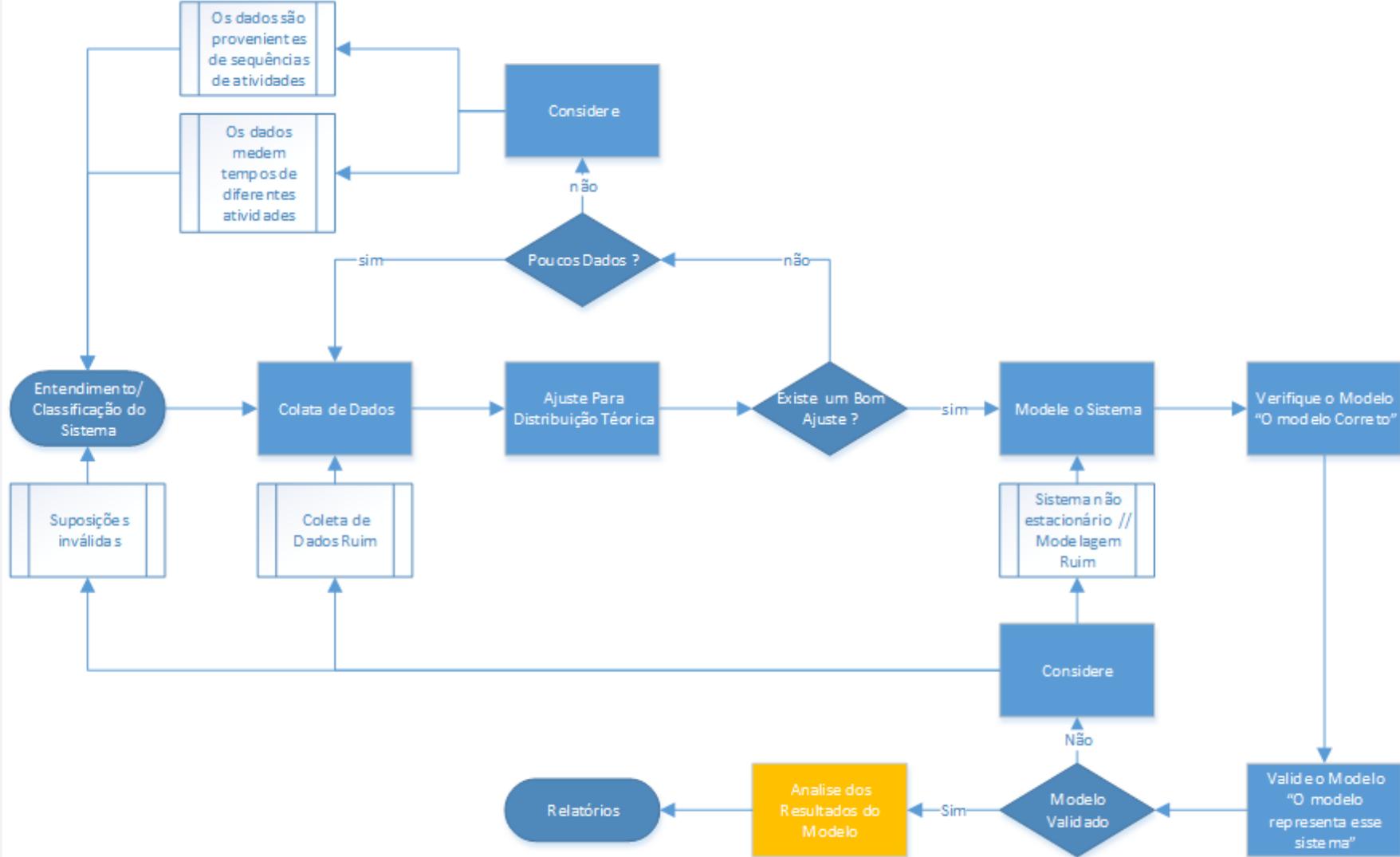
## ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	48,492	48,492	109,792	0,00000598
Resíduo	8	3,533	0,442		
Total	9	52,025			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>
Interseção	0,133	0,454	0,294	0,776	-0,914
Obs (x)	<b>0,767</b>	0,073	10,478	<b>0,000</b>	0,598

= ~0

Não for = ~0

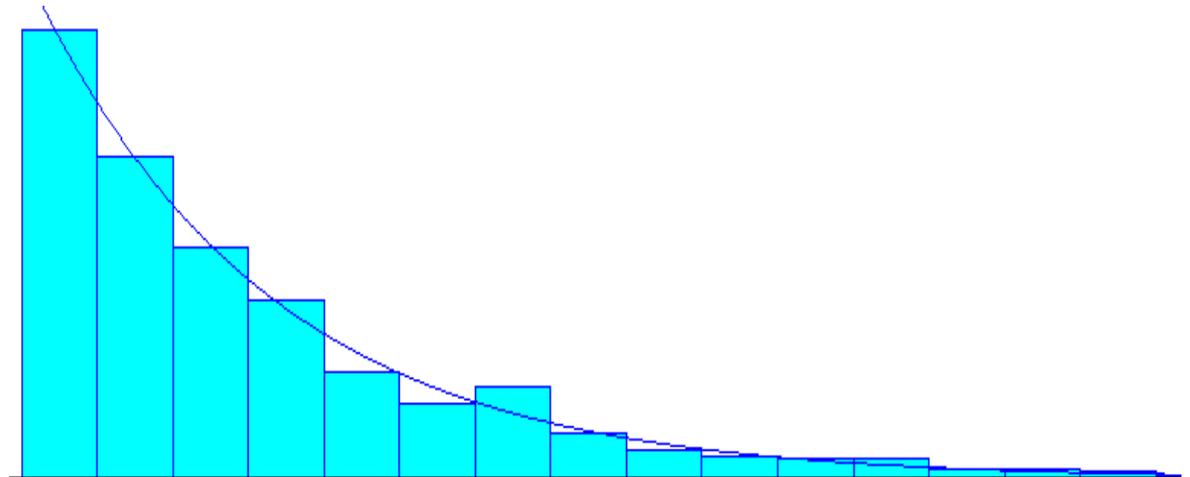




# Ajuste Para Distribuição Teórica “FIT”

- Encontrar uma distribuição que melhor se adequem aos dados de entrada (Exemplo 1 - ARENA):

Data
4.30069369073927
1.53620239422503
5.46251006237931
0.0494965281823041
4.01781724573393
6.71134928495021
.....



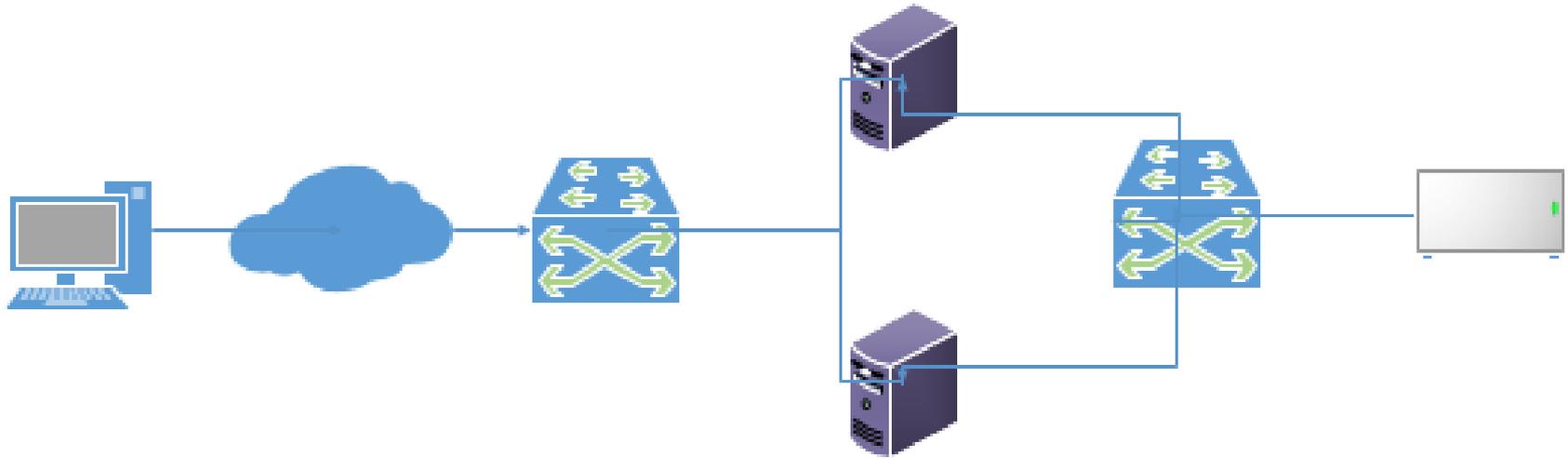


# Ajuste Para Distribuição Teórica “FIT”

Não encontra nenhuma distribuição teórica

- Não há dados em quantidade Suficiente;
- Os Dados podem ser combinações de distribuições sequenciais:
  - Transmitir pela Rede;
  - Realizar uma operação;
- Os dados podem ser operações diferentes:
  - Pagamento com cartão;
  - Pagamento com boleto;

# Modelagem - ARENA





# Modelagem – Blocos ARENA



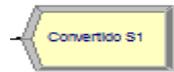
Geração de Entradas, Constante, exponencial, Normal, etc.



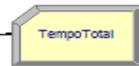
Processo, pode demorar tempos, (aleatórios ou não) para passar a entrada, Pode Controlar Recursos.



Decisão, pode dividir as entradas em mais processos.



Fim de processos.

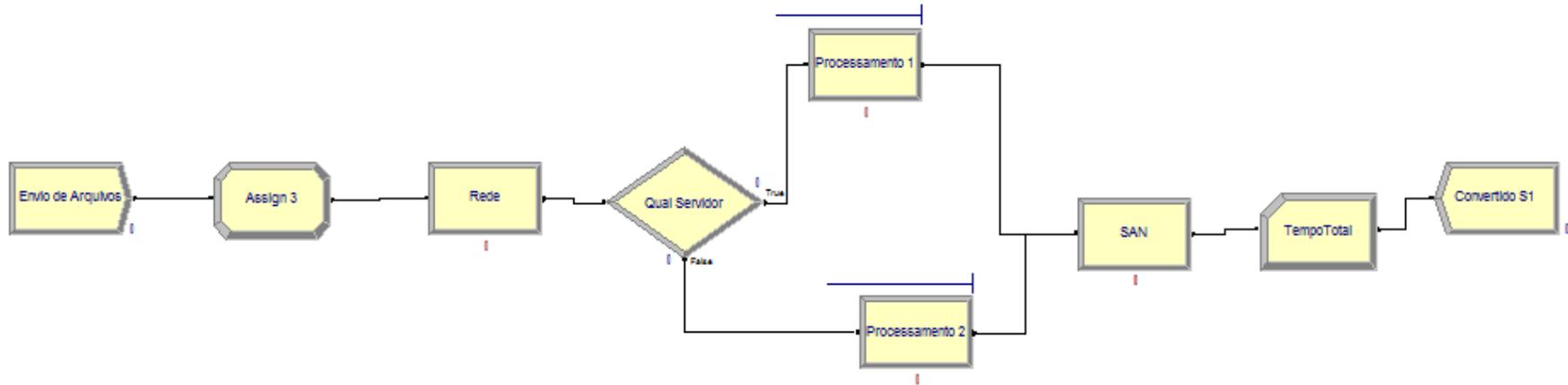


Controlam a entrada e saída por unidade de entrada.



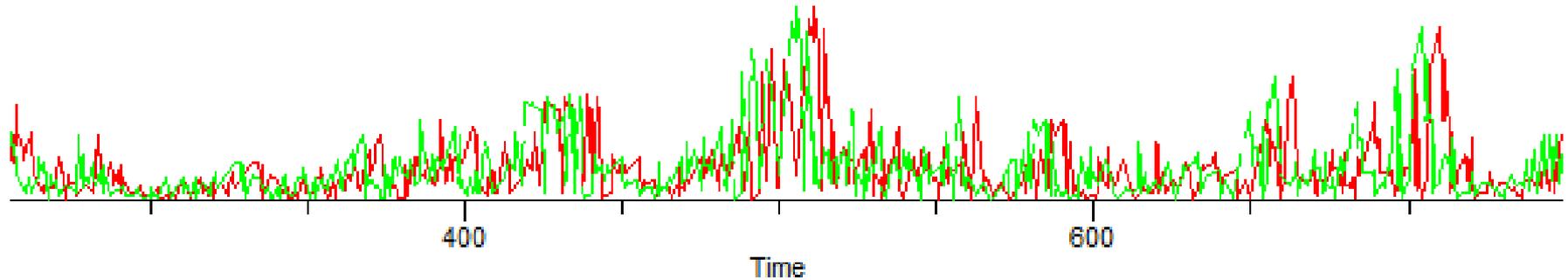
# Modelagem

“Is That Some Kind of Game You Are Playing?”





# Validação dos Resultados



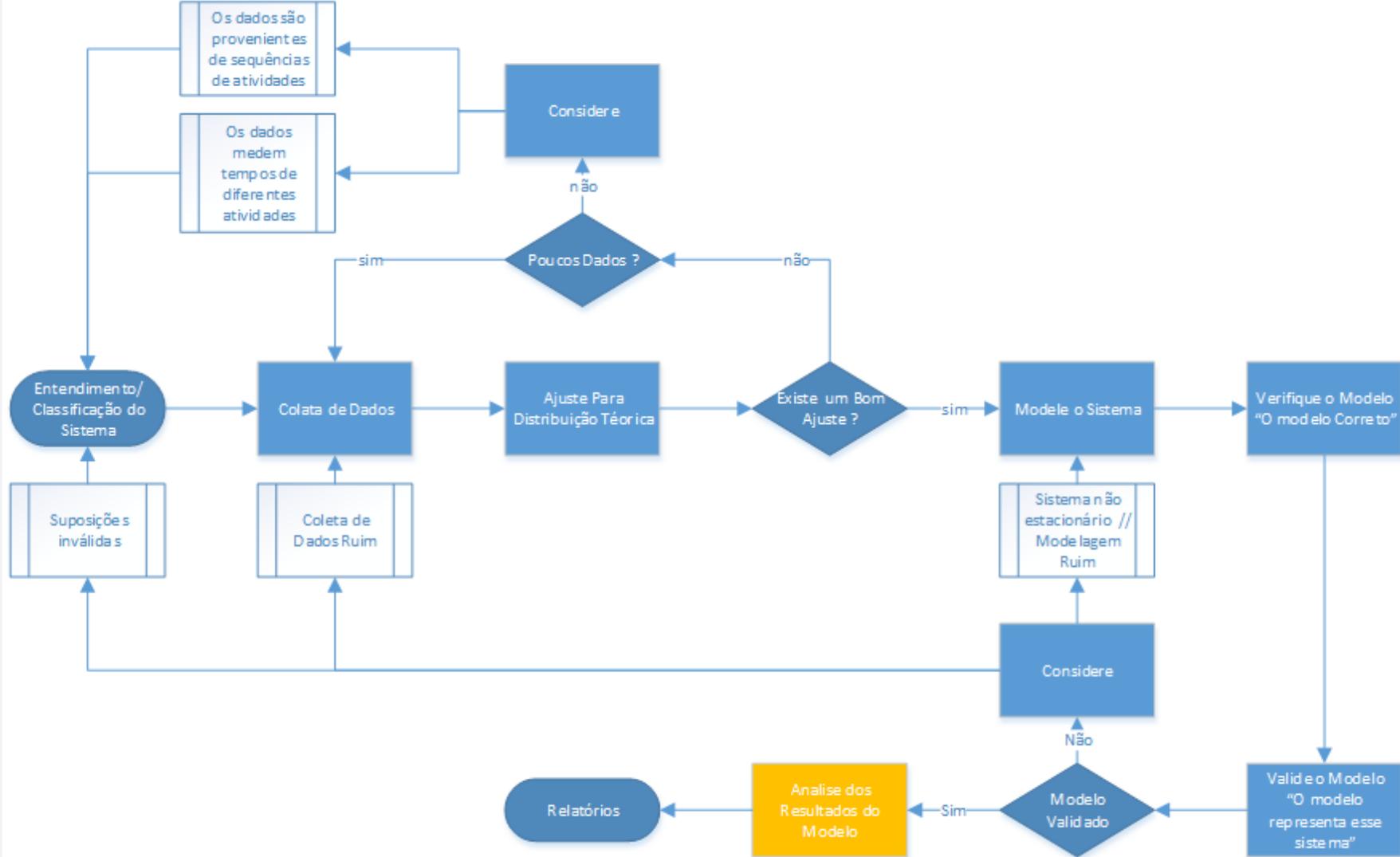
- Métodos paramétricos;
  - ANOVA;
- Métodos não paramétricos;
  - Bootstrap



# Validação dos Resultados

E se o modelo não corresponder ao sistema:

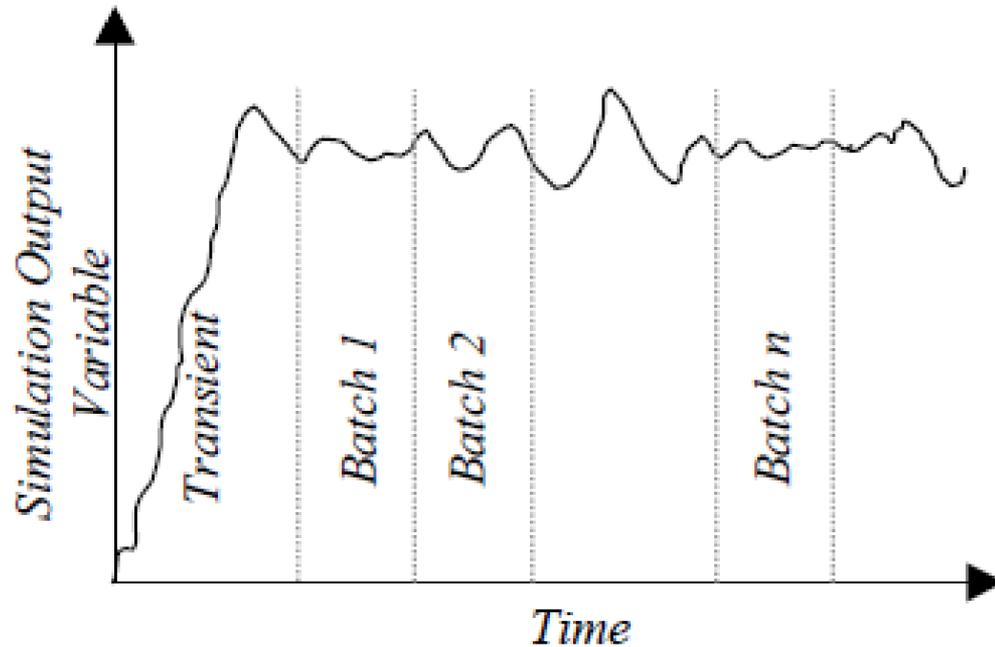
- As entradas do sistema não são estacionárias;
  - Adicionar elementos não estacionários no modelo;
- Modelagem deficiente;
- Coleta de dados deficiente;
- Suposições Inválidas:





# Analise – Técnica do Loteamento

“You Cannot Study a System by Stopping It”

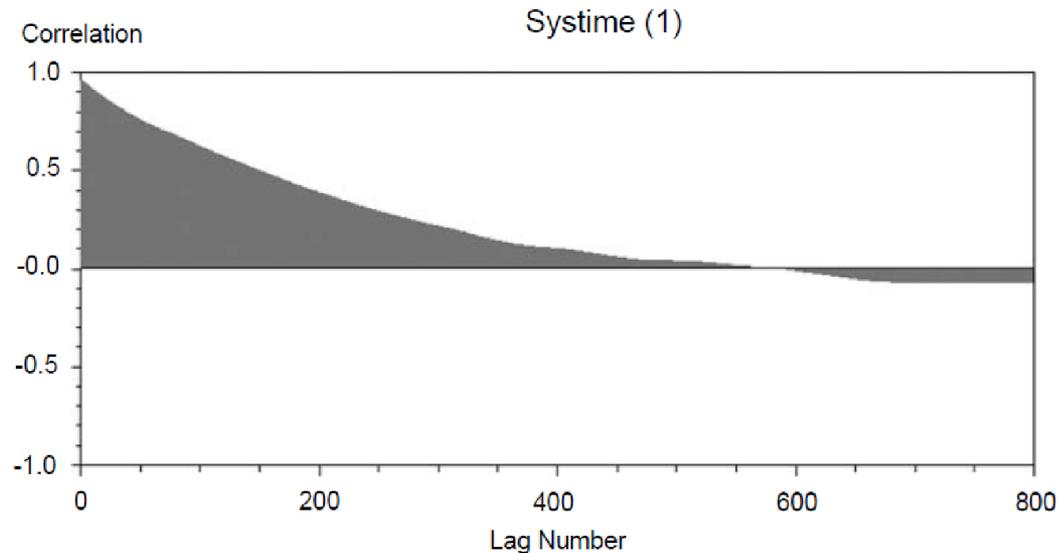




# Analise – Técnica do Loteamento

“You Cannot Study a System by Stopping It”

- Identificar o Tamanho do Intervalo de cada Batch pelo correlograma:





# Analise – Técnica do Loteamento

“You Cannot Study a System by Stopping It”

- Identificar o tamanho do lote – “regra de ouro” = Intervalo de cada bath x 10;
- Nesse exemplo o tamanho do lote deve conter 6000 observações;
  - Para saber o tempo necessário para cada lote:
  - Tempo de cada observação = Tempo Total / número de Observações
  - Tempo de cada lote = Tempo de cada observação\* Tamanho do Lote
  - EX: No caso em que, o Tempo total é 65.000 e a quantidade de observações 26.849:
    - Cada observação =  $65.000/26.849 = 2,42$
    - Cada Lote terá:  $2,42*6.000 = 14.520$  minutos.



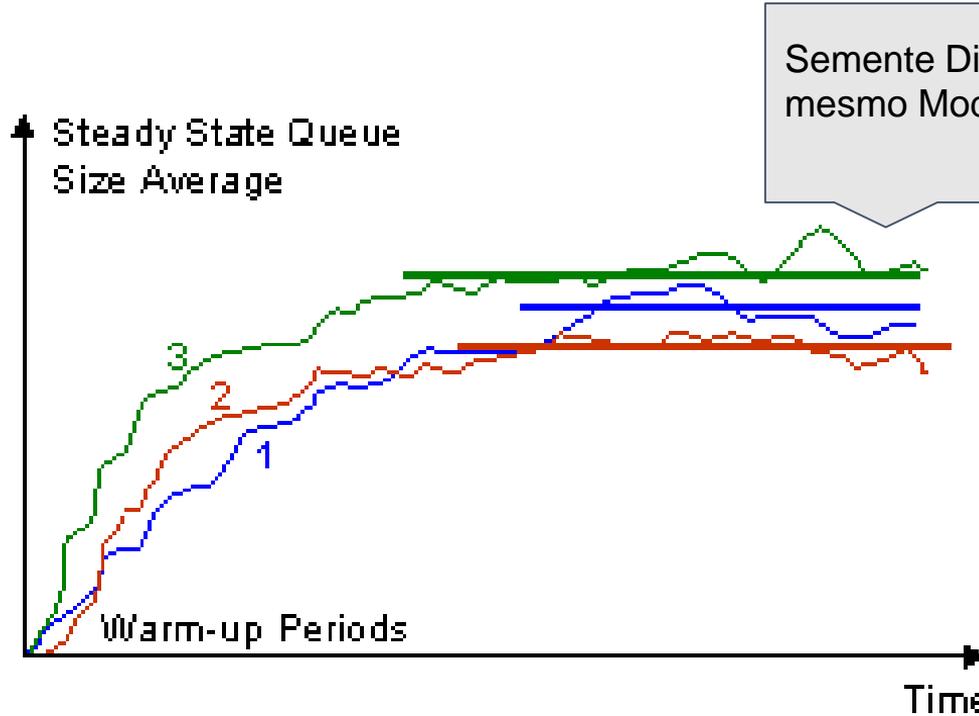
# Analise – Técnica do Loteamento

“You Cannot Study a System by Stopping It”

- Identificar o Tempo Total da Simulação:
- Tempo da Simulação = Tempo transiente + Intervalo de cada bath x 10;
  - Tempo da Simulação =  $36,3 + 14.520 * 10 = 145,183$  minutos;



# Analise – Método da Replicação



“Run It Again”



Method of Independent Replications



# Analise – Método da Replicação

- Calcule a média de cada replicação;
- Calcule a média geral de todas as replicações;
- Utilize o Intervalo de confiança apropriado para a distribuição;

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=n_0+1}^{n_0+n} x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i$$





# Exercício

