



Simulação Estacionária

Tópicos em Avaliação de Desempenho de Sistemas

Aline Oliveira aso2@cin.ufpe.br

Camila Araujo cga2@cin.ufpe.br

Iure Fé isf2@cin.ufpe.br

Janailda Silva jbs4@cin.ufpe.br



Agenda

Contextualização

Modelo e Simulação

Tipos de Modelos

Simulação Terminante e Não-Terminante

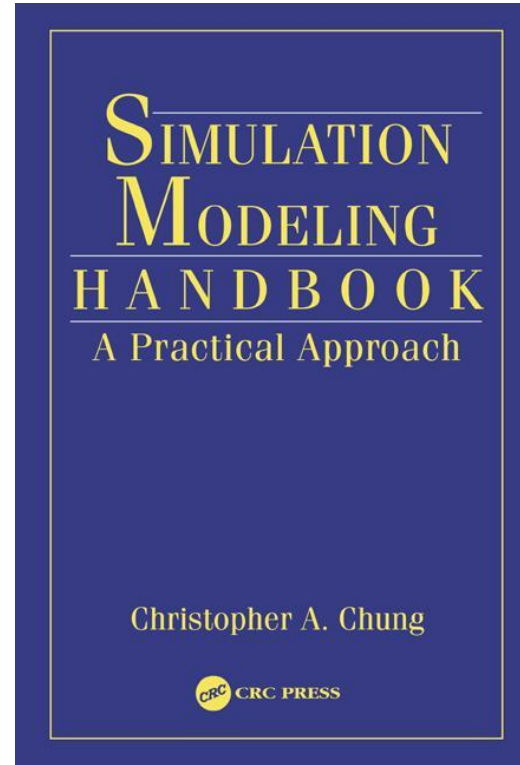
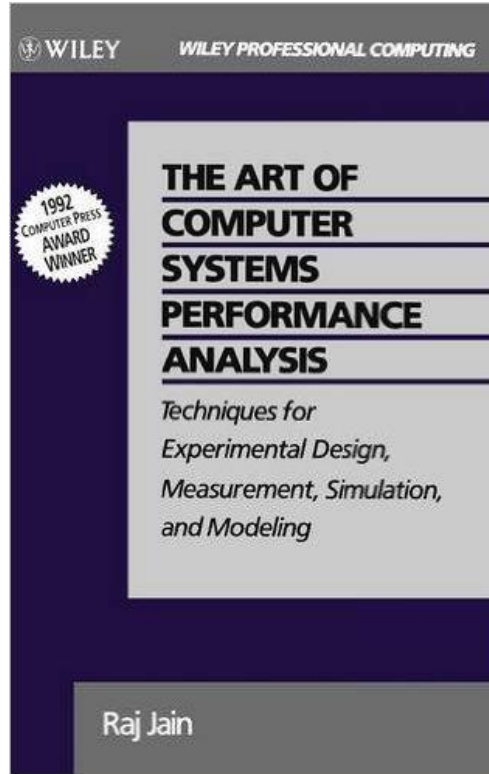
Rodada x Replicação

Viés de Inicialização

Determinando o Estado Estacionário

Ferramenta Arena

Referências

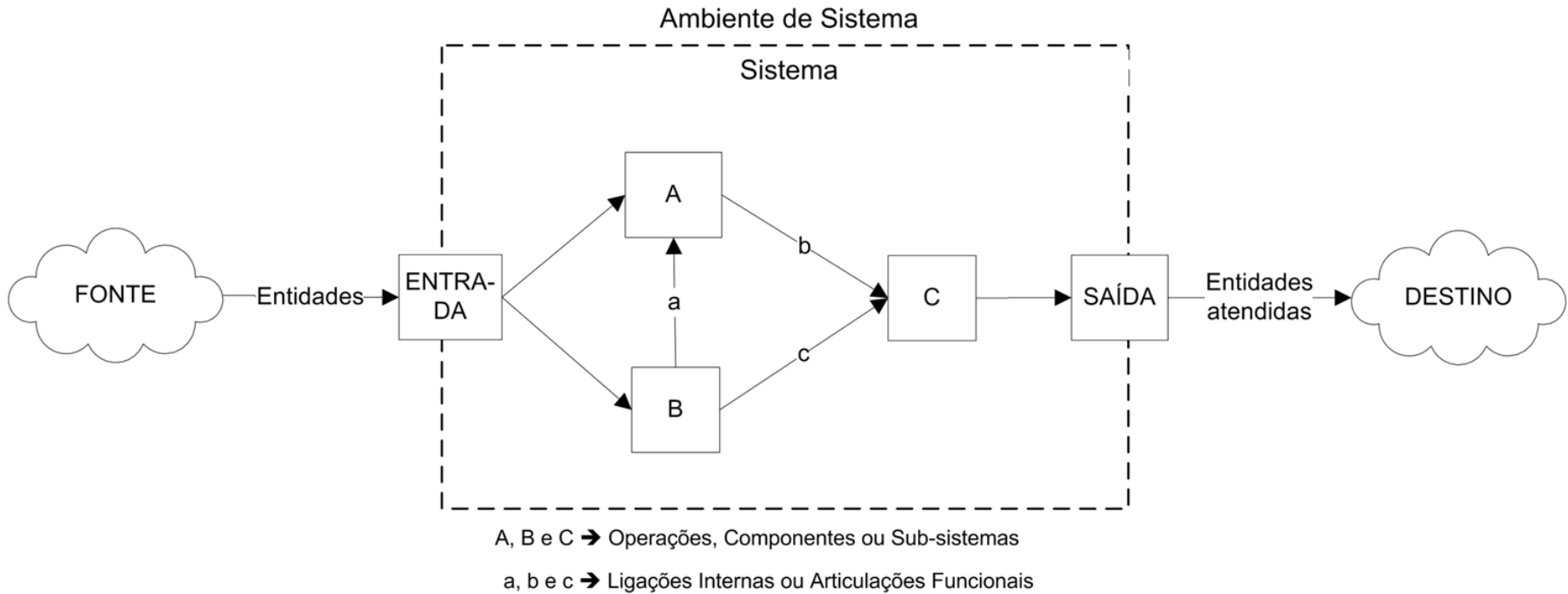


- “Sistema é um grupo de objetos que interagem de forma a alcançar um propósito comum.
- “Um conjunto de partes organizadas para algum propósito”
- Os objetos que compõe o sistema podem ser afetados através de variações externas denominado ambiente de sistema

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:

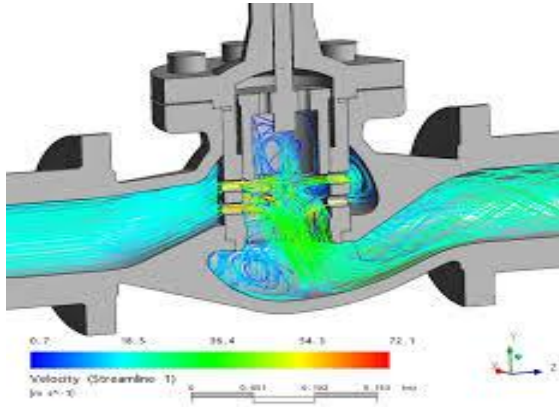
- **Modelagem analítica:** Descrição matemática do sistema.
- **Simulação:** Programa que modela funcionalidades do sistema.
- **Medição:** Dados do sistema real.



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.

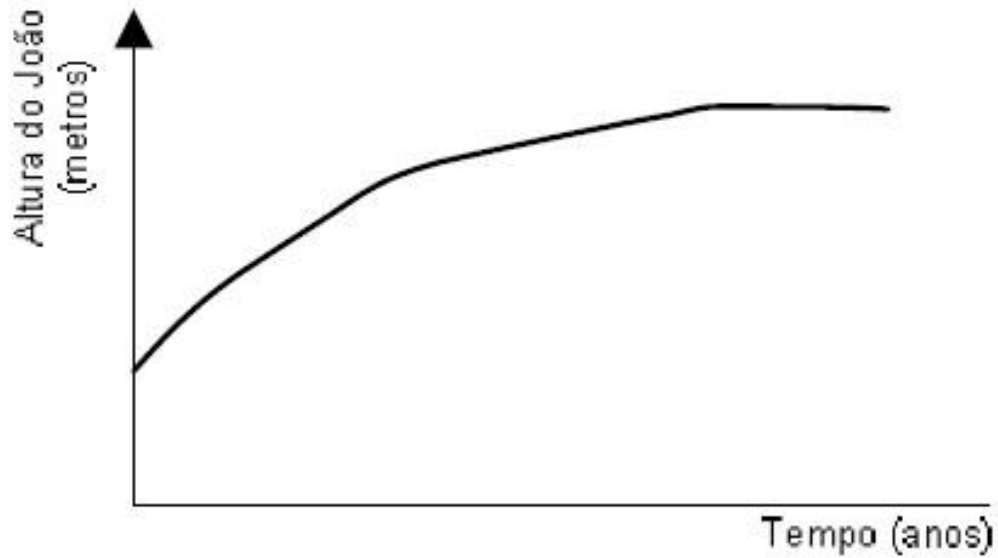


Tipos de Modelos

- 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.

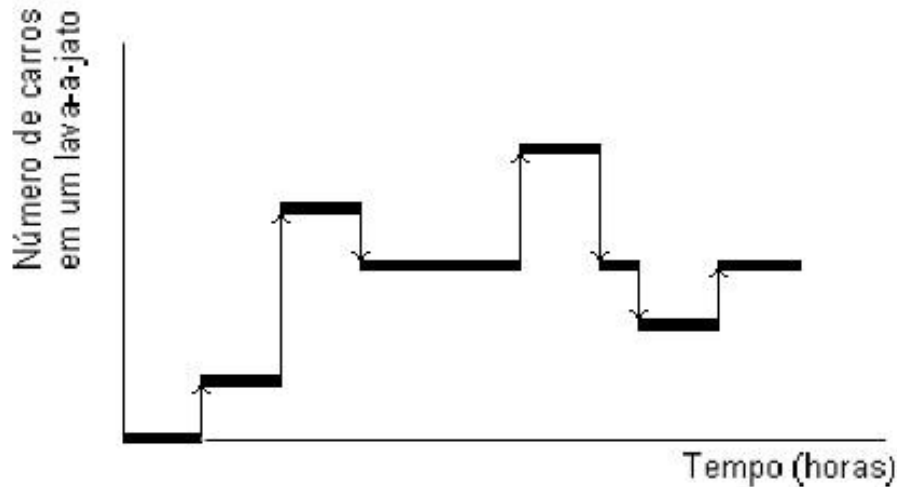


Tipos de Modelos



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
DISCRETO: Variáveis envolvidas assumem valores finitos ou infinitos numeráveis.	DETERMINÍSTICO: Variáveis assumem valores determinados.	ESTÁTICO: Estuda o sistema sem levar em conta sua variabilidade com o tempo.	TERMINANTE: Há interesse em se estudar o sistema num dado intervalo de tempo.
CONTÍNUO: Variáveis mudam constantemente com o tempo.	ESTOCÁSTICO: Variáveis assumem valores diversos segundo uma determinada distribuição de probabilidades.	DINÂMICO: Representa o sistema a qualquer tempo.	NÃO TERMINANTE: 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

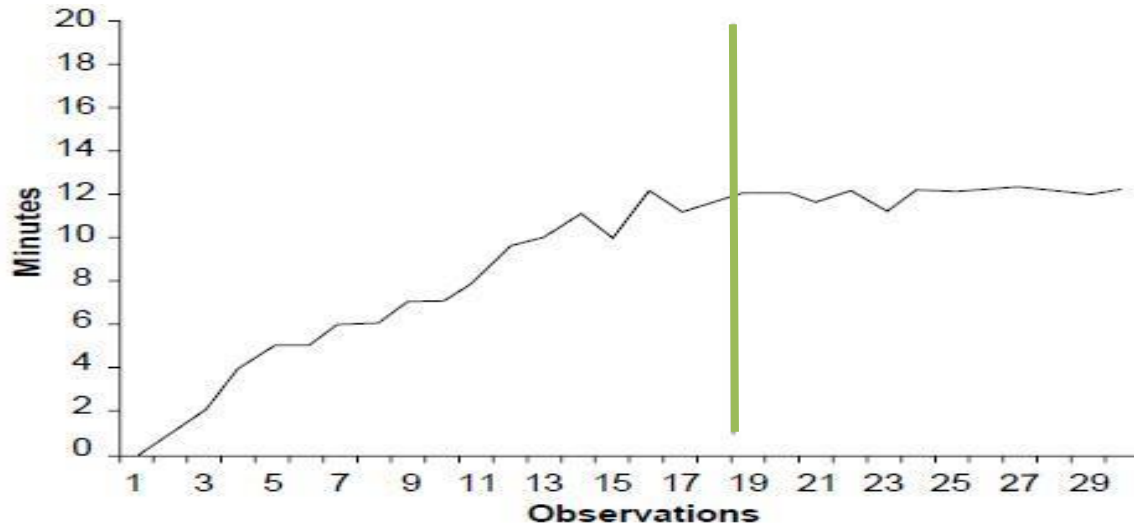
- Durante a simulação o estado transiente é rapidamente identificado e removido para que apenas dados gerados no estado estacionário possa ser observado.
- Identificação do estado estacionário
 - **Abordagem Gráfica**
 - **Regressão Linear**



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.

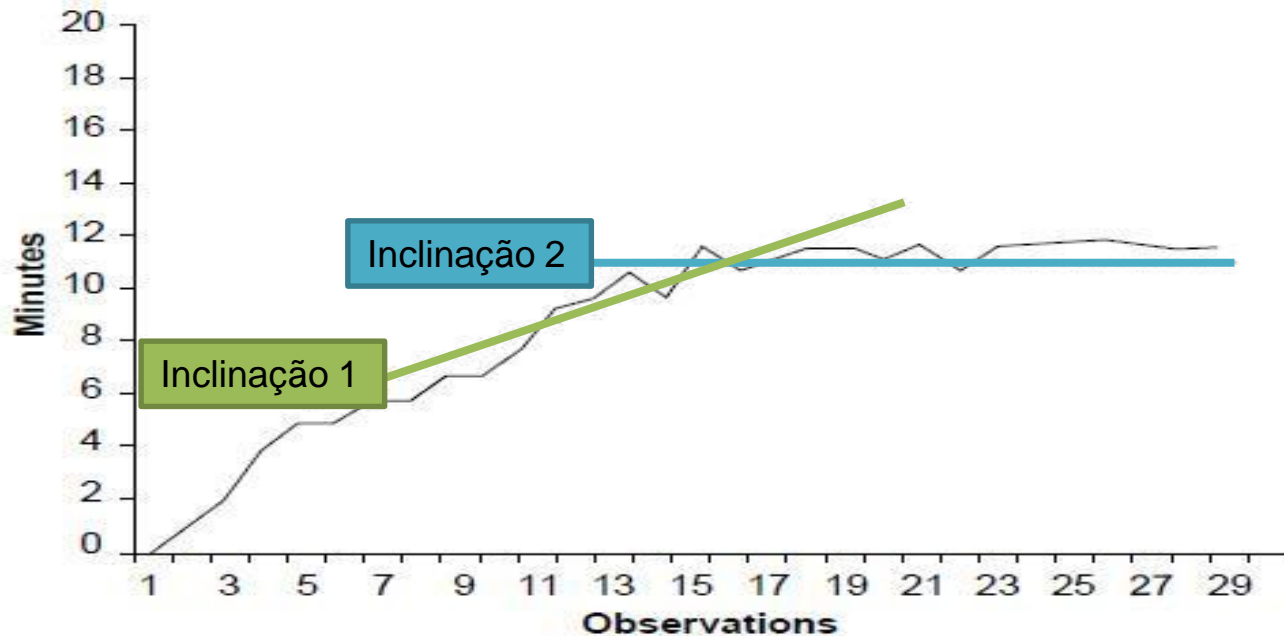
- Determina onde o estado inicial “transiente” termina.
- Verificar se o coeficiente angular da regressão linear é igual a zero.
- Caso não seja, avança o intervalo para um conjunto de observações posteriores.
- Eventualmente uma gama de dados será obtido para os quais o coeficiente de inclinação é significativo.



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

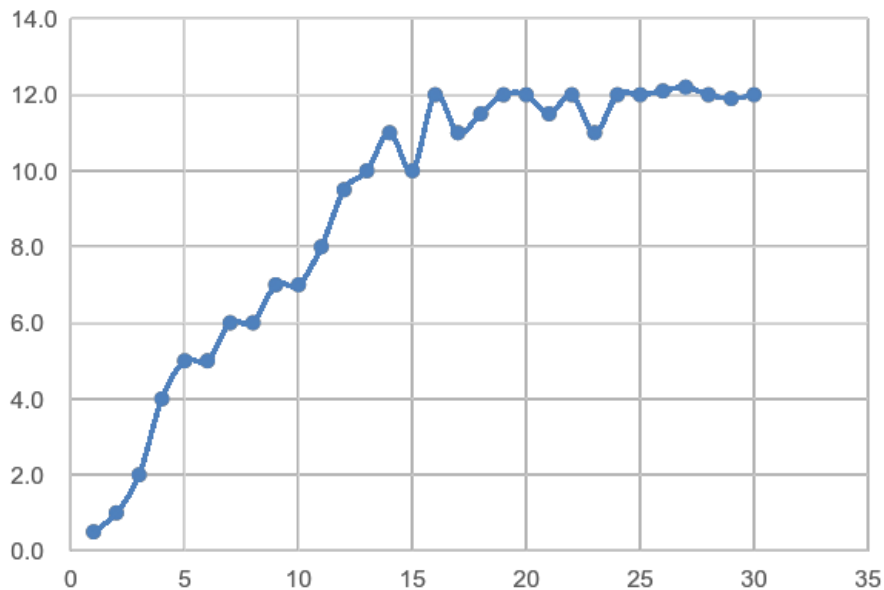
- Encontrar o período de observações warm-up, através de gráfico ou do teste do coeficiente de regressão linear
- **Gráfico:**
 - Visualizar o ponto estável;
- **Regressão linear:**
 - Intervalo de observação de 1-10, seguida avançar mais 5 observações de 10 (1-10; 6-15; 11-20; 16-25 e 21-30);
 - coeficiente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

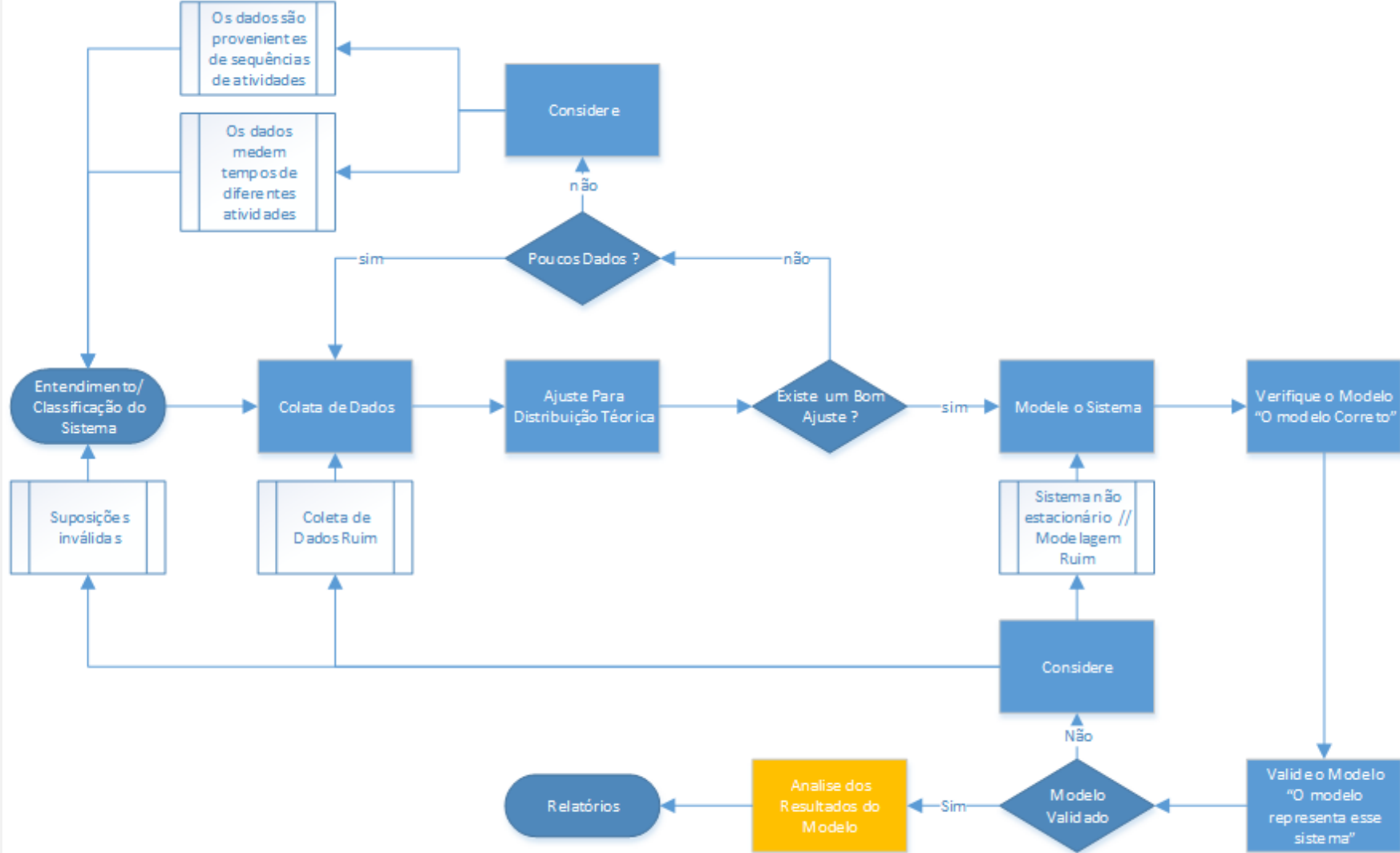
ANOVA

	<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)	0,767	0,073	10,478	0,000	0,598

= ~0

Não for = ~0

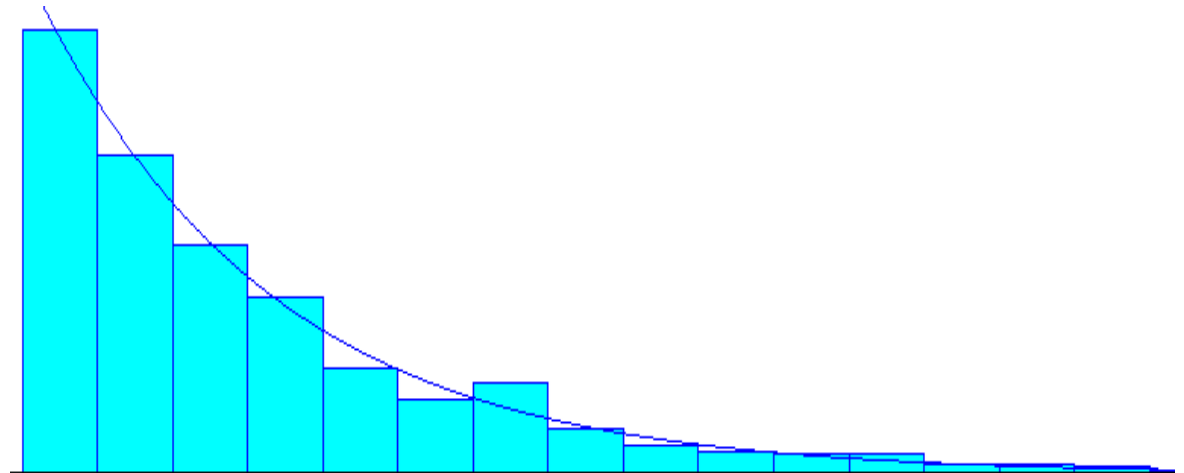




Ajuste Para Distribuição Teórica “FIT”

- 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
.....



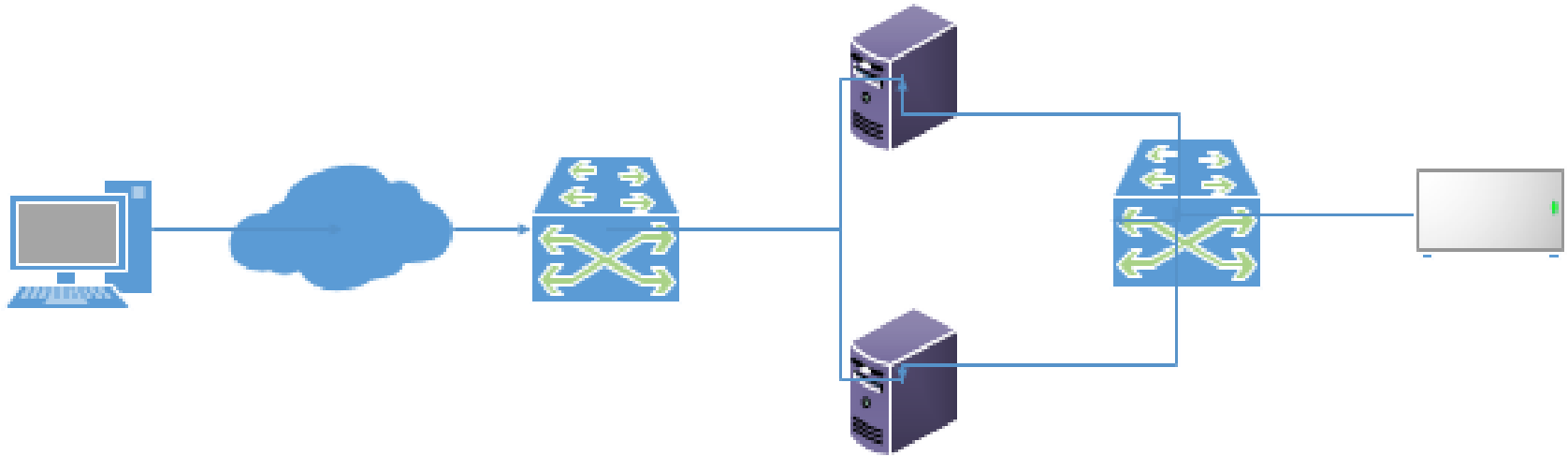


Ajuste Para Distribuição Teórica “FIT”

Não encontra nenhuma distribuição teórica

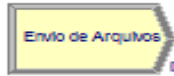
- Não há dados em quantidade Suficiente;
- Os Dados podem ser combinações de distribuições sequenciais:
 - Transmitir pela Rede;
 - Realizar uma operação;
- Os dados podem ser operações diferentes:
 - Pagamento com cartão;
 - Pagamento com boleto;

Modelagem - ARENA





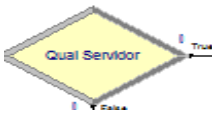
Modelagem – Blocos ARENA



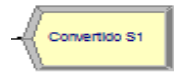
Geração de Entradas, Constante, exponencial, Normal, etc.



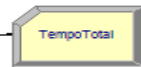
Processo, pode demorar tempos, (aleatórios ou não) para passar a entrada, Pode Controlar Recursos.



Decisão, pode dividir as entradas em mais processos.



Fim de processos.

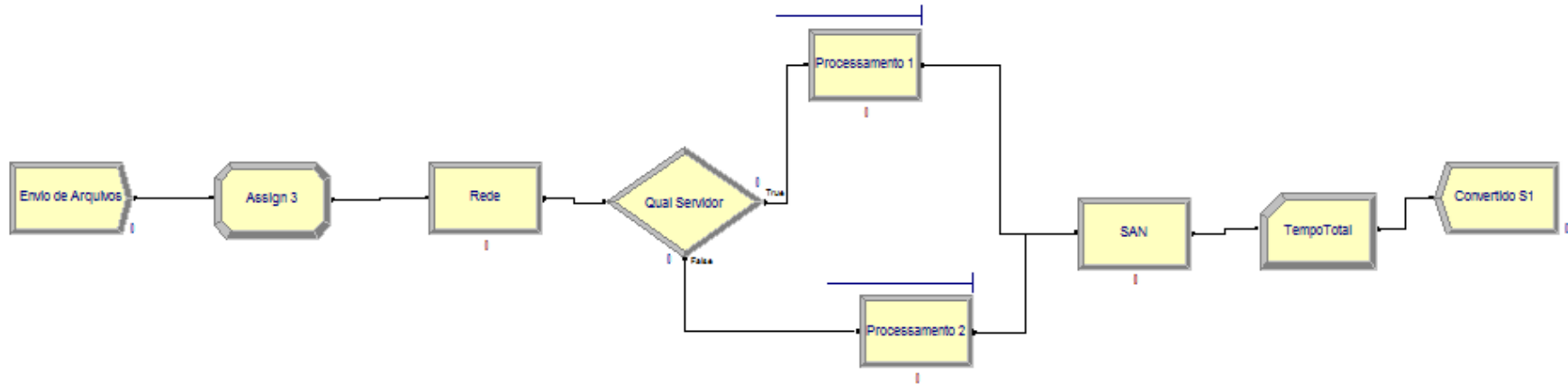


Controlam a entrada e saída por unidade de entrada.



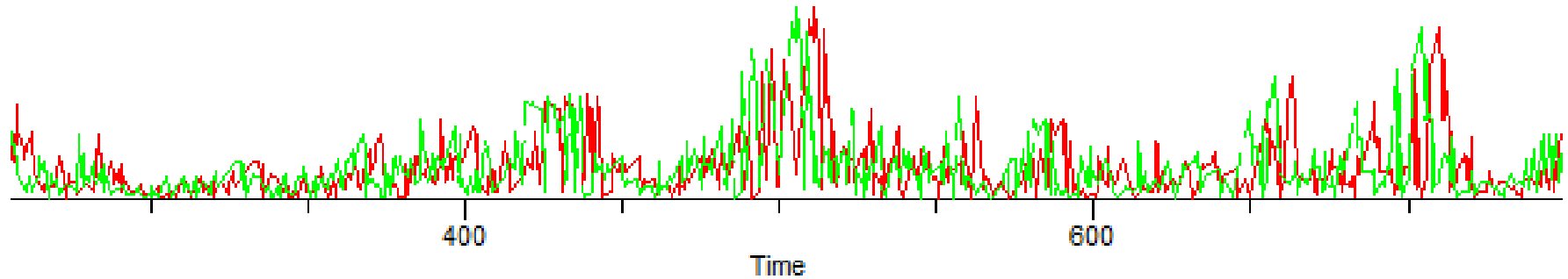
Modelagem

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





Validação dos Resultados



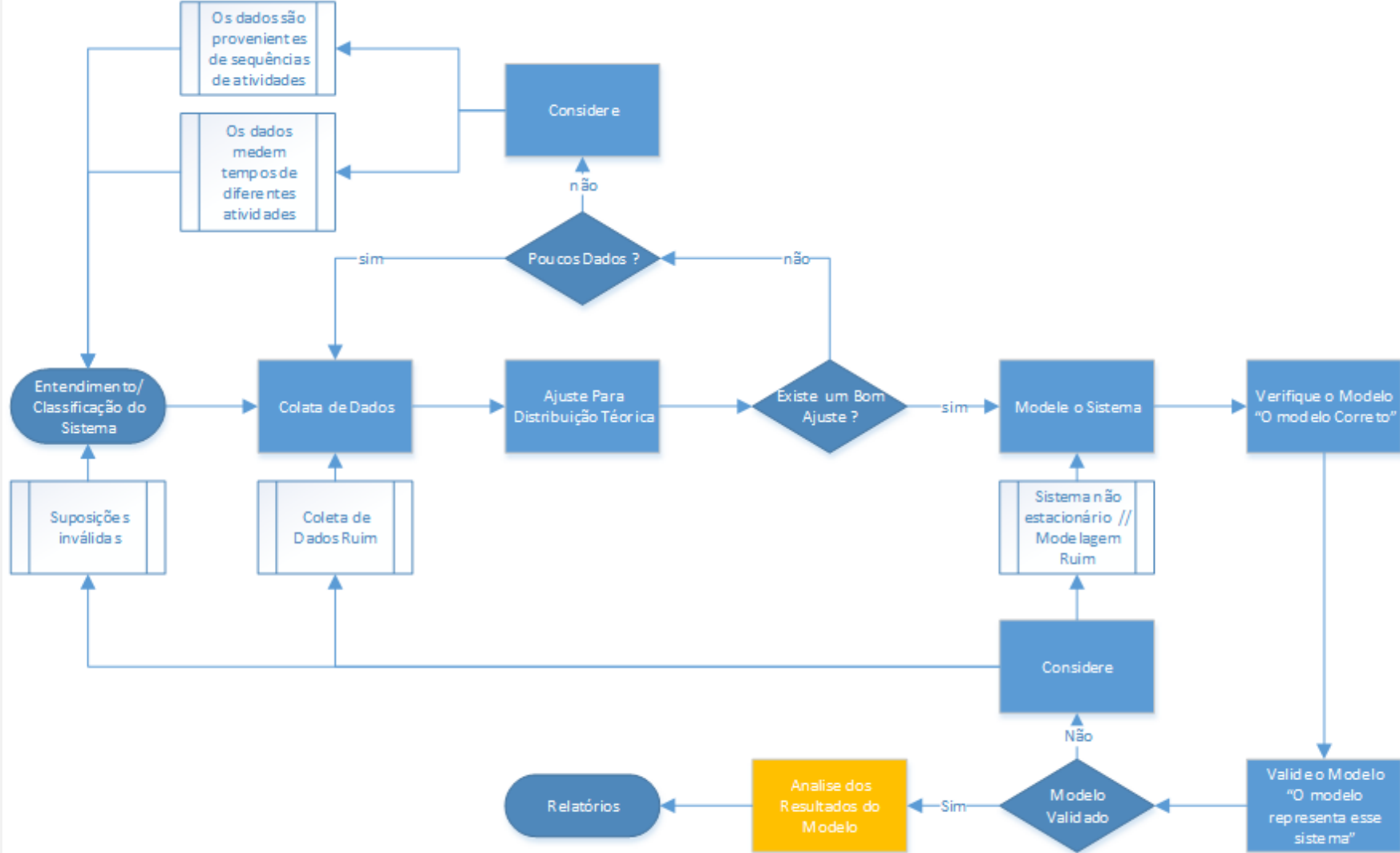
- Métodos paramétricos;
 - ANOVA;
- Métodos não paramétricos;
 - Bootstrap



Validação dos Resultados

E se o modelo não corresponder ao sistema:

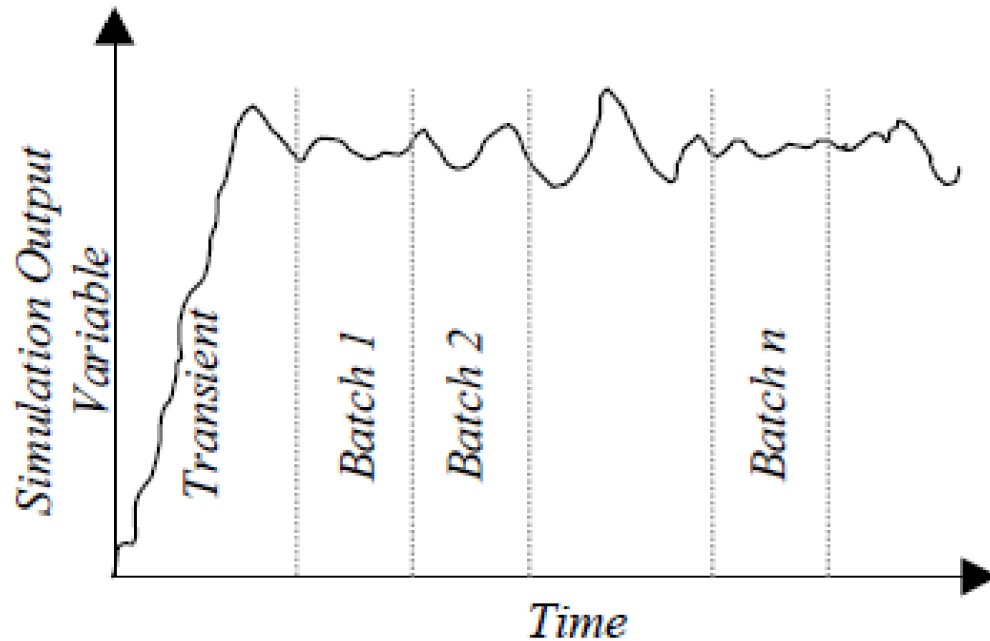
- As entradas do sistema não são estacionárias;
 - Adicionar elementos não estacionários no modelo;
- Modelagem deficiente;
- Coleta de dados deficiente;
- Suposições Inválidas:





Analise – Técnica do Loteamento

“You Cannot Study a System by Stopping It”

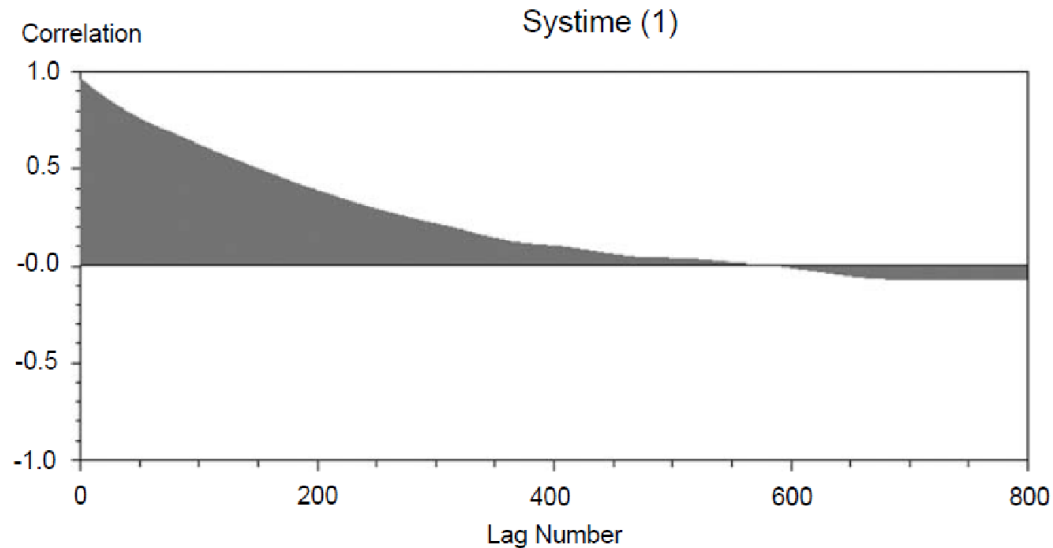




Analise – Técnica do Loteamento

“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.



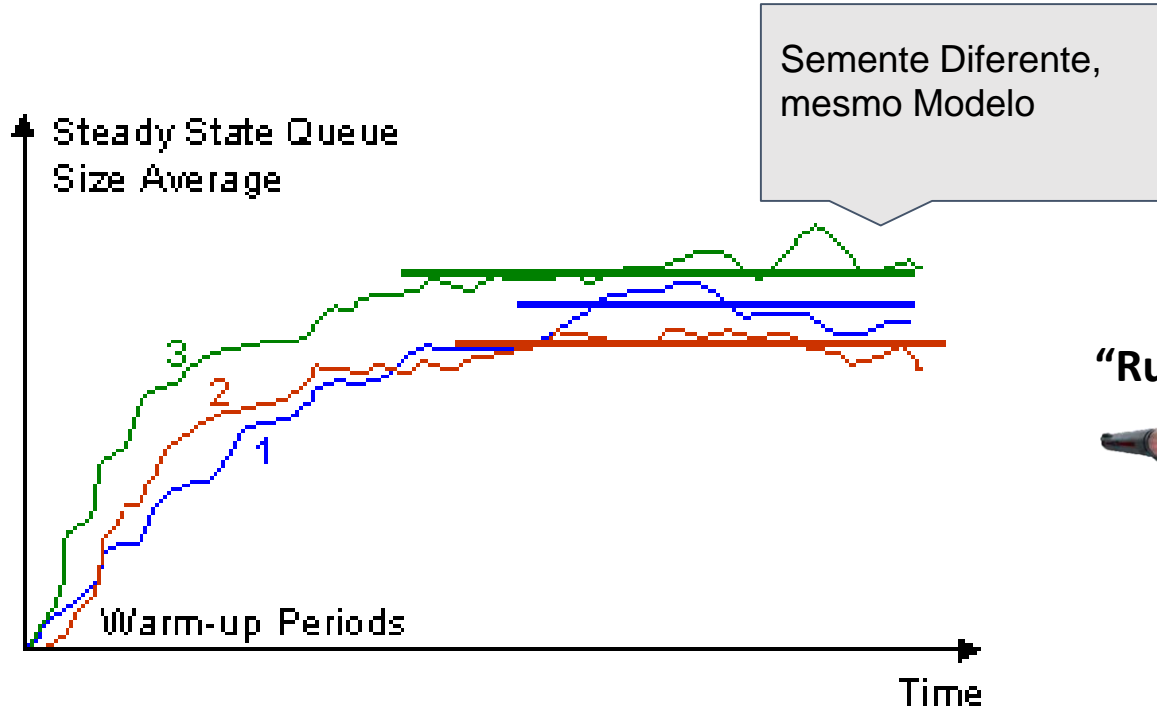
Analise – Técnica do Loteamento

“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

