

# Gestão

Sistemas de Apoio à Decisão

Cap. 5



# Simulação

Instituto Superior de Economia e Gestão  
UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA



## ▪ Simulação

- Conceitos
- Modelações

## ▪ SIMUL8

## ▪ Simulação – imitar a realidade!

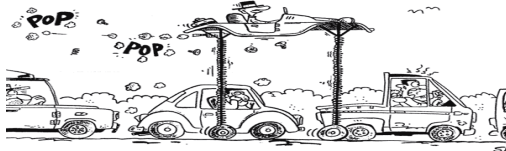
- Duplicar os voos num aeroporto!



## Simulação - Introdução

**Sistema** – coleção de entidades individuais - eventos

**Evento** - situação que provoca uma alteração instantânea e relevante no sistema



**Sistema:**

- dividido em eventos que podem ser preditos
- considerar todas as possíveis interações entre os eventos
- altera-se com o decorrer do tempo – **relógio** → mecanismo de atualização do tempo (fixo ou até ao próximo evento)

3

## Simulação - Introdução

**Princípios:**

- A analista constrói o modelo do sistema em estudo
- Identifica todos os eventos e possíveis interações
- Por computador simula o funcionamento do sistema adotando uma de várias estratégias de gestão possíveis
- Repetindo a simulação com diferentes estratégias de gestão fica apto a escolher a mais favorável

Simulação permite de forma simples responder a perguntas de tipo: “e se”?

4

## Simulação - Exemplo

Um banco com um caixa a atender. Chega uma pessoa de **10 em 10 minutos**.

Acabou de chegar uma pessoa e o servidor estava vazio. Os tempos de atendimento são os representados na tabela seguinte:

Cliente n.º	1	2	3	4	5	...
Tempo de atendimento (min)	22	8	2	5	10	...



## Simulação - Exemplo

Relógio (min)	Evento	N.º Clientes	Instante da Próxima		Próximo Evento
			Chegada	Partida	
0	-				
	-				-
	-				
	-				
	-				
--	-				

## Simulação - Exemplo

**Eventos** - Gerados pela geração de NPA's (exemplo - instantes de chegada; tempos de serviço) tendo em conta as distribuições de probabilidade respectivas

**NA's** - Uma sequência de **Números Aleatórios** com distribuição

**F** é qualquer sequência de valores que do ponto de vista estatístico possam ser considerados como resultados plausíveis da realização de experiências aleatórias e independentes cuja v.a. associada tem distribuição **F** (lançamento de um dado equilibrado)








**NPA's** - obtidos por métodos aritméticos de geração de números aleatórios; dado o 1º valor (semente) ficam todos conhecidos!

Excel; SIMUL8

## SIMUL8

**Objetos:**

- **Pontos de Entrada** 
- **Centros de Trabalho** - onde é feito o trabalho/serviço  Work Center 1
- **Filas de Espera** - espera até ser possível passar para o objeto seguinte 
- **Recursos** - pessoas, ... - necessários nos centros de trabalho 
- **Pontos de Saída** 

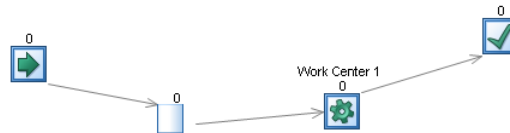
SIMUL8

# SIMUL8

## Setas de Fluxo de Trabalho:

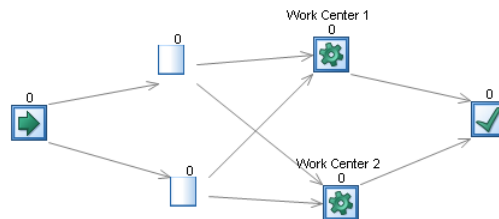
- Indicam o caminho que será seguido pelos fluxos durante a simulação

SHIFT + movimentar o rato entre o objeto inicial e o final



- Copiar Objetos com as respetivas ligações:

CTRL + selecionar o objeto e "largar" no local onde se pretende a cópia



SIMUL8

# SIMUL8 – Pontos de Entrada

Nome →

Ver as distribuições de probabilidade! →

Distribuição para NPA's →

Chegadas não automáticas! Lidas de ficheiros →

Alerta para possível perdas nas entradas! →

Colocar informação →

SIMUL8

# SIMUL8 – Pontos de Entrada

**SIMUL8**

Work Entry Point Properties

Input Work Item Type:

Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes)

Average: 2

Distribution: Exponential

Batching

Batch size leaving this object:

Fixed Value: 1

Distribution: Fixed

Alterar o desenho e pôr título no objeto

# SIMUL8 – Pontos de Entrada

**SIMUL8**

Alterar o desenho e pôr título no objeto

Work Entry Point Properties

Input Work Item Type:

Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes)

Average: 2

Distribution: Exponential

Graphics: Work Enters Object:

Work Entry Point 1

Title Image

Count

Simulation Object Title

Show Title on Simulation Window

Position and Wrap

Offset to XY coordinate of the center of the title text:

X Offset: 15 Y Offset: -24

Wrap text beyond 0 pixels (0 = don't wrap, min value = 20)

# SIMUL8 – Centros de Trabalho

SIMUL8

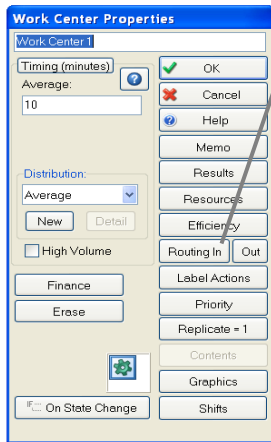
The screenshot displays three overlapping dialog boxes in the SIMUL8 interface. On the left is the 'Work Center Properties' dialog for 'Work Center 1', with 'Average' timing set to 10 minutes and 'Distribution' set to 'Average'. In the center is the 'Efficiency' dialog, where 'Auto' is selected and 'Efficiency %' is set to 100. On the right is the 'Routing Out From' dialog, showing 'Discipline' options like 'Ignore Blocked Routes' and 'Circulate', and a list of destinations including '1: Work Complete 1'. Arrows point from the text 'Definição de recursos' to the 'Resources' button in the 'Work Center Properties' dialog and the 'Efficiency' dialog.

# SIMUL8 – Centros de Trabalho

SIMUL8

The screenshot displays two overlapping dialog boxes. On the left is the 'Work Center Properties' dialog for 'Work Center 1'. On the right is the 'Routing In To: Work Center 2' dialog, which shows a list of sources including '1: Queue for Work Center 1'. The 'Discipline' section has 'Priority' selected. Arrows point from the text 'Controlar de onde chega o trabalho e como chega' to the 'Routing In' button in the 'Work Center Properties' dialog and the 'Priority' radio button in the 'Routing In To' dialog. Below the dialog boxes, the text 'Seleciona a entrada da 1ª possibilidade de onde exista trabalho para entrar neste centro' is displayed.

# SIMUL8 – Centros de Trabalho



**Work Center Properties**  
Work Center: 1

Timing (minutes):  
Average: 10

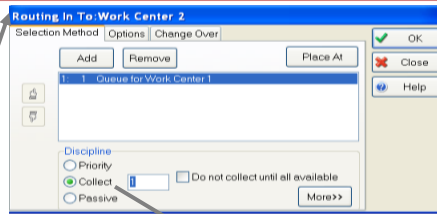
Distribution:  
Average: [dropdown]  
New [button] Detail [button]

High Volume

Finance [button] Erase [button]

On State Change [button]

OK [button] Cancel [button] Help [button] Memo [button] Results [button] Resources [button] Efficiency [button] Routing In [button] Out [button] Label Actions [button] Priority [button] Replicate = 1 [button] Contents [button] Graphics [button] Shifts [button]



**Routing In To-Work Center 2**  
Selection Method | Options | Change Over

Add [button] Remove [button] Place At [button]

1 Queue for Work Center 1

Discipline:  
 Priority  
 Collect  
 Passive  
 Do not collect until all available

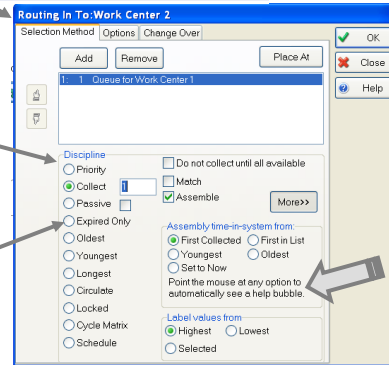
More >> [button]

OK [button] Close [button] Help [button]

SIMUL8

Outras disciplinas

aceita trabalhos que tenham excedido a "shelf life" na FILA



**Routing In To-Work Center 2**  
Selection Method | Options | Change Over

Add [button] Remove [button] Place At [button]

1 Queue for Work Center 1

Discipline:  
 Priority  
 Collect  
 Passive  
 Expired Only  
 Oldest  
 Youngest  
 Longest  
 Circulate  
 Locked  
 Cycle Matrix  
 Schedule

Do not collect until all available  
 Match  
 Assemble

Assembly time-in-system from:  
 First Collected  
 First in List  
 Youngest  
 Oldest  
 Set to Now  
Point the mouse at any option to automatically see a help bubble.

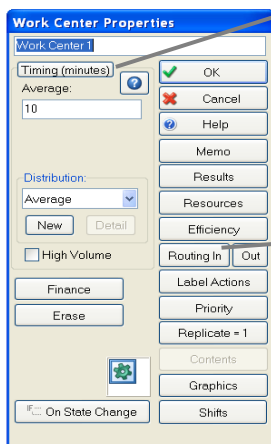
Label values from:  
 Highest  
 Lowest  
 Selected

More >> [button]

OK [button] Close [button] Help [button]

16

# SIMUL8 – Centros de Trabalho



**Work Center Properties**  
Work Center: 1

Timing (minutes):  
Average: 10

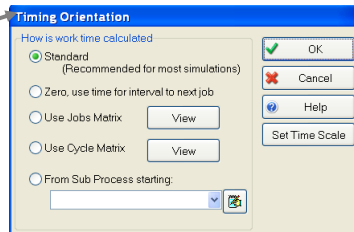
Distribution:  
Average: [dropdown]  
New [button] Detail [button]

High Volume

Finance [button] Erase [button]

On State Change [button]

OK [button] Cancel [button] Help [button] Memo [button] Results [button] Resources [button] Efficiency [button] Routing In [button] Out [button] Label Actions [button] Priority [button] Replicate = 1 [button] Contents [button] Graphics [button] Shifts [button]



**Timing Orientation**  
How is work time calculated

Standard (Recommended for most simulations)

Zero, use time for interval to next job

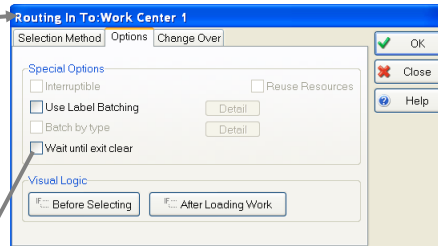
Use Jobs Matrix [button] View [button]

Use Cycle Matrix [button] View [button]

From Sub Process starting: [dropdown] [button]

OK [button] Cancel [button] Help [button] Set Time Scale [button]

SIMUL8



**Routing In To-Work Center 1**  
Selection Method | Options | Change Over

Special Options:  
 Interruptible  
 Use Label Batching [button] Detail [button]  
 Batch by type [button] Detail [button]  
 Wait until exit clear  
 Reuse Resources

Visual Logic:  
F: Before Selecting  
F: After Loading Work

OK [button] Close [button] Help [button]

Só aceita trabalho quando a saída deste centro já for possível!

17



# SIMUL8 – Filas

SIMUL8

Nº máximo de itens

Tempo máximo e mínimo que é permitido ficar na fila

Disciplina da Fila se diferente de FIFO

Juntamente com o "Expired Only" no Centro de Trabalho controla o tempo que um item pode ficar numa Fila

# SIMUL8 – Pontos de Saída

SIMUL8

Limite ao nº de tarefas a processar



## Itens de Trabalho:

- Fluxos de movimento (clientes; doentes; produtos na fábrica)
- Trabalho que é realizado na organização a simular
- Ao circular fazem alterar os números dos objetos
  - São arrumados em áreas de arrumação
  - Ativam centros de trabalho
  - Aumentam as saídas
  - ...
- Têm um TYPE e podem ter etiquetas com valores eventualmente diferentes

## Simulação – Exemplo 1



Num posto clínico existe um único oftalmologista para atender os doentes. A chegada destes ao posto segue uma distribuição Poisson de média 3 por hora. O oftalmologista consegue ver, em média, 5 doentes por hora, podendo o tempo que cada doente leva a ser atendido ser aproximado por uma v.a. Exponencial.

Utilizando o [SIMUL8](#), simule o funcionamento do sistema até terem sido vistos 20 doentes, de forma a saber:

- a) o tempo médio de espera dos doentes;
- b) o tempo durante o qual o médico não terá doentes para ver.

Suponha que parte de um instante inicial no qual não há doentes no posto.

# SIMUL8 – Resultados das Entradas

**Work Entry Point Properties**

Work Entry Point 1

Input Work Item Type:   
 Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes)  
 Average: 10

Distribution: Exponential

First at start time  
 Unlimited arrivals  
 None  File  
 Schedule Sheet

Finance Erase  Ignore hints about lost Work Items

OK Cancel Help Memo Results Batching Routing Out Label Actions Graphics

SIMUL8

**Work Entry Results**

Work Entry Point 1

Number of work items entered this entry point: 0  
 Number of work items lost: 0  
 Number of work items entered remainder of simulation: 0

OK

# SIMUL8 – Resultados das Filas

**Storage Bin Properties**

Properties Visual Logic

Queue for Work Center 1

Capacity:  Infinite  Infinite

Shelf Life:  None  None

Min Wait Time: (minutes)

Prioritize  
 LIFO  
 High Volume  
 Segregate Results

Finance Erase

OK Cancel Help Memo Results Start-Up Contents Graphics

SIMUL8

**Storage Bin Results**

Queue for Work Center 1

Number of work items in this storage:  
 Currently: 0  
 Minimum: 0.00  
 Average: 0.00  
 Maximum: 0.00  
 Total Entered: 0

Graph  
 Sync with other results  
 Plot every change

Queuing Time:	All	Non-Zeros
Minimum:	n/a	n/a
Average:	n/a	n/a
Maximum:	n/a	n/a
Standard Deviation:	n/a	
Number of non zero queuing times:		0

Queuing Time within limit:  
 Time limit: 10 minutes  
 Percentage within limit: n/a%

OK

# SIMUL8 – Resultados dos Serviços



**Work Center Properties**

Work Center 1

Timing (minutes) ?

Average: 12

OK Cancel

Help

Memo

Results

Resources

Efficiency

Routing In Out

Label Actions

Priority

Replicate = 1

Contents

Graphics

Shifts

Finance

Erase

High Volume

Distribution: Exponential

New Detail

On State Change

**Work Center Results**

Work Center 1 ✓ OK

**Number of work items:**

Currently in Work Center:	0
Minimum:	0.00
Average:	0.00
Maximum:	0.00
Completed Jobs:	0

Graph ?

Sync with other results

Plot every change

**Percent of time:**

Awaiting Work:	0.00
Working:	0.00
Blocked:	0.00
Stopped:	0.00
Change Over:	0.00
Off Shift:	0.00
Resource Starved:	0.00

SIMUL8

# SIMUL8 – Resultados das Saídas



**Work Complete Properties**

Work Complete 1

OK

Cancel

Help

Memo

Results

Graphics

Finance

Erase

Halt Simulation at Limit: 10000

Segregate Results

High Volume

File

**Work Complete Results**

Work Complete 1 ✓ OK

Work Completed: 0

**Time in system:**

All	All
Minimum:	0.00
Average:	0.00
Maximum:	0.00
Standard Deviation:	0.00

**Time in system within limit:**

Time limit: 10 minutes

Percentage within limit: 0%

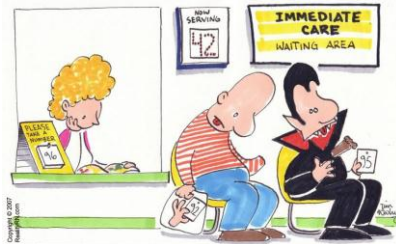
SIMUL8

SIMUL8

▪ Velocidade!

## Simulação – Exemplo 1 (cont.)

Considerando o exemplo anterior simule o funcionamento do sistema durante uma semana.



**Nota** – Os resultados que temos visto são os resultados de uma só corrida (uma só semana). Estamos interessados nos resultados de diversas corridas – ou seja, de uma **experiência** (várias semanas)!



## Simulação – Exemplo 2

Num centro de saúde existem dois médicos de clínica geral para atender os doentes. A chegada destes ao posto segue uma distribuição Poisson de média 10 por hora. Um dos médicos consegue ver, em média, 5 doentes por hora, enquanto o outro apenas vê, em média, 3 doentes por hora, podendo o tempo que cada doente leva a ser atendido por cada um dos médicos ser aproximado por uma v.a. Exponencial. Os doentes são vistos por um qualquer dos médicos.

Suponha que parte de um instante inicial no qual não há doentes no centro e utilize o **SIMUL8**, para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

- a) o tempo médio de espera dos doentes;
- b) o tempo durante o qual os médicos não terão doentes para ver;
- c) se será preciso contratar mais médicos
- d) Repita o problema mas supondo que o valor médio das chegadas baixa para 6 por hora

28



## Simulação – Exemplo 3

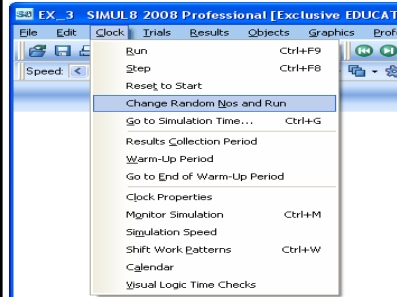
Num dos serviços de Loja do Cidadão existem 3 balcões para atender os clientes. A chegada destes segue uma distribuição Poisson de média 20 por hora, contudo, 20% desistem. O tempo de atendimento em cada um dos diferentes balcões é idêntico, podendo ser aproximado por uma v.a. Exponencial de média 15 minutos por cliente.

Suponha que parte de um instante inicial no qual não há clientes na Loja e utilize o **SIMUL8**, para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

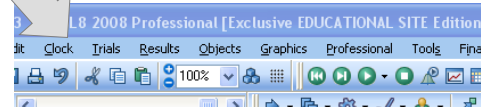
- a) o tempo médio de espera dos clientes;
- b) o tempo durante o qual não haverá clientes no sistema;
- c) se será preciso pôr mais balcões a funcionar
- d) Repita o problema mas supondo que o valor médio das chegadas baixa para 10 por hora

29

# Simulação – NPA's

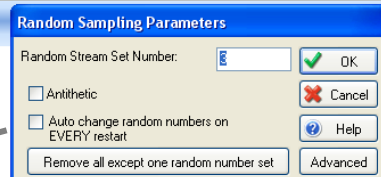


Para utilizar NPA's diferentes em diferentes simulações



**Nota:** Por defeito, em 2 corridas diferentes são utilizados os mesmos NPA's – **Comparar estratégias!**

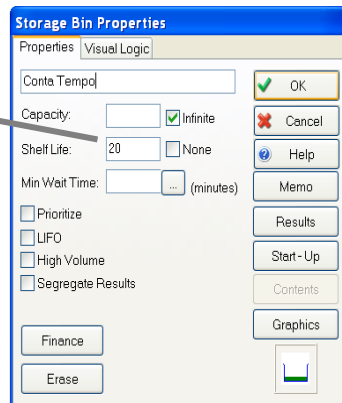
Para utilizar NPA's diferentes em cada nova "corrida"



# SIMUL8 – Desistências por Tempo

10% dos clientes que estão à espera há mais de 20 min desistem!

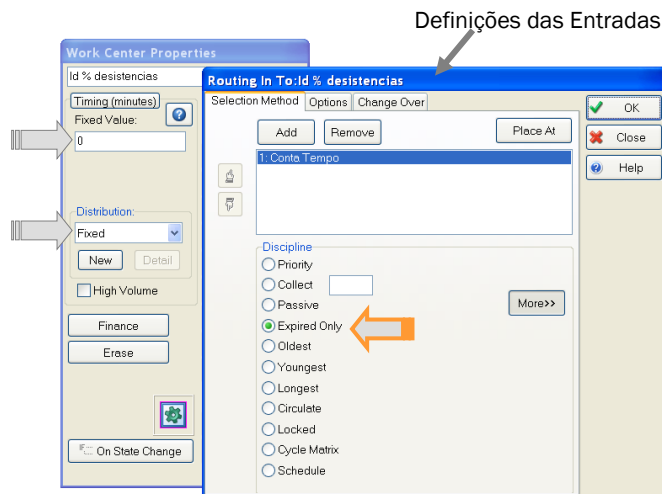
Criar uma fila com tempo de espera limitado



Criar um centro de trabalho que aceite os trabalhos que excederam o tempo máximo!

# SIMUL8 – Desistências por Tempo

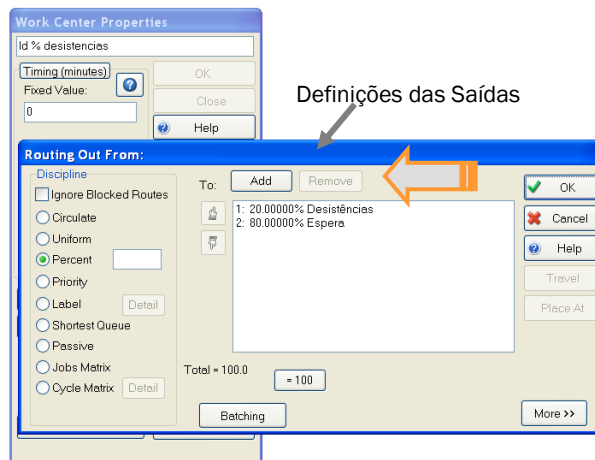
Centro de Trabalho que aceita e reencaminha os “fora de prazo”



32

# SIMUL8 – Desistências por Tempo

Centro de Trabalho que aceita e reencaminha os “fora de prazo”



33



## Simulação – Exemplo 4

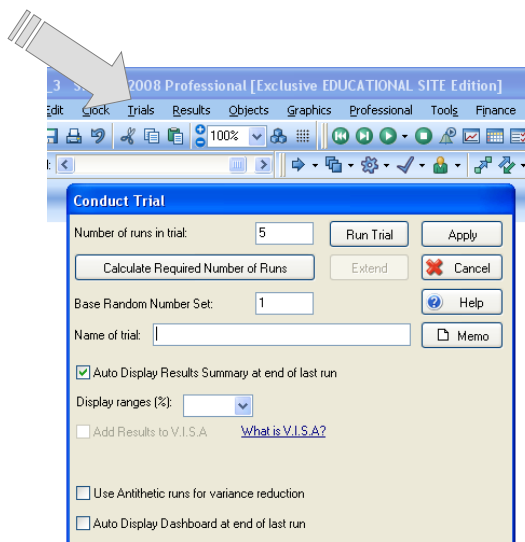
Num dos serviços de uma estação dos CTT existem 2 balcões para atender os clientes. A chegada destes segue uma distribuição Poisson de média 10 por hora, contudo, 20% dos clientes desistem ao fim de 15 min de espera. O tempo de atendimento em cada um dos diferentes balcões é idêntico, podendo ser aproximado por uma v.a. Exponencial de média 20 minutos por cliente.

Utilize o **SIMUL8** para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

- o tempo médio de espera dos clientes;
- o tempo durante o qual não haverá clientes no sistema;
- Compare o funcionamento do atual sistema com outro em que considera: i) mais um balcão; ii) menos um balcão;
- Proponha a melhor alternativa de funcionamento.

34

## Simulação – Experiências



- Ao simular o funcionamento durante uma semana não sabemos se é uma semana média; boa ou má!
- **Experiência!**

35

## Simulação – Exemplo 3 (cont.)

Analisar os resultados do exemplo 3 com base na realização de uma experiência com 30 “corridas”.



36

## Exemplo 3 (cont.)

**Work Center Properties**

Balcão 2

Timing (minutes)

Average: 15

Distribution: Average

Buttons: New, Detail, Finance, Erase, IF... On State Change

**Work Center Results**

Balcão 2

**Number of work items:**

Currently in Work Center:	1
Minimum:	0.00
Average:	0.65
Maximum:	1.00
Completed Jobs:	102

Graph:  Sync with other results,  Plot every change

**Percent of time:**

Awaiting Work:	34.05
Working:	65.95
Blocked:	0.00
Stopped:	0.00
Change Over:	0.00
Off Shift:	0.00
Resource Starved:	0.00

Callout: Click Right on any value that shows the "results cursor" to add it to the results summary window.

37

## Exemplo 3 (cont.)



ex2 SIMUL8 Results Summary

**Results**

ex2 [Low 95% Range](#) [Average Result](#) [High 95% Range](#)

<b>Work Complete 1</b>	Average Time in System	20.34	20.88	21.42
<b>Queue for Work Center 1</b>	Average Queuing Time	3.95	4.45	4.95
	St Dev of Queuing Time	6.31	6.93	7.54
	Working %	66.47	68.02	69.57
<b>Balcão 1</b>	Working %	65.83	67.31	68.80
<b>Balcão 2</b>	Working %	65.22	66.63	68.04
<b>Desitem</b>	Average Time in System	0.65	0.65	0.65

38

## Exemplo 3 (cont.)



EX\_3 SIMUL8 2008 [Exclusive EDUCATIONAL SITE Edition]

File Edit Clock Trials Results Objects Graphics Professional Tools Finance Window Help

Speed: x

ex2 SIMUL8 Result Manager

**SIMUL8 CORPORATION Results Manager**

KPIs | [KPI History](#) | [All Object Results](#) | [Custom Reports](#)

		exp3   Average	ex1 Average	ex2 Average
Work Complete 1	Average Time in System	20.90635	20.94954	20.97709
Queue for Work Center 1	Average Queuing Time	0	0	4.4865
Queue for Work Center 1	St Dev of Queuing Time	0	0	6.32597
Balcão 1	Working %	0	0	68.02282
Balcão 2	Working %	0	0	67.31494
Balcão 3	Working %	0	0	66.63325
Desitem	Average Time in System	0	0	0.65299

**SIMUL8 CORPORATION Results Manager**

KPIs KPI History **All Object Results** Custom Reports

- All Objects
  - Work Entry Points
  - Storage Bins
  - Work Centres
  - Work Exit Points

### Work Entry Points

	Number Entered	Number Lost	Net Number Entered
Work Entry Point 1	813	0	813

### Storage Bins

	Minimum queue size	Average queue size	Maximum queue size	Minimum Queuing Time	Minimum (non-zero) Queuing Time	Average Queuing Time	Average (non-zero) Queuing Time	Maximum Queuing Time	Number of non zero queuing times	% Queued less than time limit	"Queued less than" time	St Dev of Queuing Time	Current Contents	Items Entered
Queue for Work Center 1	0	97,558	171	0	0,069	367,283	374,016	622,907	491	5,6	10	183,203	171	671

**44**

**SIMUL8 Result Manager**

**SIMUL8 CORPORATION Results Manager**

KPIs KPI History **All Object Results** Custom Reports

### Work Centres

	Waiting %	Working %	Blocked %	Stopped %	Number Completed Jobs	Minimum Use	Average use	Maximum Use	Current Contents	Change Over %	Off Shift %	Resource Starved %
Balcão 1	0,217	99,783	0	0	172	0	0,996	1	1	0	0	0
Balcão 2	0,435	99,565	0	0	153	0	0,994	1	1	0	0	0
Balcão 3	0,534	99,466	0	0	172	0	0,994	1	1	0	0	0
Work Center 4	100	0	0	0	142	0	0	1	0	0	0	0

### Work Exit Points

	Average Time in System	Number Completed	"In System less than" time	% In System less than time limit	St.Dev of	Maximum Time in System	Minimum Time in System
Work Complete 1	381,626	497	10	0,805	181,664	651,312	4,291
Desitem	0,653	142	100	100	0	0,653	0,653

**45**

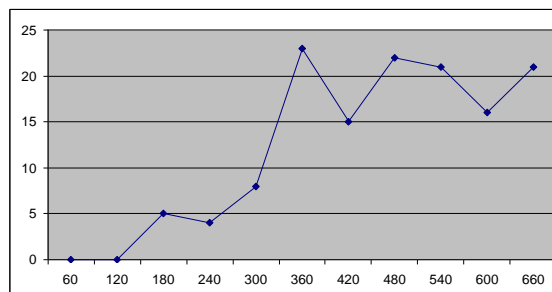
## SIMUL8 – Validação do modelo

- **Verificação** – o modelo representa o sistema real?
  - Se o sistema (ou parte) já existe, trabalhar com dados reais e analisar o comportamento do sistema simulado face ao real
  - Se o sistema é novo, validar o comportamento face ao esperado, para os dados considerados
- **Exploração visual**
  - mostrar ao cliente o modelo criado e explorá-lo
  - Adequar o tempo de simulação com o cliente, em função das medidas de performance pretendidas

46

## SIMUL8 – Validação do modelo

- **Tempo de Aquecimento** – para simular sistemas que estão sempre a funcionar (Hospital; fábrica), não reiniciam diariamente (como numa loja; aeroporto); durante este período os resultados não são contabilizados
- Como escolher este tempo?
  - Fixar um período menor que o a simular (ex. 60 min numa simulação de 1 semana)
  - Correr durante esse período por repetidas vezes, contabilizando a diferença entre as saídas do sistema
  - Até parecer mais estável!



360 min!

47

## SIMUL8 – Validação do modelo

### Validade dos Resultados

- Correr o modelo com vários conjuntos de NPAs
  - Média e Desvio padrão inversamente proporcionais à raiz quadrada do nº de resultados obtidos
  - Calcular o intervalo de confiança para a média a 95%
- 
- Escolher entre alternativas (mesmas sequências de NPAs) - se há interseção dos IC, fazer mais corridas!

SIMUL8 Result Manager				
SIMUL8 CORPORATION Results Manager				
KPIs KPI History All Object Results Custom Reports				
en5		Low 95% Range	Average Result	High 95% Range
<b>Work Complete 1</b>	Average Time in System	276.00	301.76	327.52
<b>Balcão 1</b>	Waiting %	0.42	0.71	0.99
	Working %	99.01	99.29	99.58
	Blocked %	0.00	0.00	0.00
	Stopped %	0.00	0.00	0.00
	Number Completed Jobs	157.30	160.67	163.95