

## Cap. 5 Simulação

Sistemas de Apoio à Decisão  
2010/11

Maria Cândida Mourão

## Simulação

- Simulação
  - Conceitos
  - Modelações
- SIMUL8
- Simulação – imitar a realidade!
  - Duplicar os voos num aeroporto!



## Simulação - Introdução

**Sistema** – colecção 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 interacções entre os eventos
- altera-se com o decorrer do tempo – relógio → mecanismo de actualização do tempo (fixo ou até ao próximo evento)

## Simulação - Introdução

**Princípios:**

- A analista constrói o modelo do sistema em estudo
- Identifica todos os eventos e possíveis interacções
- Por computador simula o funcionamento do sistema adoptando 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?"

## 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 - Introdução

**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

## Objectos:

- 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 objecto seguinte 
- Recursos – pessoas, ... – necessários nos centros de trabalho 
- Pontos de Saída 


**SIMUL8**

Instituto Superior de Economia e Gestão

# SIMUL8

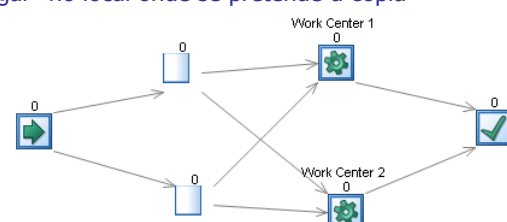
**Setas de Fluxo de Trabalho:**

- Indicam o caminho que será seguido pelos fluxos durante a simulação (SHIFT + movimentar o rato entre o objecto inicial e o final)



**SIMUL8**

- Copiar Objectos com as respectivas ligações: CTRL + seleccionar o objecto e "largar" no local onde se pretende a cópia



SAD 2010/11 Simulação - 10

Instituto Superior de Economia e Gestão

# SIMUL8 – Pontos de Entrada

Nome

Ver as distribuições de probabilidade!

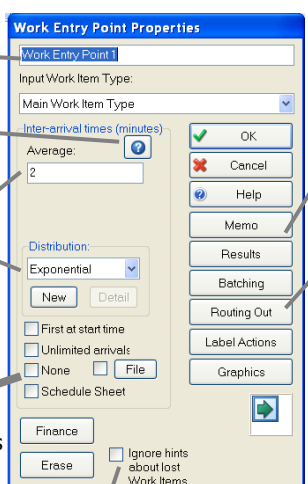
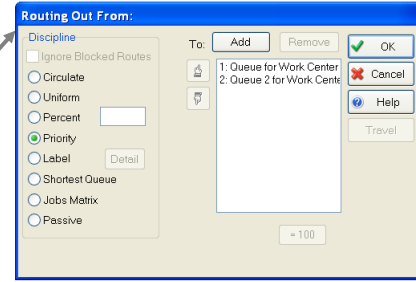
Distribuição para NPA's

Chegadas não automáticas! Lidas de ficheiros

Alerta para possível perdas nas entradas!

**SIMUL8**

Colocar informação

SAD 2010/11 Simulação - 11

# SIMUL8 – Pontos de Entrada

SIMUL8

**Work Entry Point Properties**

Work Entry Point 1

Input Work Item Type:

Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes)

Average: 2

Distribution: Exponential

First at start time  
 Unlimited arrivals  
 None  File  
 Schedule Sheet

Finance Erase  Ignore hints about lost Work Items

**Batching**

Batch size leaving this object: 1

Fixed Value: 1

Distribution: Fixed

New Detail

Alterar o desenho e pôr título no objecto

SAD 2010/11 Simulação - 12

# SIMUL8 – Pontos de Entrada

SIMUL8

Alterar o desenho e pôr título no objecto

**Work Entry Point Properties**

Work Entry Point 1

Input Work Item Type:

Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes)

Average: 2

Distribution: Exponential

First at start time  
 Unlimited arrivals  
 None  File  
 Schedule Sheet

Finance Erase  Ignore hints about lost Work Items

**Graphics: Work Enters Object:**

Work Entry Point 1

Title Image Select

Invisible  Count  Data Graphic

**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)

Return to SIMUL8 Position/Wrap defaults

Alterar o desenho e pôr título no objecto

SAD 2010/11 Simulação - 13

# SIMUL8 – Centros de Trabalho

**Work Center Properties**

Work Center: 1

Timing (minutes)

Average: 10

Distribution: Average

Buttons: OK, Cancel, Help, Memo, Results, Resources, Efficiency, Routing In, Out, Label Actions, Priority, Replicate = 1, Contents, Graphics, Shifts, Finance, Erase, IF... On State Change

**Efficiency**

Auto (selected) Detailed

Efficiency %: 100

Average Repair time: ?

Buttons: OK, Cancel, Help

**Routing Out From:**

Discipline: Ignore Blocked Routes (checked), Circulate, Uniform, Percent, Priority, Label, Shortest Queue, Passive, Jobs Matrix, Cycle Matrix

To: 1: Work Complete 1

Buttons: Add, Remove, OK, Cancel, Help, Travel, Place At, +100, Batching, More >>

Definição de recursos

SIMUL8

# SIMUL8 – Centros de Trabalho

**Work Center Properties**

Work Center: 1

Timing (minutes)

Average: 10

Distribution: Average

Buttons: OK, Cancel, Help, Memo, Results, Resources, Efficiency, Routing In, Out, Label Actions, Priority, Replicate = 1, Contents, Graphics, Shifts, Finance, Erase, IF... On State Change

**Routing In To: Work Center 2**

Selection Method | Options | Change Over

Add Remove Place At

1: Queue for Work Center 1

Discipline: Priority (selected), Collect, Passive

Buttons: OK, Close, Help, More >>

Controlar de onde chega o trabalho e como chega

SIMUL8

Selecciona a entrada da 1ª possibilidade de onde exista trabalho para entrar neste centro

# SIMUL8 – Centros de Trabalho

**Work Center Properties**

Work Center: [ ]

Timing (minutes): [ 10 ]

Average: [ 10 ]

Distribution: [ Average ]

Buttons: OK, Cancel, Help, Memo, Results, Resources, Efficiency, Routing In, Out, Finance, Erase, Priority, Replicate = 1, Contents, Graphics, On State Change, Shifts

**Routing In To: Work Center 2**

Selection Method | Options | Change Over

Buttons: Add, Remove, Place At, OK, Close, Help

Queue: 1: 1: Queue for Work Center 1

Discipline:

- Priority
- Collect [ 1 ]
- 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

Label values from:

- Highest
- Lowest
- Selected

Annotations:

- Outras disciplinas (points to Discipline list)
- aceita trabalhos que tenham excedido a "shelf life" na FILA (points to Expired Only)

SAD 2010/11 - 16

# SIMUL8 – Centros de Trabalho

**Work Center Properties**

Work Center: [ ]

Timing (minutes): [ 10 ]

Average: [ 10 ]

Distribution: [ Average ]

Buttons: OK, Cancel, Help, Memo, Results, Resources, Efficiency, Routing In, Out, Finance, Erase, Priority, Replicate = 1, Contents, Graphics, On State Change, Shifts

**Timing Orientation**

How is work time calculated:

- Standard (Recommended for most simulations)
- Zero, use time for interval to next job
- Use Jobs Matrix [ View ]
- Use Cycle Matrix [ View ]
- From Sub Process starting: [ ]

Buttons: OK, Cancel, Help, Set Time Scale

**Routing In To: Work Center 1**

Selection Method | Options | Change Over

Buttons: OK, Close, Help

Special Options:

- Interruptible
- Use Label Batching [ Detail ]
- Batch by type [ Detail ]
- Wait until exit clear

Reuse Resources:

Visual Logic:

Buttons: Before Selecting, After Loading Work

Annotation:

- Só aceita trabalho quando a saída deste centro já for possível! (points to Wait until exit clear)

SAD 2010/11 - 17



# SIMUL8 – Filas

Nº máximo de itens

Tempo máximo e mínimo que é permitido ficar na fila

Disciplina da Fila se diferente de FIFO

SIMUL8

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

# SIMUL8 – Pontos de Saída

Limite ao nº de tarefas a processar

SIMUL8



## SIMUL8

### 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 objectos
  - São arrumados em áreas de arrumação
  - Activam 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:

High Volume

On State Change

**Work Center Results**

Work Center 1

**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

Halt Simulation at Limit:

Segregate Results

High Volume

File

**Work Complete Results**

Work Complete 1

Work Completed: 0

**Time in system:**

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

**Time in system within limit:**

Time limit:  minutes

Percentage within limit: 0%

**SIMUL8**

# SIMUL8 – Relógio

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:

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

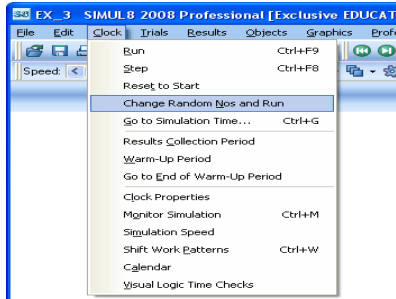
## Simulação – Exemplo 3

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.

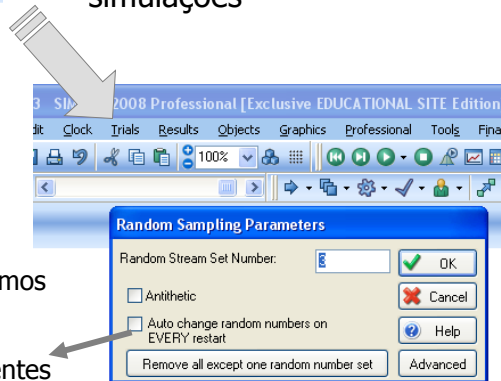
Suponha que parte de um instante inicial no qual não há clientes na Loja e utilize o **SIMUL8**, para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

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

## Simulação – NPA's



Para utilizar NPA's diferentes em diferentes simulações



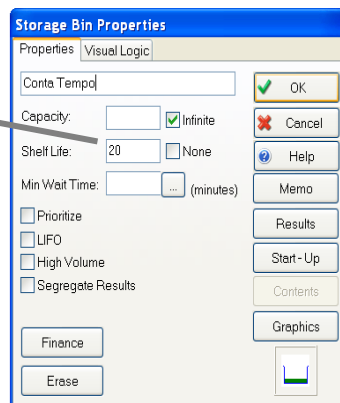
**Nota:** Por defeito, em 2 corridas diferentes são utilizados os mesmos NPA's – **Comparar estratégias!**

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

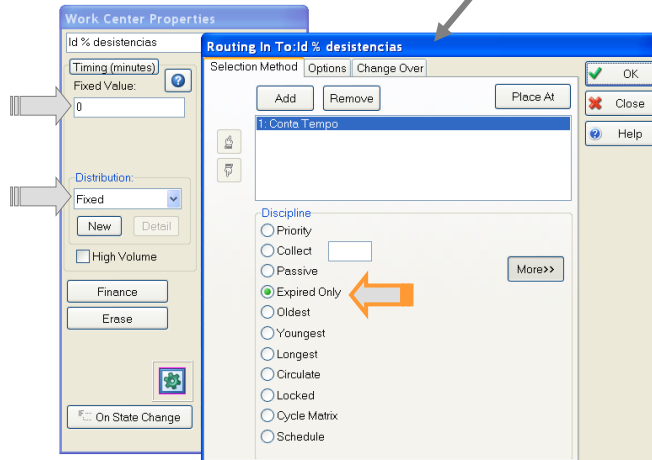


Criar um centro de trabalho que aceite os trabalhos que excederam o tempo máximo!

# SIMUL8 – Desistências por Tempo

Centro de Trabalho que aceita e reencaminha os "fora de prazo"

Definições das Entradas



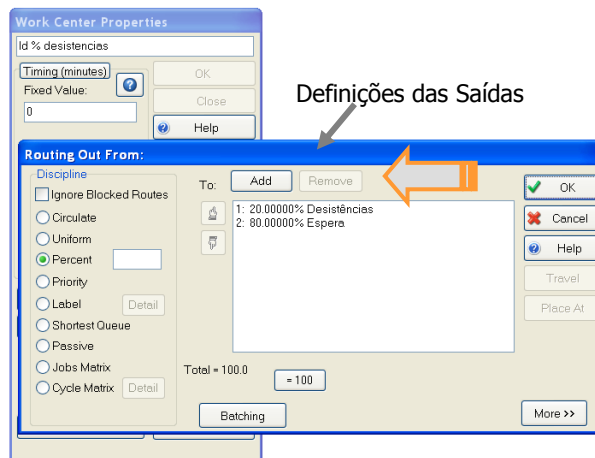
SAD 2010/11

Simulação - 32

# SIMUL8 – Desistências por Tempo

Centro de Trabalho que aceita e reencaminha os "fora de prazo"

Definições das Saídas



SAD 2010/11

Simulação - 33



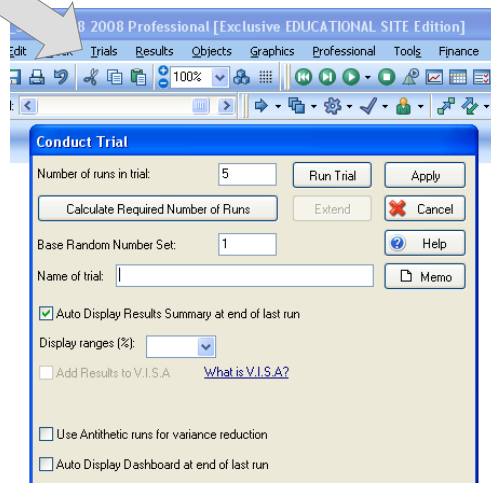
## Simulação – Exemplo 4

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:

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

## Simulação – Experiências



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

# Simulação – Exemplo 3 (cont.)

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



# Exemplo 3 (cont.)

**Work Center Properties**

Balcão 2

Timing (minutes): Average: 15

Distribution: Average

Buttons: Finance, Erase, 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

**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

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

## Exemplo 3 (cont.)



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
<b>Balcão 1</b>	Working %	66.47	68.02	69.57
<b>Balcão 2</b>	Working %	65.83	67.31	68.80
<b>Balcão 3</b>	Working %	65.22	66.63	68.04
<b>Desitem</b>	Average Time in System	0.65	0.65	0.65

SAD 2010/11

Simulação - 38

EX\_3 SIMUL8 2008 [Exclusive EDUCATIONAL SITE Edition]

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

Speed: <

SIMUL8 Results Manager

KPIs KPI History All Object Results Custom Reports

		exp3 ! Average	ex1 Average	ex2 Average
Work Complete 1	Average Time in System	20.98635	20.94954	20.87709
Queue for Work Center 1	Average Queuing Time	0	0	4.4865
Queue for Work Center 1	St Dev of Queuing Time	0	0	6.92597
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 Exemplo 3 (cont.)**

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

SAD 2010/11 Simulação - 44

**SIMUL8 Result Manager Results Manager Exemplo 3 (cont.)**

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	10	100	0	0,653	0,653

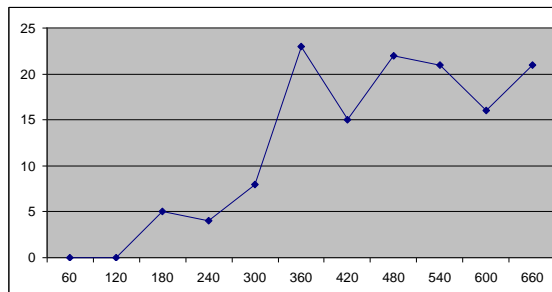
SAD 2010/11 Simulação - 45

## 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

## 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!

# 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 intersecção dos IC, fazer mais corridas!

SIMUL8 Result Manager				
SIMUL8 CORPORATION Results Manager				
KPIs   KPI History   All Object Results   Custom Reports				
ex5		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	157.38	160.67	163.95