



## Sistemas de Apoio à Decisão

Cap. 4 - Simulação

Maio 2018

M Cândida Mourão  
cmourao@iseg.ulisboa.pt

## Simulação



- Simulação
  - Conceitos
  - Modelações
- SIMUL8
- Simulação – imitar a realidade
  - Estudar a capacidade de um 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)

## 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”?

## Simulação - Exemplo

Considere-se um balcão de 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

Relógio (min)	Evento	N.º Clientes	Instante da Próxima		Próximo Evento
			Chegada	Partida	
0	Chega C1 Inic. Serviço C1	1	10	22	Chegada
10	Chega C2	2	20	22	Chegada
20	Chega C3	3	30	22	Partida
22	Parte C1 Inic. Serviço C2	2	30	22+8=30	Chegada Partida
30	Chega C4 Parte C2 Inic. Serviço C3	2	40	30+2=32	Partida
32	Parte C3 Inic. Serviço C4	1	40	32+5=37	Partida
37	Parte C4	0	40	-	Chegada
...					

## 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

## Objetos:

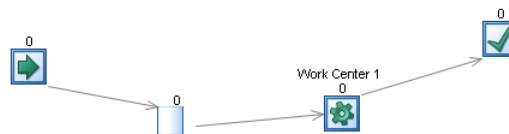
- **Pontos de Entrada**
- **Centros de Trabalho** – onde é feito o trabalho/serviço Work Center 1
- **Filas de Espera** – espera até ser possível passar para o objeto seguinte
- **Recursos** – pessoas, ... – necessários nos centros de trabalho
- **Pontos de Saída**

[SIMUL8](#)

## Setas de Fluxo de Trabalho:

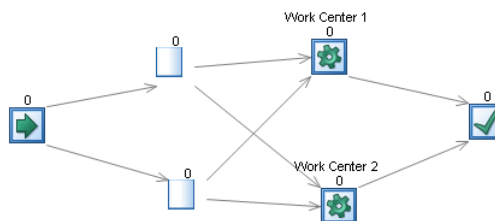
- Indicam o caminho que será seguido pelos fluxos durante a simulação

**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

**Work Entry Point Properties**

- Nome
- Ver as distribuições de probabilidade!
- Distribuição para NPA's
- Chegadas não automáticas! Lidas de ficheiros
- Alerta para possível perdas nas entradas!

**Routing Out From:**

- Colocar informação

SIMUL8

2018/19 - Simulação M Cândida Mourão 11

# SIMUL8 – Pontos de Entrada

SIMUL8 – Pontos de Entrada  
SIMUL8

**Work Entry Point Properties**

- Alterar o desenho e pôr título no objeto

**Work Entry Financial Information**

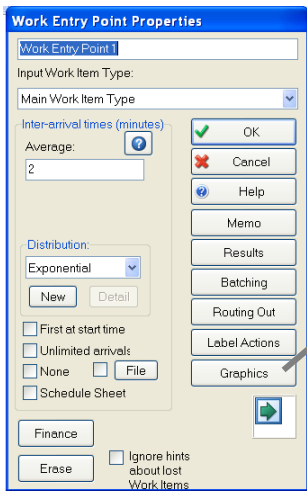
- Capital Cost: 0
- Cost (per Unit): 0

**Batching**

- Batch size leaving this object: 1
- Fixed Value: 1
- Distribution: Fixed

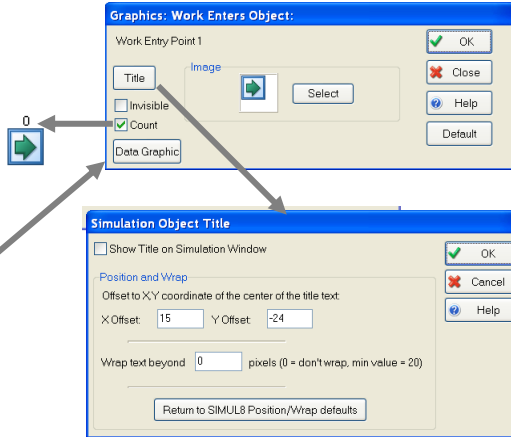
2018/19 - Simulação M Cândida Mourão 12

# SIMUL8 – Pontos de Entrada

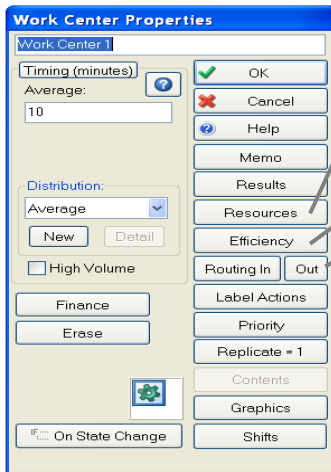


Alterar o desenho e pôr título no objeto visível

SIMUL8

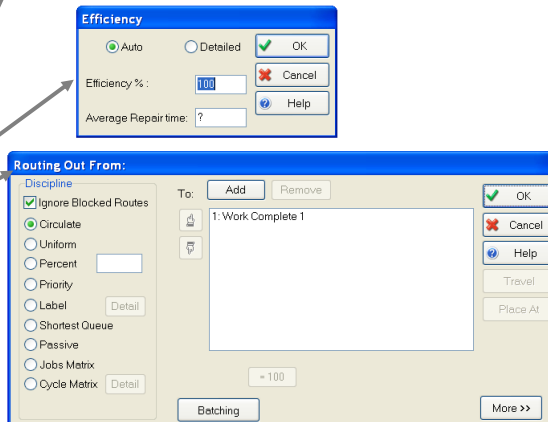


# SIMUL8 – Centros de Trabalho

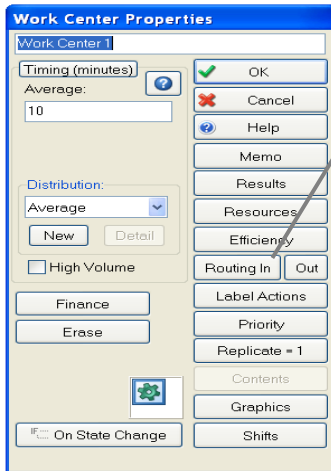


Definição de recursos

SIMUL8

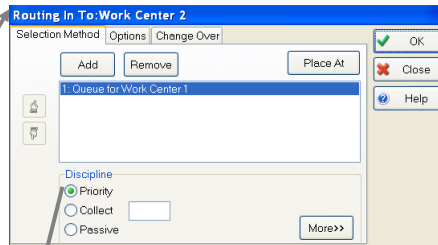


# SIMUL8 – Centros de Trabalho



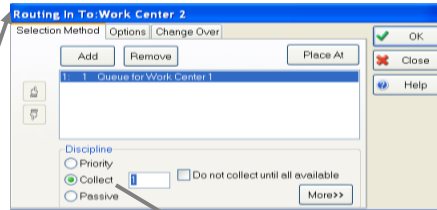
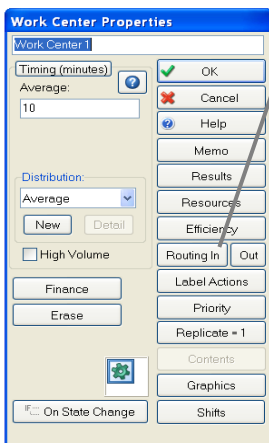
Controlar de onde chega o trabalho e como chega

SIMUL8



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

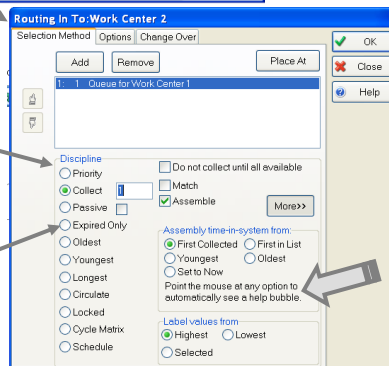
# SIMUL8 – Centros de Trabalho



SIMUL8

Outras disciplinas

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





# SIMUL8 – Centros de Trabalho

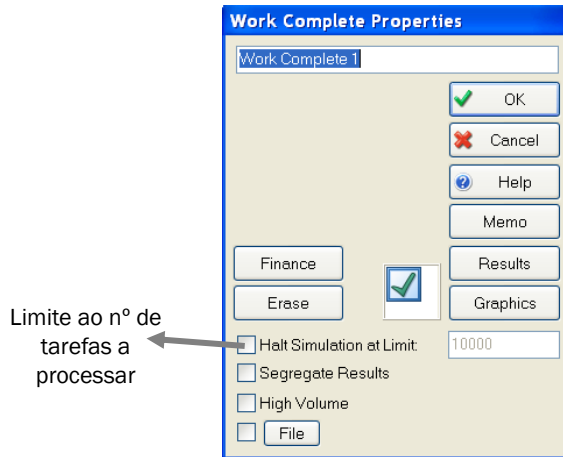
SIMUL8

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

# SIMUL8 – Filas

SIMUL8

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



## 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

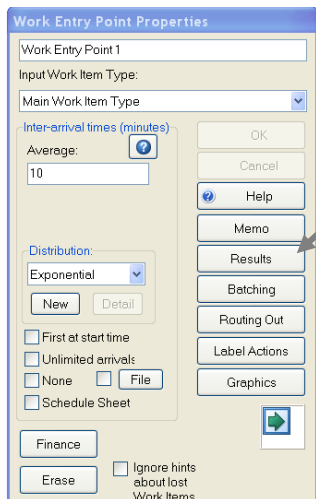
## Simulação – Exemplo 1

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.

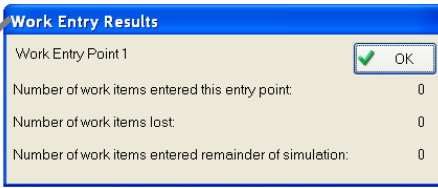
Utilizando o **SIMUL8**, simule o funcionamento do sistema até terem sido vistos 20 doentes, de forma a saber:

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

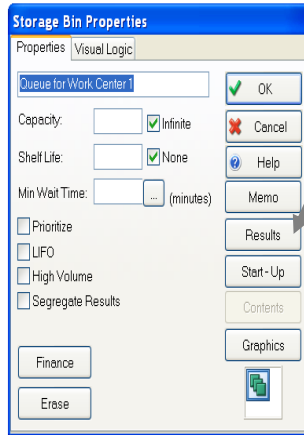
## SIMUL8 – Resultados das Entradas



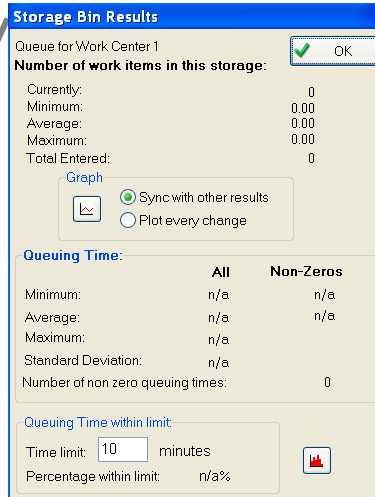
**SIMUL8**



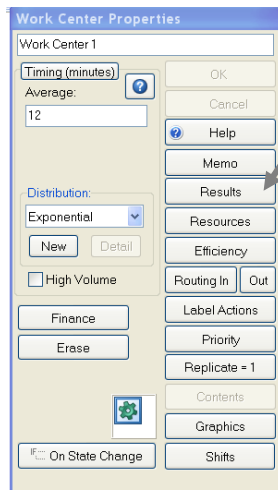
# SIMUL8 – Resultados das Filas



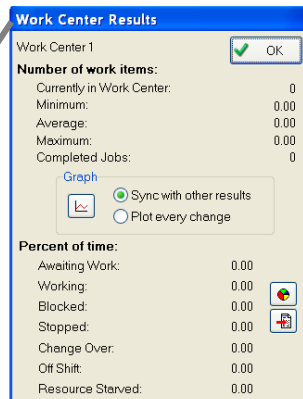
SIMUL8



# SIMUL8 – Resultados dos Serviços



SIMUL8



# SIMUL8 – Resultados das Saídas

SIMUL8

The image shows two dialog boxes from the SIMUL8 software. The 'Work Complete Properties' dialog on the left has a 'Results' button. An arrow points from this button to the 'Work Complete Results' dialog on the right. The 'Work Complete Results' dialog displays the following information:

- Work Complete 1 (with a green checkmark icon)
- Work Completed: 0
- Time in system: 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 – Relógio

SIMUL8

The image shows three dialog boxes from the SIMUL8 software. The 'Clock Properties' dialog on the left has 'Results Collection Period' and 'Warm Up Period' buttons. Arrows point from these buttons to the 'Results Collection Period' and 'Warm Up Period' dialog boxes on the right. The 'Clock Properties' dialog shows the following settings:

- Time Units: Minutes (selected)
- Time format: Time & Day (selected)
- Days: Day (selected)
- Running Time: Start time each day (HH:MM): 09:00, Duration of day (HH:MM): 08:00

The 'Results Collection Period' dialog shows:

- Collect results for this amount of time units in each simulation run: 2399.4999

The 'Warm Up Period' dialog shows:

- Start results collection after this number of time units: 1
- Include in displayed clock time: checked

▪ 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). Geralmente, 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.

Utilize o [SIMUL8](#) para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

- o tempo médio de espera dos doentes;
- a % de 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

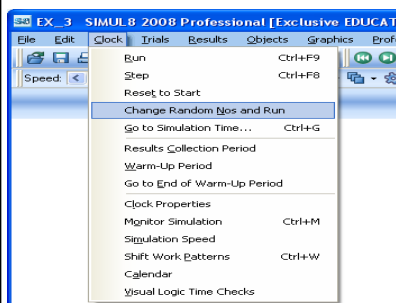
## Simulação – Exemplo 3

Num dos serviços de Loja do Cidadão existem 3 balcões (A, B e C) 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;
- a % de 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.
- repita o problema mas supondo que inicialmente 20% dos clientes desistem, 10% dirigem-se ao balcão A, 40% ao B e os restantes ao C.

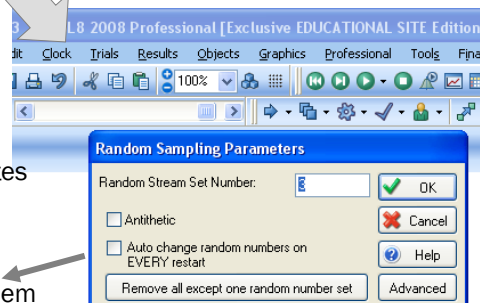
## Simulação – NPA's



Para utilizar NPA's diferentes em diferentes simulações

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

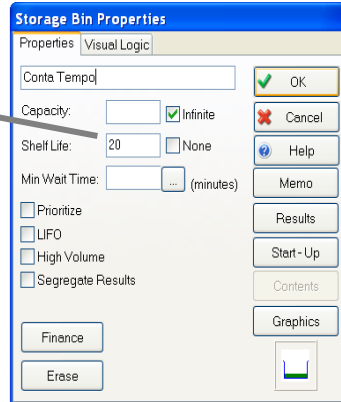
Para utilizar NPA's diferentes em cada nova "corrida"



## 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

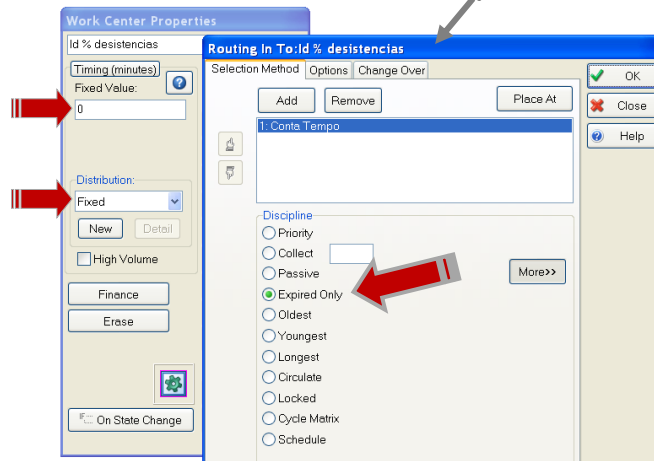


Criar um centro de trabalho que aceite os trabalhos que excederam o tempo máximo!

## SIMUL8 – Desistências por Tempo

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

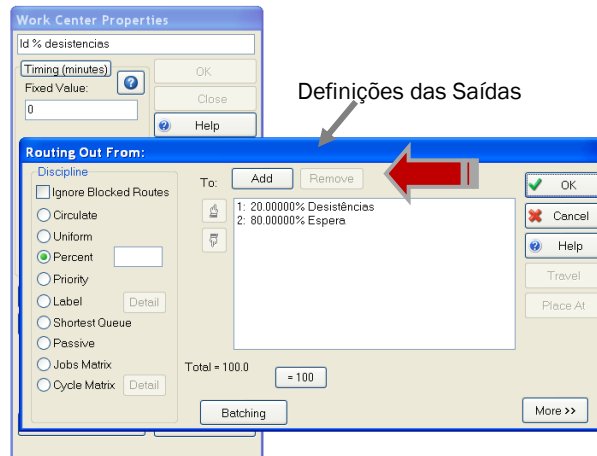
Definições das Entradas





## SIMUL8 – Desistências por Tempo

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



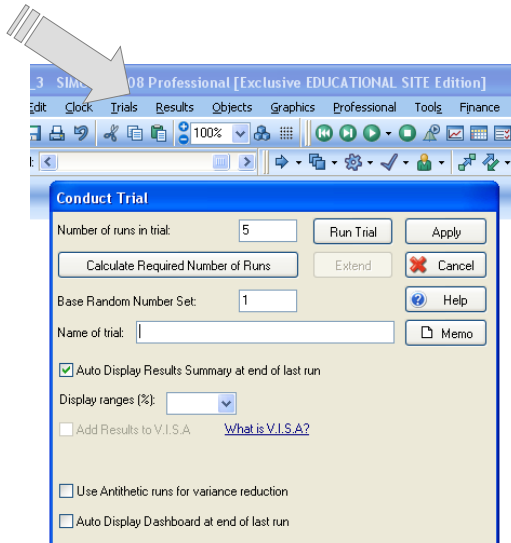
## Simulação – Exemplo 4

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;
- a % de 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.

## 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

Callout: 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

## Exemplo 3 (cont.)

**Results**

Low 95% Range      Average Result      High 95% Range

SIMUL8 Compare

		exp3.1 Average	ex1 Average	ex2 Average	
Balcão	Work Complete 1	20.98635	20.94954	20.87709	
Balcão	Queue for Work Center/Average Queuing Time	0	0	4.44865	
Balcão	Queue for Work Center/ St Dev of Queuing Time	0	0	6.92597	
Destino	Balcão 1 Working %	0	0	68.02282	
	Balcão 2 Working %	0	0	67.31494	
	Balcão 3 Working %	0	0	66.63325	
	Destitem Average Time in System	0	0	0.65299	

## Exemplo 3 (cont.)

**SIMUL8 Results Manager**

KPIs      KPI History      All Object Results      Custom Reports

		exp3.1 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	4.44865	
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	
Destitem	Average Time in System	0	0	0.65299	

SIMUL8 Result Manager

**SIMUL8** Results Manager  
CORPORATION

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	388	0	388

### 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	0.461	6	0	0.284	3.436	8.843	29.507	122	86.306	10	5.845	0	314

### Work Centres

2018/19 - Simulação M Cândida Mourão 41

Exemplo 3 (cont.)

LISBON SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

SIMUL8 Result Manager

**SIMUL8** Results Manager  
CORPORATION

KPIs KPI History All Object Results Custom Reports

Objects  
 Work Entry Points  
 Storage Bins  
 Work Centres  
 Work Exit Points

### 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	33.812	66.188	0	0	107	0	0.671	1	1	0	0	0
Balcão 2	34.759	65.241	0	0	100	0	0.642	1	1	0	0	0
Balcão 3	35.942	64.058	0	0	105	0	0.65	1	0	0	0	0
Work Center 4	100	0	0	0	74	0	0	1	0	0	0	0

2018/19 - Simulação M Cândida Mourão 42

# Exemplo 3 (cont.)

**SIMUL8 Results Manager**

KPIs | KPI History | All Object Results | Custom Reports

- Work Entry Points
- Storage Bins**
- Work Centres
- Work Exit Points

### 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	0,461	6	0	0,284	3,436	8,843	29,507	122	86,306	10	5,845	0	314

2018/19 - Simulação M Cândida Mourão 43

**SIMUL8 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

2018/19 - Simulação M Cândida Mourão 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	SD 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

2018/19 - Simulação M Cândida Mourão 45

**SIMUL8 – Validação do modelo**

 LISBON SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT UNIVERSIDADE DE LISBOA

- **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

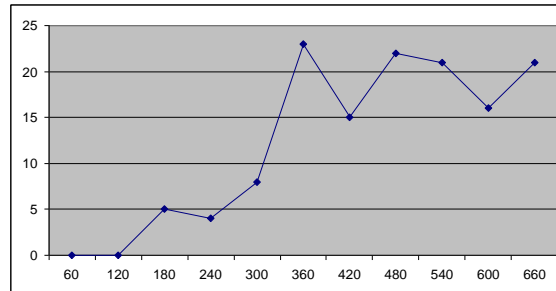
2018/19 - Simulação M Cândida Mourão 46

## 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!



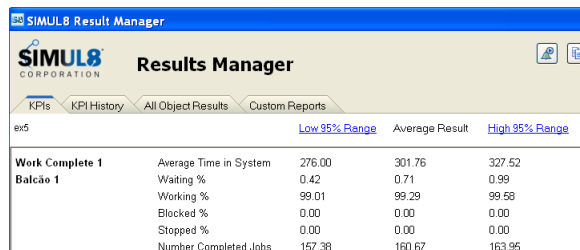
360 min!

## 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 seqüências 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				
ex5		Low 95% Range	Average Result	High 95% Range
<b>Work Complete 1</b> <b>Balcao 1</b>	Average Time in System	276.00	301.76	327.52
	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