

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Produção e Sistemas

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Simulação

“Sistemas de células de robots”

Célia Figueiredo a67637

Luís Pedro Freitas pg38347

Margarida Rolim pg38332

Márcia Costa a67672

Docentes: Luís Dias, Guilherme Pereira, Bruno Gonçalves, António Vieira
Braga, Outubro de 2018

Resumo

Este projeto visa simular o comportamento de um sistema de células de robots com a utilização do suplemento VBS (*Visio Basic for Simulations*) no *Microsoft Office Visio* 2016.

A implementação da simulação deste projeto seguiu os requisitos fornecidos pelo enunciado, com as distribuições estatísticas que melhor descreviam os comportamentos dos intervalos entre chegadas de objetos e os tempos de processamento de cada Módulo. Após a construção do modelo no VBS, foram simulados vários cenários para encontrar a melhor *performance* possível dos recursos, considerando a taxa de ocupação destes, o tempo médio de espera nas filas, o tempo de processamento dos recursos e o número médio de objetos na fila durante a simulação. Através da análise dos cenários criados, identificou-se uma possível solução para a empresa, em que se identificou a quantidade de robots de cada tipo, que o sistema poderia ter, de modo a desperdiçar o mínimo de recursos, mantendo a fluidez do sistema.

Índice

Resumo	2
1 Introdução.....	5
1.1...Descrição geral do projeto	5
1.2...Objetivos.....	6
1.3...Organização do documento.....	6
2 Implementação do Modelo	7
2.1...Main.....	7
2.2...Acontecimento de chegada M1.....	8
2.3...Acontecimento Fim Utilização M2.....	9
2.4...Acontecimento Fim Utilização M4.....	10
2.5...Acontecimento Fim Utilização M5.....	11
3 Estudo prévio	12
3.1...Cenário Original	12
4 Análise de desempenho	14
4.1...Cenário 1.....	14
4.2...Cenário 2.....	15
4.3...Cenário 3.....	17

4.4 ..Cenário 4.....	18
----------------------	----

5 Conclusão	20
6 Identificação dos Autores	21

Figuras

Figura 1 – Esquema de sistemas de células de <i>robots</i>	6
Figura 2 - Fluxograma da <i>Main</i>	7
Figura 3 – Fluxograma do acontecimento de chegada a M1.....	8
Figura 4 – Fluxograma acontecimento Fim de Utilização M2	9
Figura 5 – Fluxograma -Acontecimento fim utilização de M4	10
Figura 6 – Fluxograma – Acontecimento fim utilização M5.....	11
Figura 7 - Output do cenário original	12
Figura 8 - Output cenário 1.....	14
Figura 9 – Output cenário 2	15
Figura 10 - Output cenário 3.....	17
Figura 11 - Output cenário 4.....	18

Tabelas

Tabela 1 - Taxas de ocupação cenário original.....	13
Tabela 2 - Taxas de ocupação do cenário 1	14
Tabela 3 - Taxas de ocupação do cenário 2	16
Tabela 4 - Taxas de ocupação do cenário 3	18
Tabela 5 - Taxas de ocupação cenário 4	19

1 Introdução

A simulação como processo de modelação de sistemas e de condução de experiências tem-se tornado numa abordagem prática indispensável para a resolução dos mais variados problemas. O uso de *softwares* de simulação poderá evitar o desperdício de recursos que podem não entregar a melhor resposta ao sistema. Uma vez que ao projetar modelos computacionais de um sistema real e através da projeção de vários cenários, será possível compreender o seu comportamento, avaliar estratégias e melhorar os níveis de operação do sistema. Deste modo, pode-se entender a simulação como um processo amplo que engloba a construção do modelo, a construção de teorias e hipóteses baseadas em observações efetuadas.

1.1 Descrição geral do projeto

O enunciado do projeto apresenta um sistema de células de robots interligados com *buffers*. Conforme o diagrama da Figura 1, cada Módulo (M1..M5) representa um *robot*, que recebe objetos da(s) fila(s) precedente(s) e deposita os objetos transformados na(s) fila(s) seguinte(s). A alimentação deste sistema ocorre com a chegada de peças aos Módulos M1, M2 e M3,

provenientes das filas F1, F2 e F3, respetivamente. O módulo M4 precisa de, pelo menos, um objeto de cada uma das filas 4, 5 e 6 para poder operar. Em M5 os objetos provenientes de M4 são embalados em grupos de 2 objetos, ou seja, M5 só opera quando existem, pelo menos, dois objetos na fila F7 (a cada 2 objetos que entram em M5 é produzido um objeto – grupo embalado). A distribuição estatística que melhor descreve o comportamento dos intervalos entre chegadas de objetos a F1, F2 e F3, é a Distribuição Exponencial, com parâmetro (média) 2, 2 e 3 minutos, respetivamente. Considerou-se que as filas têm tamanho ilimitado e que para representar o comportamento dos tempos de processamento em M1, M2, M3, M4 e M5, recorreu-se à Distribuição de *Poisson*, cujo parâmetro (média) para cada módulo foi determinado pelo último algarismo do número mecanográfico de cada aluno do grupo. Ou seja, consideraram-se as distribuições de *Poisson* de 7,2,2,7 para M1, M2, M3 e M4. Para M5 utilizou-se o terceiro algarismo de maior valor entre todos os elementos do grupo, portanto, utilizamos a Distribuição de *Poisson*(6).

O objetivo deste problema é identificar quantos robots de cada tipo (M1, M2, M3, M4 e M5) deve ter o sistema, sem desperdiçar recursos nem comprometer a fluidez de funcionamento.

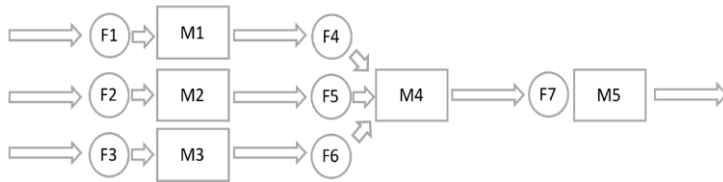


Figura 1 – Esquema de sistemas de células de robots

1.2 Objetivos

O objetivo principal é determinar uma quantidade de *robots* de cada tipo (M1, M2, M3, M4 e M5), de modo a maximizar a capacidade de produção do sistema, com o mínimo de recursos possível, não comprometendo a fluidez do mesmo. De modo a atingir este objetivo é necessário considerar as medidas de desempenho que quantificam diferentes cenários. Ficou estipulado que a taxa de ocupação de um recurso máquina seria idealmente cerca de 96% e o número médio de entidades na fila de espera não devia ser demasiado alto. E portanto, a modelação de cenários será projetada de modo a respeitar estes fatores.

1.3 Organização do documento

O presente relatório está dividido em seis capítulos, o primeiro, onde é introduzido o projeto e uma descrição geral do projeto. No capítulo 2, faremos uma breve apresentação do modelo desenvolvido no VBS para a simulação do sistema. No capítulo 3, será feito um estudo prévio dos primeiros resultados obtidos. No capítulo 4, será elaborado um estudo de vários cenários possíveis para a utilização de recursos do sistema de forma a encontrar uma solução sustentável para o sistema. No 5 será apresentada uma conclusão da análise de cenários para este sistema. E, no final, uma breve apresentação dos autores deste relatório.

2 Implementação do Modelo

2.1 Main

O VBS permite declarar quais os acontecimentos, recursos, filas e semente que serão utilizados na simulação. Esta ferramenta gera automaticamente o “motor” do programa, a MAIN, onde se encontram todas as entidades que dela fazem parte (variáveis, acontecimentos, recursos e filas), como se pode observar na figura 2. É importante saber a utilidade das seguintes variáveis geradas pelo programa: *EventName* identifica o acontecimento a ser executado; *EventTime* é o instante de tempo em que o acontecimento irá ocorrer; *SimLength* é o tempo total da simulação; *SimTime* é o relógio, ou seja, o momento da simulação.

Ao longo da implementação dos fluxogramas foi necessário adicionar uma variável para contar a quantidade de produtos. Além disso, foi preciso acrescentar o acontecimento de chegada de objeto a M2 e M3 no fluxograma principal, porque por defeito o único acontecimento de chegada no sistema seria o primeiro adicionado. Pela possibilidade de apenas existir uma variável para a semente, consideramos apenas uma, visto

que esta satisfaz a condição de aleatoriedade em todas as chegadas e fins de acontecimento.

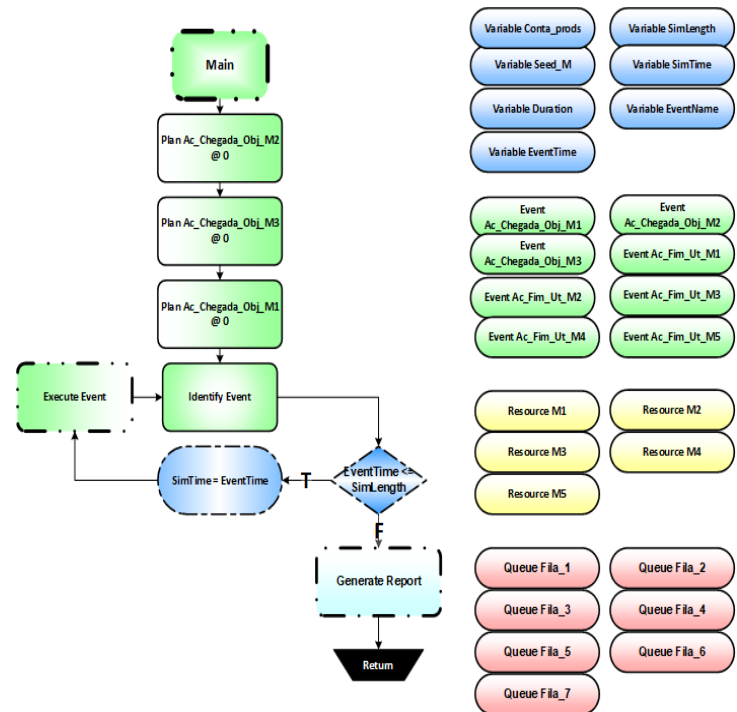


Figura 2 - Fluxograma da *Main*

2.2 Acontecimento de chegada M1

Tal como enunciado anteriormente, o sistema em causa é alimentado com a chegada de objetos aos Módulos M1, M2, M3, provenientes das filas F1, F2 e F3, respetivamente. Este acontecimento representa o instante de tempo em que um objeto chega ao módulo M1, sendo que, o comportamento das chegadas aos módulos M2 e M3 se comportam de igual modo, seguindo distribuições distintas. Assim, este acontecimento inclui o planeamento da chegada do próximo objeto ao módulo M1, bem como a integração na fila F1 do objeto que acabou de chegar, isto é, colocou-se o objeto em fila de espera (F1) no caso do recurso M1 esteja ocupado, se considerarmos que o recurso M1 se encontra livre, a próxima fase será remover da fila F1 o objeto, calcular o tempo de utilização do robot M1 e ocupar o recurso M1 com o instante de tempo futuro em que o recurso será libertado (*EventTime*). Terminamos com o planeamento do acontecimento futuro fim de utilização de M1 novamente com o instante de tempo futuro em que este novo acontecimento ocorrerá, caso o recurso M1 esteja livre. Os acontecimentos de chegada de M2 e M3 são semelhantes a este.

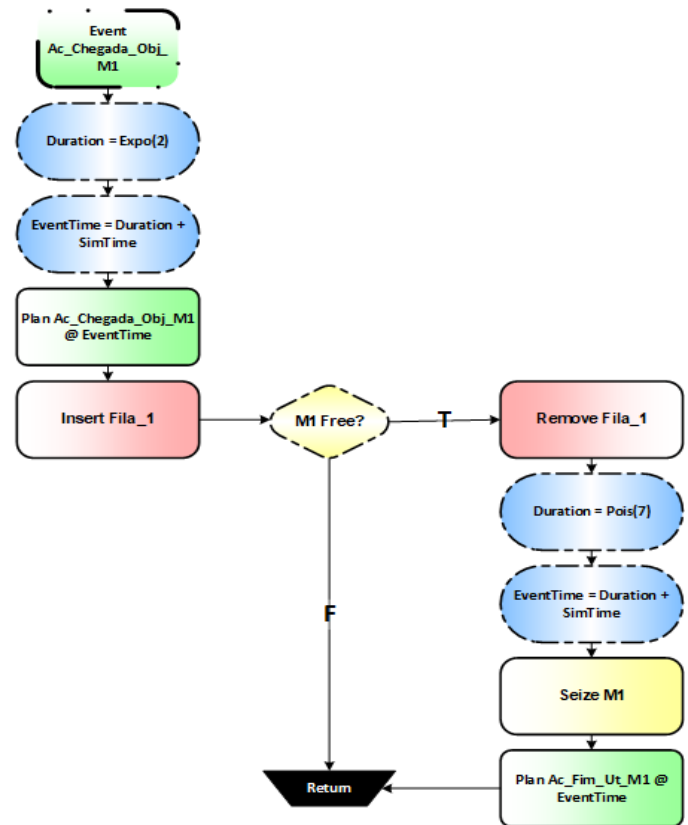


Figura 3 – Fluxograma do acontecimento de chegada a M1

2.3 Acontecimento Fim Utilização M2

Quando este acontecimento foi executado, o módulo M2 que anteriormente estava ocupado passa agora a estar livre, daí que utilizamos “Release M2”. No momento em que este recurso é liberto, foi verificado se existe alguma peça em fila de espera, isto é, foi colocado em questão se a fila de espera F2 se encontra vazia. Se existir algum objeto em espera, este é removido da fila de espera, o recurso M2 que estava livre passa a estar novamente ocupado, identificando-se o instante de tempo futuro em que será de novo libertado. Seguiu-se o planeamento de novo acontecimento fim de utilização a M2, também a ocorrer nesse mesmo instante de tempo futuro. Caso a resposta à pergunta da fila de espera F2 for o oposto, ou seja, a fila de espera F2 se encontrar efetivamente livre então neste caso, redirecionamos o objeto para a fila de espera F5, seguindo-se três decisões. Neste ponto teve-se de ter em consideração as instruções dadas inicialmente, pois o módulo M4 precisa de, pelo menos, um objeto de cada uma das filas 4, 5 e 6 para poder operar. Este pressuposto fez com que se tomassem as devidas decisões. É necessário existir objetos nas filas de espera 4,6 e ainda garantir que o módulo M4 estava livre. Posto isso, apenas foi feita a remoção das filas 5,4 e 6, calculou-se o tempo de utilização do módulo M4, ocupou-se o módulo M4 com o instante de tempo futuro em que

o recurso será libertado (*EventTime*) e por fim foi feito o planeamento do acontecimento Fim de utilização de M4 no *EventTime*. Este fluxograma evidencia o comportamento do acontecimento fim de utilização de M2. Os acontecimentos fim de utilização de M1 e M3 são semelhantes a este.

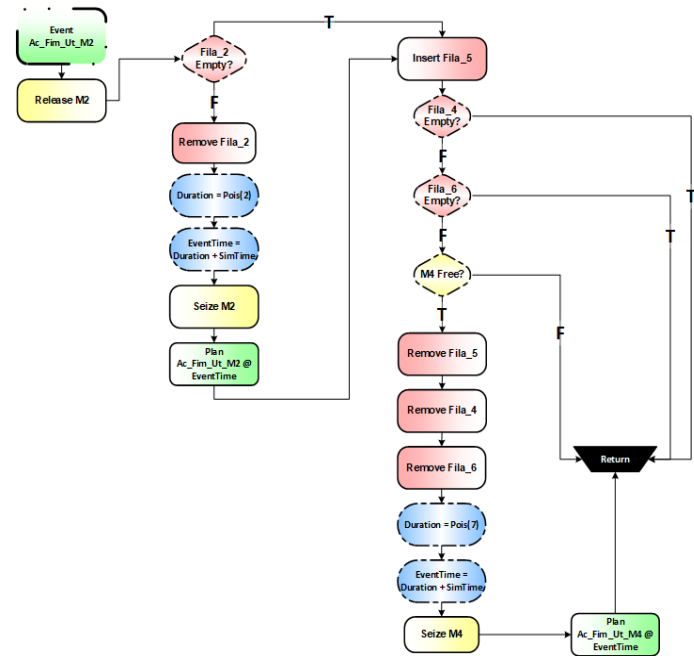


Figura 4 – Fluxograma acontecimento Fim de Utilização M2

2.4 Acontecimento Fim Utilização M4

Este acontecimento representa o fim da utilização do recurso M4. Este módulo, que anteriormente estava ocupado passa agora a estar livre. No momento em que este recurso é liberto, teve-se de considerar a existência de cada uma das filas 4,5 e 6, isto é, estas não se encontravam vazias. Visto tratar-se de uma decisão, existiam duas hipóteses. Caso se considerasse que a primeira hipótese seria ter as filas de espera não vazias, prosseguia-se a remoção das filas 4,5 e 6. De seguida calculou-se o tempo de utilização do módulo M4, seguindo-se a ocupação desse mesmo módulo e depois o planeamento do acontecimento fim de utilização de M4. Por outro lado, teve-se de considerar a segunda hipótese, ou seja, caso não existisse fila em F4, F5 e F6 inseria-se cada objeto na fila F7. Devido ao facto do módulo M5 apenas operar quando existem, pelo menos, dois objetos na fila F7 teve-se de declarar uma variável de contagem. Esta variável foi nomeada como “Conta_prods” e serviu para controlar o número de produtos a produzir em M5. Decidiu-se que apenas seria ocupado M5 caso o valor da variável nova fosse superior a 1 unidade e se o próprio módulo estivesse livre. Neste cenário removeram-se duas vezes da fila F7 os objetos duas vezes. De seguida foi atualizada a variável de contagem dos produtos para menos duas unidades. Antes da finalização do

planeamento do acontecimento fim de utilização do Módulo M5, foi necessário calcular o tempo de utilização de M5 e ocupar M5.



Figura 5 – Fluxograma -Acontecimento fim utilização de M4

2.5 Acontecimento Fim Utilização M5

Quando este acontecimento é executado, o módulo M5 que estava ocupado, passa agora a estar livre. No momento em que é libertado é verificado se o número de objetos é maior do que 1, pois M5 só opera quando existem pelo menos 2 objetos na fila de espera 7. Caso seja verdade o objeto é retirado da fila de espera 7 duas vezes. E de seguida é atualizada a variável de contagem de produtos para menos 2 unidades. O módulo M5 que estava livre, passa a estar novamente ocupado, identificando-se o instante de tempo futuro em que será de novo libertado e agenda-se um novo acontecimento fim de utilização de módulo M5 a ocorrer nesse mesmo instante de tempo futuro.

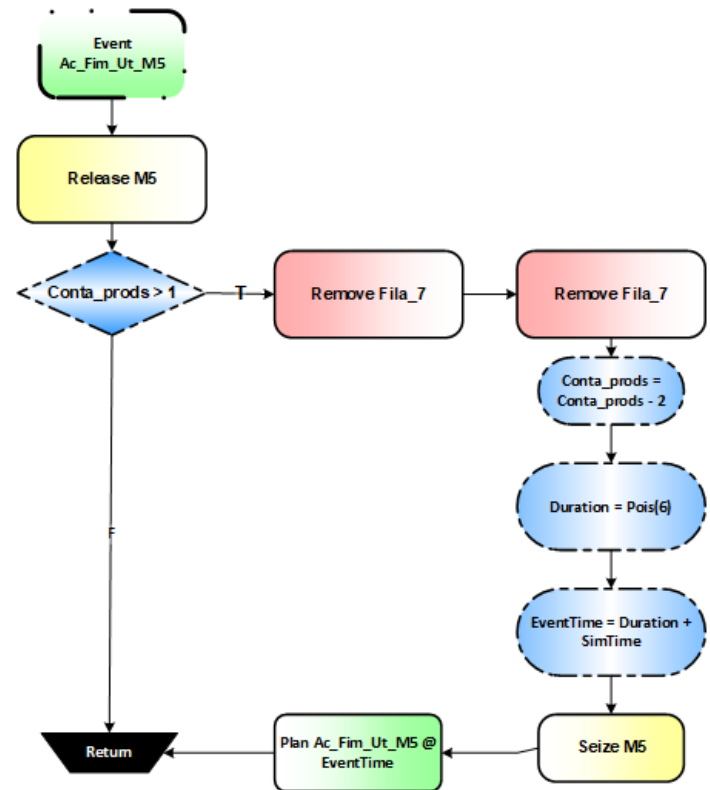


Figura 6 – Fluxograma – Acontecimento fim utilização M5

3 Estudo prévio

3.1 Cenário Original

Após o termino da simulação foi gerado um quadro com as estatísticas como mostra a figura 7. É importante perceber o que cada coluna indica: *Name* indica o nome das entidades; *Type* indica o tipo de entidade (filas, recursos); *IN* indica o número de entradas quer seja numa fila ou recurso; *OUT* indica o número de saídas numa fila ou recurso; *Now* mostra o número de objetos que ficaram retidos na fila ou no processamento quando terminou o tempo de simulação; *AvgStay* representa o número médio de unidades de tempo que o elemento espera na fila ou demora a ser processado no recurso; *AvgLen* representa o número médio de entidades numa fila ou o número médio de recursos ocupados durante a simulação.

Name	Type	IN	OUT	Now	AvgStay	AvgLen
fila_1	Queue	499	146	353	343,7466	171,5296
fila_2	Queue	521	506	15	25,9249	13,5069
fila_3	Queue	336	335	1	3,7403	1,2567
fila_4	Queue	145	139	6	15,3885	2,2313
fila_5	Queue	505	139	366	339,554	171,4748
fila_6	Queue	334	139	195	283,3741	94,6469
fila_7	Queue	138	138	0	3,5725	0,493
m1	Resource	146	145	1	6,8966	1,0069
m2	Resource	506	505	1	1,9525	0,988
m3	Resource	335	334	1	1,9491	0,6529
m4	Resource	139	138	1	7,0145	0,975
m5	Resource	69	68	1	6,0882	0,4201

Figura 7 - Output do cenário original

No cenário original, foi simulado o sistema com um *SimLength* inicial de 1000 unidades de tempo e 1 recurso para cada módulo (M1 a M5) com a finalidade de validar o modelo construído com o VBS. Portanto, em M1 os resultados mostram a entrada de 499 peças na F1 e 146 no processamento de M1 com a saída de 146 peças da F1 e saída de 145 peças do processamento M1. Em M2 os resultados mostram uma entrada e saída na F2 de 521 e 506 respetivamente, tendo processado 505 peças das 506 que entraram no processamento de M2. Em relação a M3 os resultados verificam uma entrada e saída na F3 de 336 e 335 respetivamente, tendo entrado 335 no recurso M3 e foram processadas 334.

Relembrando que para o recurso M4 processar uma peça é necessário a entrada de uma peça da F4, outra da F5 e outra da F6. Então, em M4, os resultados mostram uma entrada de 139 peças no processo correspondendo ao número de saídas de componentes da F4, F5 e F6 onde deram entrada nessas filas 145, 505 e 334 respetivamente. O número de peças processadas em M4 foram 138. Como explicado anteriormente a cada duas peças que são processadas no módulo M4 são embaladas em grupos de dois objetos ao entrar em M5, logo, o número de peças processadas em M4, que corresponde a 138, foi o mesmo que entrou na F7, e como o número de elementos que saiu

da F7 foi 138, corresponde à entrada de 69 objetos no módulo M5.

Os resultados obtidos para este cenário não apresentam inconsistências para o sistema proposto e assim validam o modelo implementado no simulador.

De acordo com os resultados obtidos acima construiu-se a seguinte tabela que mostra a taxa de ocupação de recursos. Essa taxa que é calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{Taxa Ocupação} = \frac{\text{Quantidade de peças processadas}}{\text{Número de recursos}} * 100 .$$

Decidiu-se que o limite médio ideal de taxa de ocupação de um recurso máquina seria de 96%.

Tabela 1 - Taxas de ocupação cenário original

Cenário Original			
SimLength=1000			
Recurso	Número de Máquinas	% Ocupação	Limite
M1	1	100,0%	96%
M2	1	99,0%	96%
M3	1	65,3%	96%
M4	1	97,5%	96%
M5	1	42,0%	96%

Pode-se observar pelos resultados obtidos na tabela que a taxa de ocupação de M1 está a 100%. M2 está com a taxa de ocupação do recurso em 99%, M3 com um percentual de ocupação do recurso de 65,3%, M4 com uma taxa de ocupação de 97,5% e finalmente, M5 tem taxa de ocupação de 42%.

Seguiu-se uma estratégia de simulação com a criação de diferentes cenários para avaliar e analisar o sistema de modo a garantir um bom funcionamento e minimizando o desperdício, ou seja, reduzir o número de recursos.

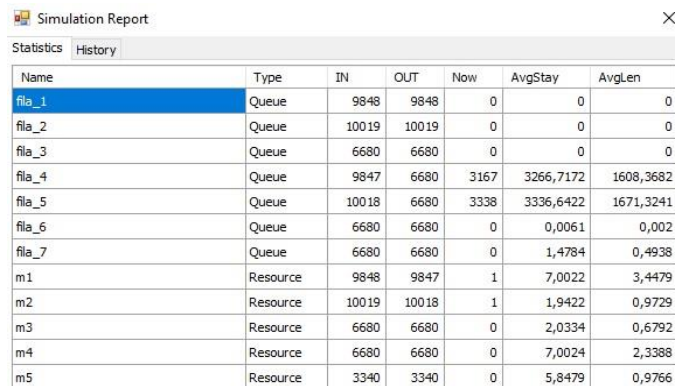
O tempo de simulação usado inicialmente de 1000 unidades de tempo não se julga ser suficiente. Posto isto decidiu-se, em primeiro lugar, aumentar o tempo de simulação e posteriormente otimizar o número de recursos, surgindo assim o próximo capítulo com novos cenários possíveis.

4 Análise de desempenho

Em seguimento da simulação do cenário original, foi crucial definir o tempo total de simulação (*SimLength*). A estratégia utilizada passou por simular o cenário do modelo original com o tempo total de simulação com valores de 1 000, 10 000 e 20 000 unidades de tempo. O tempo total de simulação foi escolhido quando a diferença percentual das taxas de ocupação da simulação do cenário atual, em comparação com a anterior, é praticamente nula. Após analisar os resultados dos três cenários gerados, foi escolhido o *SimLength* de 20 000 unidades de tempo. Deste modo, para todos os cenários descritos no presente capítulo, o tempo total de simulação é de 20 000 unidades de tempo.

4.1 Cenário 1

O método utilizado para definir a quantidade de recursos ideal, passou por escolher um número de recursos consideravelmente grande. Assim, o número de recursos de M1, M2, M3, M4 e M5 foi 80. Na figura 8 é apresentado o output da simulação do cenário 1.



Name	Type	IN	OUT	Now	AvgStay	AvgLen
fila_1	Queue	9848	9848	0	0	0
fila_2	Queue	10019	10019	0	0	0
fila_3	Queue	6680	6680	0	0	0
fila_4	Queue	9847	6680	3167	3266,7172	1608,3682
fila_5	Queue	10018	6680	3338	3336,6422	1671,3241
fila_6	Queue	6680	6680	0	0,0061	0,002
fila_7	Queue	6680	6680	0	1,4784	0,4938
m1	Resource	9848	9847	1	7,0022	3,4479
m2	Resource	10019	10018	1	1,9422	0,9729
m3	Resource	6680	6680	0	2,0334	0,6792
m4	Resource	6680	6680	0	7,0024	2,3388
m5	Resource	3340	3340	0	5,8479	0,9766

Figura 8 - Output cenário 1

Perante os resultados da variável *AvgLen*, o número médio de recursos ocupados durante a simulação é bastante baixo.

Tabela 2 - Taxas de ocupação do cenário 1

Cenário 1			
SimLength=20000			
Recurso	Número de Máquinas	% Ocupação	Limite
M1	80	4,30%	96%
M2	80	1,21%	96%
M3	80	0,80%	96%
M4	80	2,90%	96%
M5	80	1,22%	96%

Em consequência, 80 módulos por cada recurso conta-se um exagero. Através da figura 9 e, de acordo com os conceitos já abordados em relação ao output da simulação, o número médio de recursos M1, M2, M3, M4 e M5 é de 3.4479, 0.9729, 0.6792, 2.3388 e de 0.9766, respetivamente. Pela fórmula definida no cenário original, as taxas de ocupação apresentam valores muito baixos como se pode verificar na tabela 2, a percentagem de ocupação de M1 é de 4.3%, de M2 é de 1.21%, de M3 é de 0.8%, de M4 é 2.9% e de M5 é 1.22%. Em consequência e, em seguimento do método delineado para definir a quantidade de recursos ideal, o número de recursos M1, M2, M3, M4, M5 e M6, é de 4, 1, 1, 3 e 1 máquinas, respetivamente.

O intervalo de chegadas à F3 é superior ao intervalo de chegadas às F1 e F2, ou seja, os objetos chegam às F1 e F2 num intervalo de tempo menor do que os objetos que chegam a F3. Consequentemente, existem menos objetos a entrarem em F3, M3 e a chegarem a F6, quando comparados com o número de objetos que entram em F1, F2, que são processados nos M1, M2, e que entram em F4 e F5.

Relativamente às filas de espera, o tempo nas F1, F2 e F3 é nulo. Por outro lado, o tempo médio de espera nas F4 e F5 é bastante elevado, o que é justificado pela espera do objeto que sai do recurso M3 e entra na F6.

Deste modo, é necessário a simulação de um cenário 2.

4.2 Cenário 2

Em seguimento das conclusões retiradas do cenário 1, as alterações elaboradas cingem-se, apenas, ao número de recursos. Posto isto, a simulação do cenário 2 é feita para 4 recursos M1, 1 recurso M2, 1 recurso M3, 3 recursos M4 e 1 recurso M5.

Simulation Report ×

Statistics History

Name	Type	IN	OUT	Now	AvgStay	AvgLen
fila_1	Queue	10018	10018	0	6,3006	3,156
fila_2	Queue	10112	9968	144	154,8298	78,2819
fila_3	Queue	6844	6844	0	3,0558	1,0457
fila_4	Queue	10014	6843	3171	3080,0498	1542,1809
fila_5	Queue	9967	6843	3124	2945,3795	1467,8299
fila_6	Queue	6843	6843	0	3,5198	1,2043
fila_7	Queue	6840	6654	186	429,6546	146,9419
m1	Resource	10018	10014	4	6,9704	3,4915
m2	Resource	9968	9967	1	1,996	0,9948
m3	Resource	6844	6843	1	1,9819	0,6782
m4	Resource	6843	6840	3	6,9826	2,3891
m5	Resource	3327	3326	1	5,9916	0,9967

Figura 9 – Output cenário 2

De acordo com a figura 9, o número médio de recursos ocupados pelos módulos M1, M2, M3, M4 e M5 é de 3.4915, 0.9948, 0.6782, 2.3891 e de 0.9967,

respetivamente. Em consequência, a taxa média de ocupação dos recursos M1, M2, M3, M4, M5 e M6 é de 87.25%, 99%, 67.82%, 79.63%, 99%, respetivamente, conforme evidenciado na tabela 3, o que se considera bastante razoável.

O tempo médio de processamento de cada recurso, dado pela variável *AvgStay*, é de, no máximo, 7 minutos, o que se conjectura aceitável. O valor máximo encontra-se no recurso M1 com o valor de 6.9826 e o valor mínimo é 1.9819 no recurso M3.

Cenário 2			
SimLength=20000			
Recurso	Número de Máquinas	% Ocupação	Limite
M1	4	87,25%	96%
M2	1	99,00%	96%
M3	1	67,82%	96%
M4	3	79,63%	96%
M5	1	99,00%	96%

Tabela 3 - Taxas de ocupação do cenário 2

O tempo médio de permanência, das entidades, nas filas, varia consideravelmente, o que se verifica através da variável *AvgStay* da figura 9, onde o tempo médio de espera dos objetos nas F1, F2, F3, F4, F5 e F6 é de 6.3006,

de 154.8298, de 3.0558, de 3080.0498, de 2945.3795 e de 3.5198, respetivamente. Este facto pode ser justificado pela diferença nas distribuições estatísticas que determinam o intervalo entre chegadas às filas. Uma vez que o intervalo de chegadas dos objetos às F1 e F2 é inferior ao intervalo de chegadas à F3, implica que os objetos chegam com mais frequência às F1 e F2, quando comparadas com F3. Assim, as M1 e M2, processam mais objetos do que M3 e, consequentemente, F4 e F5 têm mais entradas de objetos e mais tempo de espera na fila do que F6. O número de objetos que saem de F4, F5 e F6 é igual, uma vez que entra, em simultâneo, em M4, um objeto de cada fila F4, F5 e F6. Deste modo, uma vez que a F6 é a fila com o menor número de objetos e, de acordo com a condição de entrada em M4 explicada em cima, o número de objetos que entra em M4 é igual ao número de objetos que entra na F6, uma vez que, no final da simulação, nenhum objeto se encontra na F6.

Este cenário apresenta uma taxa de ocupação de 99% para M2 e M5 o que é um valor pouco aconselhável para uma máquina que precisa de ter tempos salvaguardados para necessidades como períodos de manutenção ou avarias. Apesar deste cenário não ter problemas aparentes, resolveu-se criar mais dois cenários para justificar a escolha de um melhor cenário possível.

4.3 Cenário 3

No cenário 3, a estratégia escolhida cingiu-se na diminuição do número de recursos M1, de 4 módulos para 3, igualando ao número de módulos M4. O objetivo passa por observar o comportamento das F1 e F4, relativamente ao tempo médio de espera nas filas e o seu impacto no sistema, quando o número de recursos M1 é diminuído em uma unidade.

Simulation Report

Statistics History

Name	Type	IN	OUT	Now	AvgStay	AvgLen
fila_1	Queue	10050	8602	1448	1482,4104	744,911
fila_2	Queue	10156	9978	178	238,5024	121,111
fila_3	Queue	6549	6549	0	3,0599	1,000
fila_4	Queue	8599	6549	2050	2434,6438	1046,771
fila_5	Queue	9977	6549	3428	3453,1889	1722,621
fila_6	Queue	6549	6549	0	3,1118	1,000
fila_7	Queue	6546	6482	64	69,4128	22,718
m1	Resource	8602	8599	3	6,9705	2,999
m2	Resource	9978	9977	1	1,9978	0,999
m3	Resource	6549	6549	0	2,0127	0,655
m4	Resource	6549	6546	3	7,0086	2,222
m5	Resource	3241	3240	1	6,0296	0,977

Figura 10 - Output cenário 3

Assim, o presente cenário, contém 3 recursos M1, 1 recurso M2, 1 recurso M3, 3 recursos M4 e 1 recurso M5.

A percentagem de ocupação média de M1 é de 99%, o que se justifica pela diminuição do número de M1, como mostra na tabela 4.

Por outro lado, evidencia-se um aumento em mais de 1400 minutos do tempo médio de espera na fila 1, quando comparado com o tempo médio de espera na fila 1 do cenário 2. Pelo contrário, o tempo médio de espera na F7, agora de 69.4128, diminui aproximadamente 360 minutos. Esta última constatação não é considerada uma melhoria do sistema pois resulta de uma diminuição do número de objetos que entra em F7, menos 296 objetos do que no cenário anterior, e não de uma maior rapidez na fluidez do material ao longo do sistema.

Para além do tempo médio de espera na F1 e o aumento da taxa de ocupação de M1, o impacto de diminuir, em uma unidade, a quantidade de recursos M1, sente-se, também, pela diminuição da produtividade do sistema, dada pelo número de objetos que saem de M5. Isto é, relativamente ao cenário 2, são produzidos menos 86 objetos.

Tabela 4 - Taxas de ocupação do cenário 3

Cenário 3			
SimLength=20000			
Recurso	Número de Máquinas	% Ocupação	Limite
M1	3	99,00%	96%
M2	1	99,00%	96%
M3	1	65,90%	96%
M4	3	76,50%	96%
M5	1	97,71%	96%

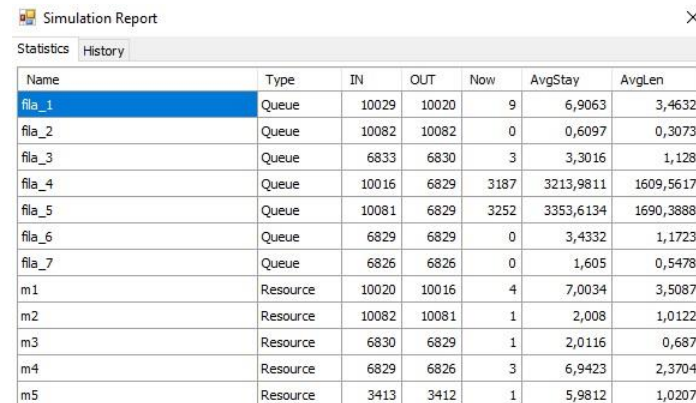
Apesar do número de M1 ser a única alteração relativamente ao cenário anterior, existem repercussões na taxa de ocupação dos recursos M4 e M5 e no tempo médio de espera nas filas F4 e F5, uma vez que se trata de um sistema que integra várias fases e, à medida que estas vão evoluindo, dependem da fase anterior.

Assim, relativamente ao cenário anterior, o cenário 3 é menos satisfatório.

4.4 Cenário 4

Comparativamente ao cenário 2, as alterações efetuadas no cenário 4 são referentes ao número de recursos M2 e M5, passando ambos para 2. Tal decisão foi tomada com vista a reduzir o tempo médio de espera da F1 e F2. Assim,

na presente simulação, encontram-se 4 recursos M1, 2 recursos M2, 1 recurso M3, 3 recursos M4 e 2 recursos M5.



Name	Type	IN	OUT	Now	AvgStay	AvgLen
fila_1	Queue	10029	10020	9	6,9063	3,4632
fila_2	Queue	10082	10082	0	0,6097	0,3073
fila_3	Queue	6833	6830	3	3,3016	1,128
fila_4	Queue	10016	6829	3187	3213,9811	1609,5617
fila_5	Queue	10081	6829	3252	3353,6134	1690,3888
fila_6	Queue	6829	6829	0	3,4332	1,1723
fila_7	Queue	6826	6826	0	1,605	0,5478
m1	Resource	10020	10016	4	7,0034	3,5087
m2	Resource	10082	10081	1	2,008	1,0122
m3	Resource	6830	6829	1	2,0116	0,687
m4	Resource	6829	6826	3	6,9423	2,3704
m5	Resource	3413	3412	1	5,9812	1,0207

Figura 11 - Output cenário 4

Todos os objetos que saem da F7, são processados pelo recurso M5, o que leva a uma otimização do processo. O mesmo acontece em relação à F2 e ao recurso M2. O tempo de espera nas filas que antecedem os recursos que sofreram alterações, diminui, também, consideravelmente. Do mesmo modo, são produzidos mais 86 objetos quando comparados com o número de objetos do cenário 2, para o mesmo tempo de simulação.

No entanto, a taxa média de ocupação dos recursos M1, M2, M3, M4 e M5, é de 87.7%, 50.61%, 68.7%, 79.01% e de 51.04%, respetivamente.

Ao dobrar o número de recursos M2 e M5, a taxa de ocupação destes fica-se pelos 50%, o que significa que temos duas máquinas a trabalhar a metade da sua capacidade.

trabalhar a metade da sua capacidade, este cenário poderá ser considerado.

Tabela 5 - Taxas de ocupação cenário 4

Cenário 4			
SimLength=20000			
Recurso	Número de Máquinas	% Ocupação	Limite
M1	4	87,70%	96%
M2	2	50,61%	96%
M3	1	68,70%	96%
M4	3	79,01%	96%
M5	2	51,04%	96%

Apesar da produtividade do sistema ser superior neste cenário, considera-se que, visto que a solução passa por ter duas máquinas a trabalhar a metade da sua capacidade, este poderá não ser um cenário viável para a empresa. No entanto, se a empresa tiver capital disponível e não considerar um problema ter duas máquinas a

5 Conclusão

Com a realização da análise de resultados obtidos na simulação é impossível decidir qual o cenário ideal para o sistema, pois os resultados obtidos nunca satisfizeram os requisitos estipulados. Porém após a geração de cenários, a melhor disposição para o sistema apresentado foi a seguinte:

- M1 – 4 módulos com uma taxa de ocupação de 87.25%
- M2 – 1 módulo com uma taxa de ocupação de 99%
- M3 – 1 módulo com uma taxa de ocupação de 67.82%
- M4 – 3 módulos com uma taxa de ocupação de 79.63%
- M5 – 1 módulo com uma taxa de ocupação de 99%

Um reparo importante do resultado da simulação foi a percentagem muito alta de ocupação do M2 e M5 (99%), que se caracteriza como uma utilização excessiva do recurso máquina, o que poderá causar problemas de produção caso haja uma avaria ou manutenção. Este facto poderá implicar que o sistema de produção fique parado, e por consequência perda de dinheiro da empresa em

questão. Para solucionar este problema poderíamos aumentar o número de recursos M2 e M5 para o dobro. O que levaria à redução para quase metade da taxa de ocupação de M1 para 50.61%, e M2 para 51.036%, tal como exposto na figura 11 do cenário 4. Esta decisão implicaria encargos para a empresa portanto, a solução iria depender do contexto económico e visão estratégica da empresa em questão. Porém os tempos de espera na F2 é 154, F4 é 3080, F5 é 2945 e F7 é 429. Estes tempos apresentam-se elevados devido à elevada taxa de chegada a estas filas. Tais resultados foram postos em estudo nos cenários em que se aumentou o número de recursos para a diminuição da espera nas filas. Em contrapartida esta decisão diminui a taxa de ocupação dos recursos o que origina um aumento dos custos financeiros para a empresa.

6 Identificação dos Autores

Foto	Número de aluno	Nome	E-mail	Data de nascimento	Local de nascimento	Escola	Áreas de interesse
	a67637	Célia Figueiredo	celianlfg@hotmail.com	24-12-1993	Barcelos	Universidade do Minho	Informática
	PG38347	Luís Freitas	luispedronovaisfreitas@outlook.pt	22-04-1996	Guimarães	Universidade do Minho	Estatística; Matemática; Informática
	A67672	Márcia Costa	marcia_210194@hotmail.com	21-01-1994	Guimarães	Universidade do Minho	Informática; Fotografia
	Pg38332	Ana Margarida Marques	amrolimmarques@hotmail.com	25-09-1997	Braga	Universidade do Minho	Estatística; Matemática; Informática; Música