

# Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

**FEUP**

## Trabalho Prático 2 - Simulação de casos de estudo

### Grupo 12

Gonçalo Resende - up201707219

Nuno Minhoto - up201604509

Pedro Aidos - up201706842

Relatório do Trabalho Prático realizado no âmbito da unidade curricular  
Sistemas de Apoio À Decisão do 4º ano do ramo de Automação do  
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Junho 2021

# 1 Resumo

Este relatório descreve a abordagem que aborda-mos de maneira a apresentar uma solução possível para cada um dos casos de estudo apresentados.

Em cada caso de estudo é primeiro feita uma descrição do problema em causa, seguido do método utilizado para o resolver e os resultados obtidos.

## Índice

<b>1</b>	<b>Resumo</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Caso 1</b>	<b>2</b>
2.1	Descrição do problema . . . . .	2
2.2	Método utilizado . . . . .	2
2.3	Solução encontrada . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Caso 2</b>	<b>3</b>
3.1	Descrição do problema . . . . .	3
3.2	Diagramas de estado dos agentes . . . . .	3
3.3	Solução encontrada . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Caso 3</b>	<b>5</b>
4.1	Descrição do problema . . . . .	5
4.2	Método utilizado . . . . .	5
4.3	Solução encontrada . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Caso 4</b>	<b>7</b>
5.1	Descrição do problema . . . . .	7
5.2	Solução encontrada . . . . .	7
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>11</b>

## 2 Caso 1

### 2.1 Descrição do problema

Neste primeiro problema foi-nos dada a tarefa de encontrar a probabilidade de uma fábrica satisfazer a procura dos vários clientes utilizando uma simulação de *Monte Carlo*. Tanto a oferta da fábrica como a procura dos clientes seguem distribuições normais com parâmetros de acordo com os apresentados de seguida:

Tabela 1: Parâmetros das distribuições normais

Parâmetros	Fábrica	Clientes
Média ( $\mu$ )	100	90
Variância ( $\sigma^2$ )	30	25

### 2.2 Método utilizado

Para realizar esta simulação recorremos à ferramenta *excel* para realizar todos os cálculos necessários. Começamos por gerar dois valores aleatórios entre 0 e 1, sendo um para usar na distribuição normal da oferta da fábrica e outra na distribuição da procura das lojas. Com estes dois valores gerados, calculamos o inverso da probabilidade da função normal para aquele valor de probabilidade, obtendo assim um valor inteiro tanto para a oferta como a procura.

De maneira a manter o problema mais perto da realidade possível, o valor obtido para oferta da fábrica foi arredondado para baixo para simular as limitações nas capacidades de produção e oferta das fábricas, enquanto que a procura das lojas foi arredondada para cima, para maximizar a procura que dos clientes.

Depois de termos valores inteiros para as duas quantidades, verifica-mos se o caso era uma situação de sucesso, ou seja, se a oferta da fábrica era maior do que a procura dos clientes.

### 2.3 Solução encontrada

De maneira a chegar a um valor estável e aceitável procede-mos à realização de 15000 situações, onde conta-mos os casos de sucesso e os dividi-mos pelo número total de testes, culminando num resultado de 91%.

Assim sendo a probabilidade de uma fábrica satisfazer a procura de vários clientes é de 91%.

### 3 Caso 2

#### 3.1 Descrição do problema

Para este segundo caso, o objetivo foi modelar o comportamento dos diversos agentes, que vão ser apresentados de seguida, numa lógica de simulação baseada em agentes.

Problema em estudo: "Uma empresa dispõe de um conjunto de máquinas de vending, distribuídas geograficamente por Portugal continental. Cada uma destas máquinas gera receitas enquanto está a funcionar. Ainda assim, por vezes as máquinas avariaram e é necessário repará-las (manutenção corretiva). Além disso, é necessário fazer uma manutenção da máquina de  $x$  em  $x$  tempo (manutenção preventiva). Uma manutenção tardia, tal como a idade avançada de uma máquina, aumentam a probabilidade de essa máquina avariar. O sistema de manutenção consiste num conjunto de equipas de manutenção, todas localizadas na sede da empresa (isto é, essa é a base das operações). Quando um pedido de manutenção é recebido pelo sistema de manutenção, uma das equipas recebe o pedido, viaja até ao equipamento em causa, e faz o trabalho necessário. Se houver alguma manutenção preventiva pendente no equipamento, esta é feita na mesma visita, depois da reparação. Depois de acabar o trabalho, a equipa pode responder a outro pedido e viajar até à localização da próxima máquina ou, se não houver pedidos, retorna à sede da empresa. A empresa pretende executar um estudo para determinar qual o melhor número de equipas de manutenção a contratar, bem como perceber se estas equipas devem estar todas localizadas na sede ou distribuídas pelo país."

#### 3.2 Diagramas de estado dos agentes

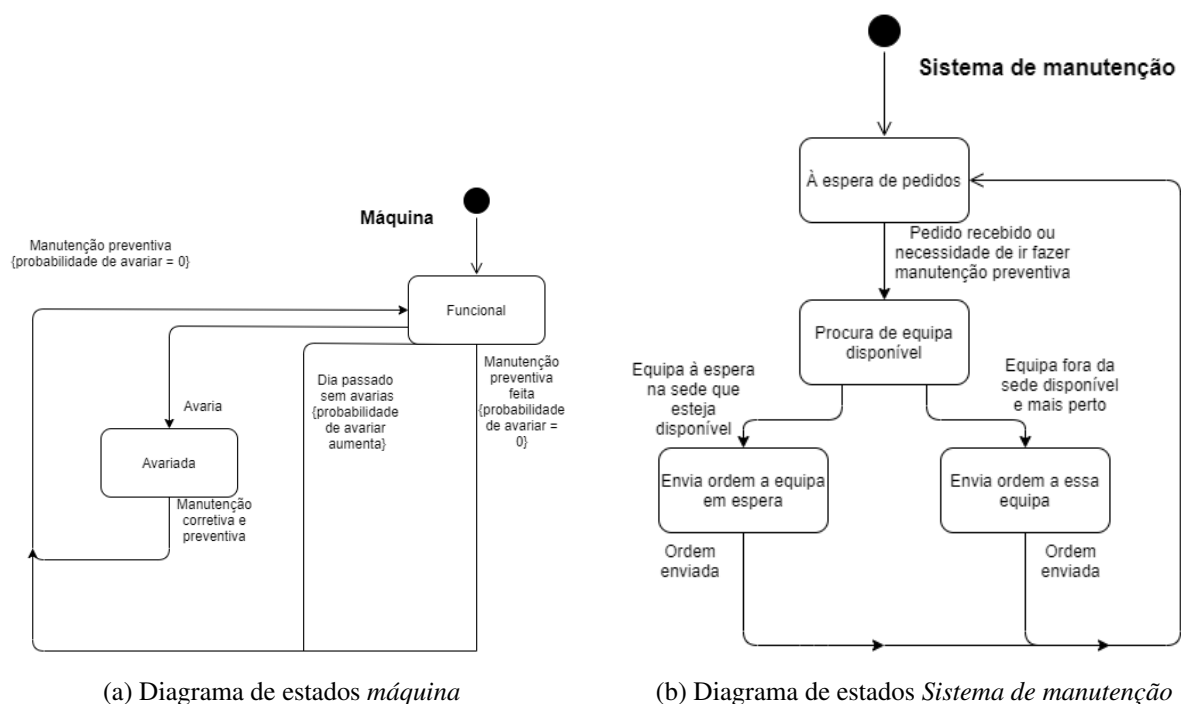


Figura 1: Diagramas dos agentes *máquina* e *sistema de manutenção*

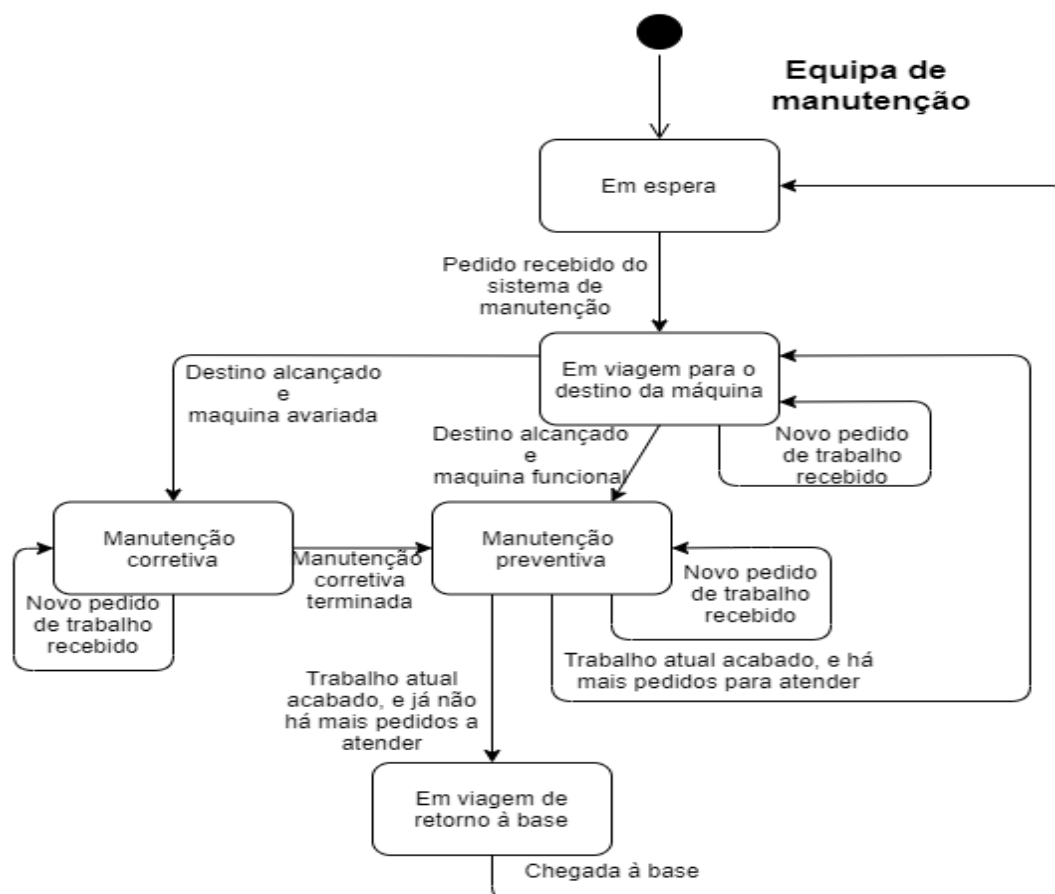


Figura 2: Diagrama de estados *equipa de manutenção*

Tal como é possível ver através das figuras 1 e 2, considera-mos 3 agentes: máquina, equipa de manutenção e o sistema de manutenção. Fazendo esta divisão foi possível uma modelação mais simples do comportamento que cada agente tem.

### 3.3 Solução encontrada

Com esta representação não nos é possível dar uma resposta concreta ao problema em questão "A empresa pretende executar um estudo para determinar qual o melhor número de equipas de manutenção a contratar, bem como perceber se estas equipas devem estar todas localizadas na sede ou distribuídas pelo país", uma vez que não temos os dados necessários para tal, como os custos das manutenções e das reparações, custos de deslocações, localizações da sede e das máquinas, entre outros. Assim sendo, o nosso cliente ao receber este diagrama iria conseguir estimar e verificar qual a melhor decisão a tomar para todas as variáveis que tem de decidir.

## 4 Caso 3

### 4.1 Descrição do problema

Neste terceiro caso fomos confrontados com um caso em que um gestor de manutenção de uma fábrica precisa de definir o período de manutenção preventiva a aplicar na máquina de pintura na fábrica de maneira a minimizar os custos.

Se a máquina falhar, o gestor terá de fazer uma **manutenção corretiva, com o custo de 5 000 euros**. Já uma manutenção preventiva, tem o custo de **manutenção preventiva, tem o custo de 500 euros**. Assume-se que este custo já representa o custo total para a fábrica (ou seja, custo da manutenção propriamente dita e custo indireto de perda de produção durante o tempo de manutenção).

Em cada dia, a probabilidade de a máquina falhar é dada pela equação:

$$p = 1 - e^{-\frac{d}{10000}} \quad (1)$$

em que  $d$  é o número de dias desde a última manutenção feita.

O objetivo final proposto foi o de encontrar o período entre manutenções preventivas a adotar para minimizar o custo total ao longo de um ano (assumindo que a máquina sofreu uma manutenção imediatamente antes do início do estudo).

### 4.2 Método utilizado

Para realizar as várias simulações necessárias para este caso construímos um programa em linguagem *Python* que gerou os valores que utilizamos posteriormente uma folha de cálculo *excel* para desenhar os gráficos da evolução dos custos com o período de manutenção.

Para cada valor possível para o período entre manutenções (desde 0 até 365), foram feitas simulações em que durante 10 anos as manutenções preventivas são feitas com o período " $p$ ". Durante cada simulação é contado o número de manutenções feitas de cada tipo, sendo no fim calculado o custo, multiplicando o custo de cada manutenção pela quantidade de vezes que cada manutenção foi feita. Uma vez que simulamos durante 10 anos, no final o custo é dividido por 10 de maneira a obtermos o custo anual.

De maneira a obter valores mais estáveis e coesos, para cada valor de período entre manutenções possível, realizamos 15 mil simulações.

Após serem gerados os valores, fizemos a média para cada período e foi com esses valores médios que elaboramos os gráficos que apresentados de seguida.

### 4.3 Solução encontrada

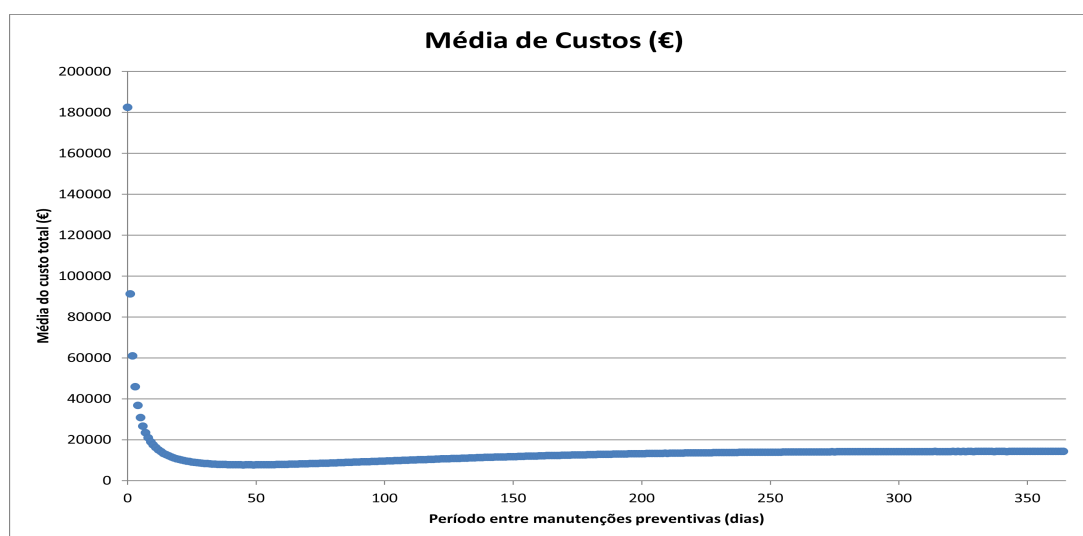


Figura 3: Gráfico da evolução do custo com o período de manutenção

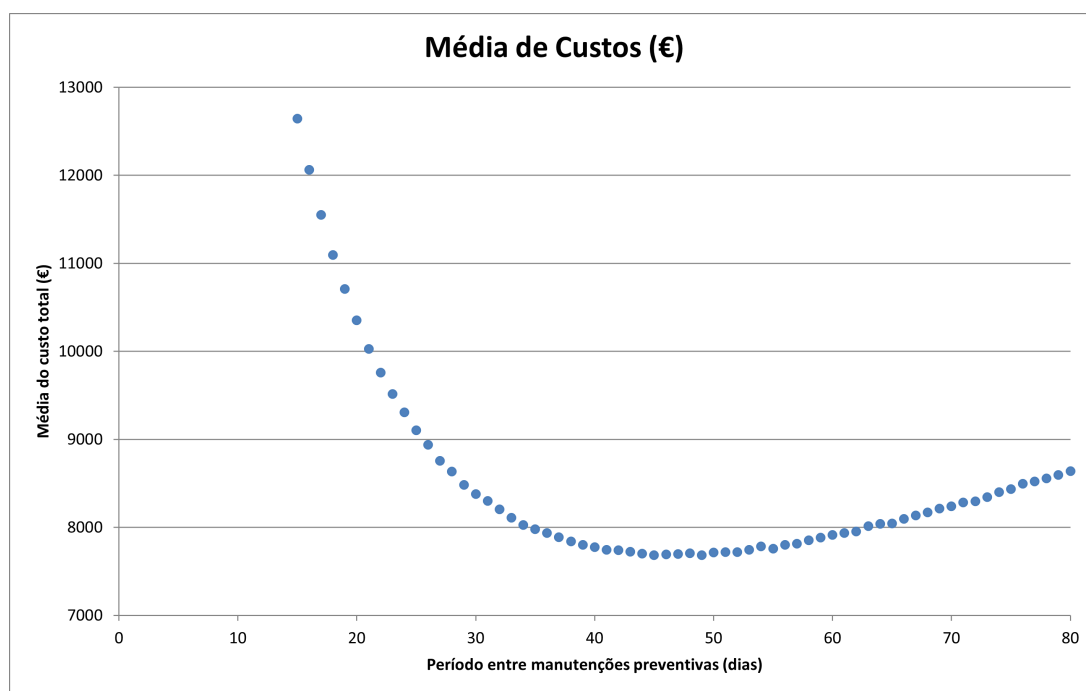


Figura 4: Curva do gráfico da evolução do custo com o período de manutenção

Como de esperado quando o período é baixo, o custo é bastante elevado, pois faz muitas manutenções preventivas durante toda a simulação, elevando o custo total.

Com o aumento do período vai fazendo menos manutenções preventivas diminuindo o custo, mas aumentando o risco de ocorrer avaria e ser necessária manutenções corretivas, que é o que podemos observar neste "vale" da figura 4.

Para períodos de manutenção ainda mais elevados, começam a ser feitas mais manutenções corretivas do que preventivas, o que volta a elevar o custo mas não tanto como inicialmente, isto porque embora o custo por reparação corretiva seja mais elevado do que para uma preventiva, as avarias ocorrem com muito menos frequência. Isto leva a que o valor do custo possa ser considerado estável a partir de um certo valor para o período entre manutenções corretivas, como é visível na figura 3.

Como solução para o problema proposto, e apoiado na observação da figura 4, qualquer valor no intervalo de 40 a 50 seria um bom número para o período entre dias de manutenções preventivas. De acordo com a folha de calculo no qual realizamos os cálculos os gráficos e desenhamos os gráficos, o valor para o período que tem o menor custo médio é 49 dias, com um custo médio de 7682,85 euros.

## Observações

O tempo de execução do programa de simulação criado, para os 10 anos escolhidos e 15 mil simulações, é bastante elevado (cerca de 3 horas) uma vez que a linguagem *Python* pode ser considerada lenta em algumas circunstâncias, no entanto trouxe a vantagem de ser possível a utilização de uma biblioteca que permite a inserção direta dos dados na folha de calculo, o seu tratamento e cálculos, assim como desenho do gráfico, diminuindo assim a carga de trabalho do utilizador.

Este tempo de execução depende diretamente dos parâmetros escolhidos, sendo o número de anos a simular apenas alterável diretamente no ficheiro de código, enquanto o número de simulações é escolhido pelo utilizador na inicialização do programa.

O algoritmo desenvolvido pode ser implementado em outras linguagens de programação, podendo ganhar em termos de diminuir em tempo de execução, mas podendo perder em funcionalidades e facilidades. Da mesma maneira a escolha de parâmetros pode diminuir o tempo de execução, no entanto a qualidade dos dados pode não ser a melhor e pouco precisa.

## 5 Caso 4

### 5.1 Descrição do problema

No problema 4 temos a linha de uma fábrica composta por 5 máquinas e um buffer à entrada de cada uma delas, esta fábrica trabalha com peças customizadas o que leva a um elevado tempo de *setups* ao trocar de ordem. É-nos dado esses tempos de *setups* para cada máquina tendo em conta a ordem anterior e é-nos dado também o tempo de maquinação. O objetivo é utilizar a ferramenta *flexsim* e simular o tempo necessário para a produção de uma determinada lista de ordens e apresentar também melhoramentos de maneira a que este tempo possa vir a ser reduzido.

### 5.2 Solução encontrada

Para começar a simulação implementa-mos no *flexsim* o *layout* de acordo com a figura 5, cada fila de espera é iniciada com uma capacidade de 1 à excepção da primeira que pode conter logo as 20 ordens diferentes, e as ordens estão por ordem crescente. Cada máquina acede à tabela dos tempos de processamento para saber o tempo de maquinação, e acede à sua tabela de *setups* na coluna com o valor da ordem atual e na linha com o valor da ordem anterior. A cada máquina está ainda associado um operador.

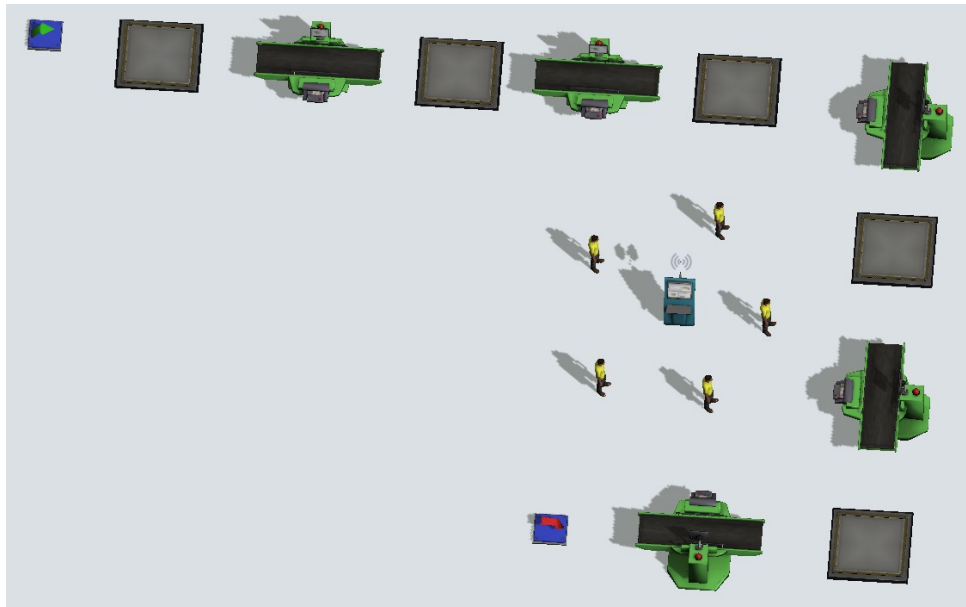


Figura 5: *Layout* da linha de produção

Tendo a linha de produção pronta, podemos simular para registar o tempo de processamento e através da opção das estatísticas podemos ver o estado de todas as máquinas e termos uma ideia onde se poderá implementar melhorias.

Para este casos inicial o tempo de processamento total foi de 1651,11s. Para se poder minimizar este tempo é útil analisar a ocupação das máquinas, essa análise pode ser feita através da figura 6.



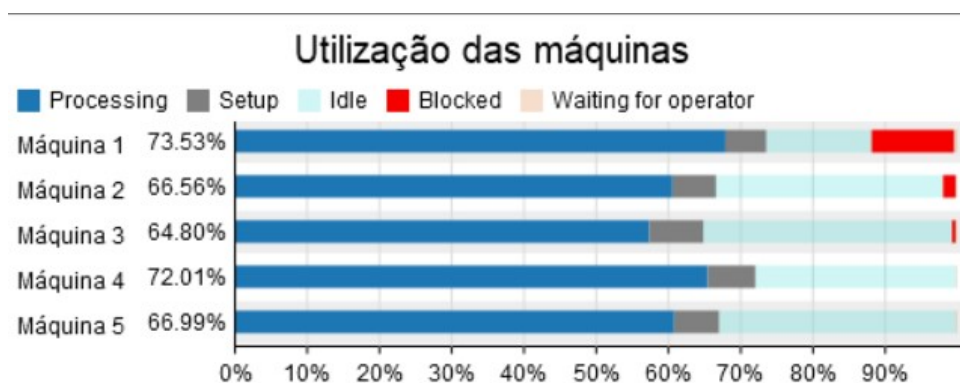


Figura 6: Estado das máquinas para o caso inicial

Após análise vemos que uma percentagem significativa do tempo gasto é pelo facto das máquinas se encontrarem bloqueadas, em especial a máquina 1, para se poder contrariar esse bloqueio podemos aumentar a capacidade da fila de espera que está a seguir à máquina. Alterando a sua capacidade para 2 conseguimos reduzir o tempo de processamento para 1587,11 s, uma redução bastante significativa. Após esta melhoria podemos ver na figura 7 que o problema da máquina 1 não foi completamente resolvido, no entanto aumentar a capacidade da fila de espera sem aumentar as outras, não vai melhorar o tempo de processamento total.

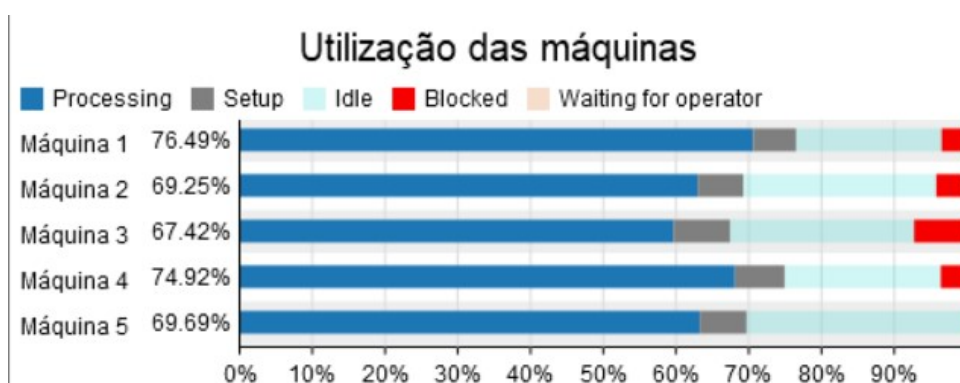


Figura 7: Utilização das máquinas aumentando a segunda fila de espera

Como ainda temos uma percentagem signficante de tempo em que as máquinas estão bloqueadas, aumentou-se mais a capacidade das filas de espera, a 2a, após a maquina 1, passou a ter uma capacidade de 3, e as restantes capacidade igual a 2. Com estas alterações passamos a não ter nenhuma máquina bloqueada como está apresentado na figura 8 e diminuímos o tempo de processamento para 1569,11 s.

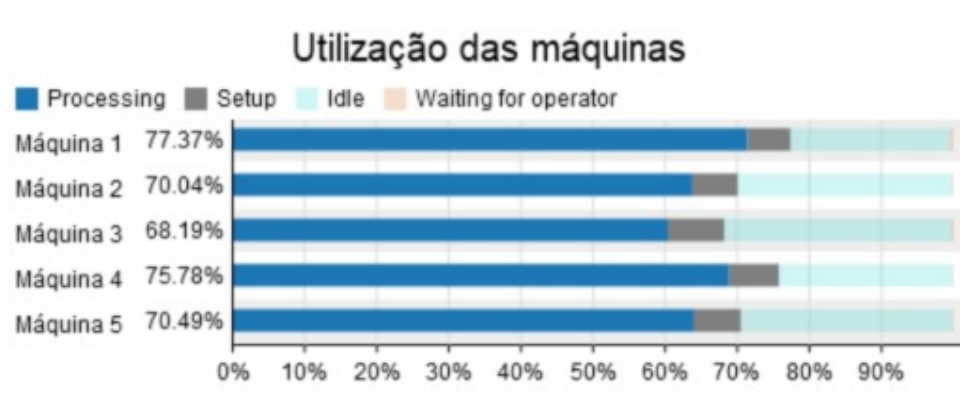


Figura 8: Utilização das máquinas aumentando a capacidade das filas de espera

Todas estas melhorias implicam custos, ou mudanças de *layout* para haver espaço disponível ao aumento das filas de espera, no entanto pode-se tentar melhorar apenas alterando a ordem pela quais as peças são fabricadas de maneira a que os tempos de *setup* sejam reduzidos. Para isso através do *flexsim*, podemos importar para a primeira máquina, as ordens, através de uma *itemList* e assim através de código escolher a ordem a processar. Com esta mudança conseguimos reduzir o tempo de 1651,11 s para 1649,11 s. Esta redução deve-se à descida do tempo de *setup* da primeira máquina como é visível na figura 9.

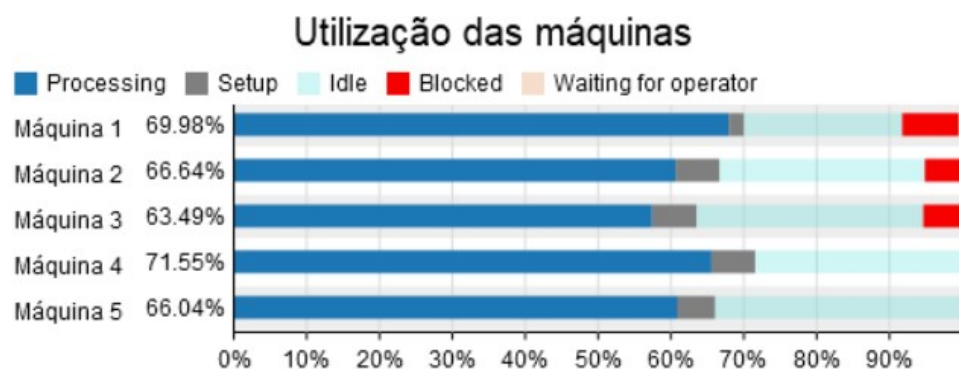


Figura 9: Utilização das máquinas usando uma sequência de ordens para minimizar os *setups*

A esta optimização pode-se ainda aumentar as filas de espera de maneira a não ter máquinas bloqueadas, assim conseguimos um *makespan* de 1630,11 s.

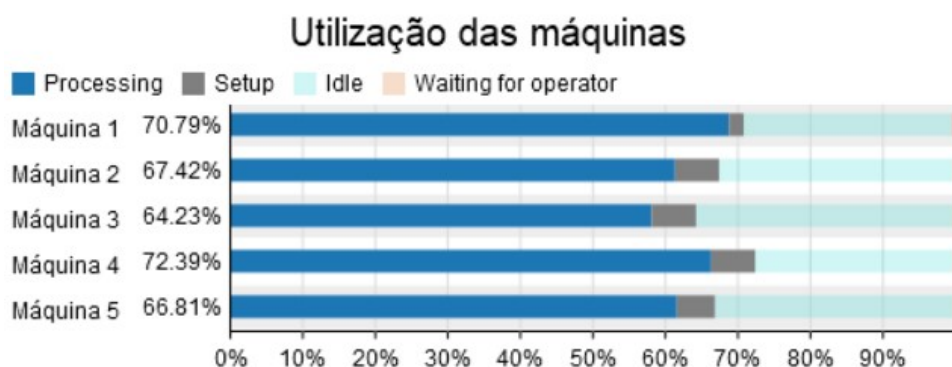


Figura 10: Utilização das máquinas usando uma sequência de ordens para minimizar os *setups* e sem máquinas bloqueadas

Foi feita ainda uma última simulação reduzindo o número de operários de 5 para 4, para isto foi usado um *dispatcher* e este geria onde eram necessários os operadores, com esta alternativa o tempo de processamento foi consideravelmente superior, de 1769,99 s. A utilização das máquinas neste caso está apresentada na figura 11.

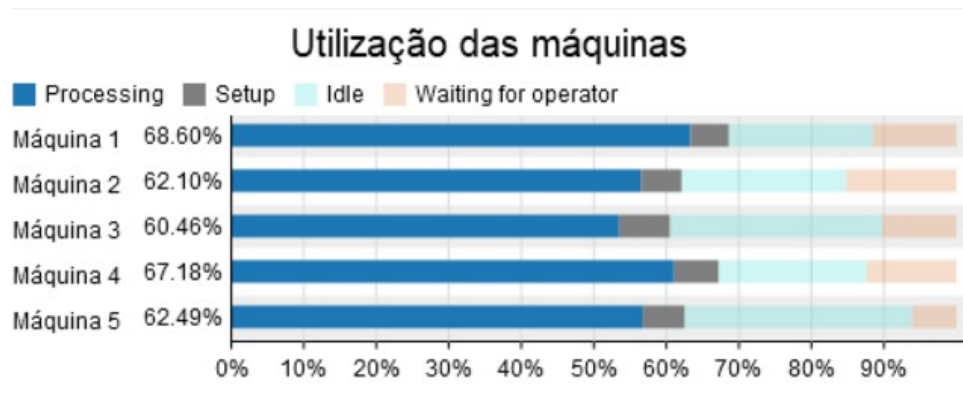


Figura 11: Utilização das máquinas sem existir bloqueios e com 4 operadores

Para concluir, a melhor opção a adotar para o reduzir o tempo de processamento das ordens seria aumentar as filas de espera, e maquinar pela ordem dada inicialmente, no entanto a esta solução acresce os custos relativos a este aumento. Usar 4 operadores dificilmente seria uma solução viável no entanto seria uma caso se quisesse reduzir os custos e o tempo apresentado acima para esta simulação seja aceitável para a empresa.

## 6 Conclusão

De acordo com os resultados apresentados em cima, podemos concluir que obtive-mos uma solução satisfatória para os problemas sugeridos.

Assim sendo, com a resolução de todos os casos de estudo que foram abordados ao longo deste relatório, foi-nos possível por em prática as temáticas abordadas nas aulas teóricas sobre simulação e perceber a importância que esta tem e o porque de esta ser essencial em muitas situações.