

# **Simulação de um Cabeleireiro**

2020 / 2021

MOSIP – Modelação e Simulação de Processos

Vasco Rodrigues 1171419, Hugo Correia 1170569

## Índice

<b>1. Introdução (Conhecer o sistema) .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Recolha de Dados.....</b>	<b>7</b>
<b>4. Definição do Modelo do Sistema .....</b>	<b>8</b>
4.1 Entidades.....	8
4.2 Atividades .....	8
4.3 Eventos.....	8
4.4 Ciclo de Atividades.....	9
4.5 Grafo de Eventos .....	10
4.6 Distribuição de probabilidade para cada fonte .....	10
<b>5. Representação do modelo no software de simulação .....</b>	<b>11</b>
<b>6. Validação o modelo .....</b>	<b>14</b>
<b>7. Experiências.....</b>	<b>15</b>
7.1 Planeamento .....	15
7.2 Execução .....	15
<b>8. Apresentação dos Resultados .....</b>	<b>17</b>
8.1 1º Cenário.....	17
8.2 2º Cenário.....	19
8.3 3º Cenário.....	20
8.4 4º Cenário.....	22
8.5 5º Cenário.....	23
<b>9. Análise de Resultados .....</b>	<b>25</b>
<b>10. Conclusões.....</b>	<b>29</b>

## Índice de figuras

Figura 1 – Ciclo de Atividades.....	9
Figura 2 – Grafo de Eventos .....	10
Figura 3 – Exemplo de distribuição uniforme discreta.....	10
Figura 4 – Interface gráfica do simulador.....	16
Figura 5 – Painel de resultados.....	16
Figura 6 – 1º Cenário parte 1.....	17
Figura 7 - 1º Cenário parte 2 .....	18
Figura 8 - 1º Cenário parte 3 .....	18
Figura 9 - 2º Cenário parte 1 .....	19
Figura 10 - 2º Cenário parte 2 .....	19
Figura 11 - 2º Cenário parte 3 .....	20
Figura 12 - 3º Cenário parte 1 .....	20
Figura 13 - 3º Cenário parte 2 .....	21
Figura 14 - 3º Cenário parte 3 .....	21
Figura 15 - 4º Cenário parte 1 .....	22
Figura 16 - 4º Cenário parte 2 .....	22
Figura 17 - 4º Cenário parte 3 .....	23
Figura 18 - 5º Cenário parte 1 .....	23
Figura 19 - 5º Cenário parte 2 .....	24
Figura 20 - 5º Cenário parte 3 .....	24
Figura 21 – Comparação de atrasos entre o cenário 1 e os restantes .....	25
Figura 22 - Comparação de atrasos entre o cenário 2 e os restantes .....	26
Figura 23 - Comparação de atrasos entre o cenário 3 e os restantes.....	26
Figura 24 - Comparação de atrasos entre o cenário 1 e o restante (cenário 5).....	26
Figura 25 – Intervalos de confiança parte 1 .....	27
Figura 26 – Intervalos de confiança parte 2 .....	27

Figura 27 – Fórmula de estimação de variância ..... 27

Figura 28 – Fórmula para o cálculo de intervalos de confiança ..... 27

# 1. Introdução (Conhecer o sistema)

Este protótipo de simulação tem por base um cabeleireiro real localizado em Vila do Conde. Um dos autores frequenta este estabelecimento com alguma frequência e com base na sua experiência decidiu realizar esta simulação de modo a melhorar o funcionamento deste local. Este autor referido anteriormente reparou na existência de algum tempo de atraso no serviço ao qual achou considerável e que pretende arranjar forma de colmatar esse problema de modo a melhorar a vida de todos os intervenientes.

Com base nesta informação, os autores decidiram criar um protótipo de um simulador para este caso ao qual posteriormente foi decidida a possibilidade de parametrização de todos os parâmetros de modo a este protótipo poder ser expandido para outros casos de estudo. Assim, parâmetros da simulação estão divididos em obrigatórios e facultativos. Os parâmetros obrigatórios como número de clientes e o número de pessoas a trabalhar no estabelecimento por cada tipo de trabalho são necessários indicar de modo que a simulação tenha o seu propósito. Os parâmetros facultativos como número de locais para corte de cabelo, lavagem de cabelo e pagamento tal como os valores temporais de cada ação tiram partido de uma funcionalidade da linguagem de programação escolhida, o Python, de modo que estes valores são opcionais e funcionam com base em valores default que são os considerados para este cabeleireiro em estudo.

## 2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivos:

- Simular um cabeleireiro variando em cada entidade, o seu número, analisando os resultados de tais variações de forma a reduzir o tempo de atraso do estabelecimento
- Permitir a flexibilidade de vários parâmetros do sistema de simulação para este protótipo ser possível de extrapolar para outros estabelecimentos
- Permitir a sua utilização com uma interface gráfica simples e intuitiva

### 3. Recolha de Dados

Num cabeleireiro, existe várias fontes de aleatoriedade como o que o cliente pretende fazer no cabeleireiro, o tempo que demora cada tarefa a ser executada. Assim, o nosso sistema de simulação pretende incorporar estas aleatoriedades de modo a ser um sistema mais próximo da realidade.

Em termos do que o cliente pretende fazer, delineamos 3 opções:

- Lavagem → Secagem → Pagamento (35% por default)
- Lavagem → Corte → Lavagem → Secagem → Pagamento (50% por default)
- Lavagem → Coloração → Lavagem → Secagem → Pagamento (15% por default)

A estas 3 opções, será dado um grau de aleatoriedade a cada uma de acontecer, visto que corte será a rotina mais comum.

Em termos do tempo que cada tarefa demora a ser feita, funcionará em termos de intervalo para cada tarefa, por exemplo, lavagem demorar entre 5 e 10 unidades de tempo.

Em termos de postos, foi verificada a existência de 2 postos de lavagem, 3 postos de secagem/corte/coloração e 1 posto de pagamento.

## 4. Definição do Modelo do Sistema

### 4.1 Entidades

Em termos de Entidades, foram delineadas as seguintes Entidades:

- Cliente Temporário
- Cabeleireira Permanente
- Cabeleireira Adjunta Permanente
- Receptionista Permanente

### 4.2 Atividades

Em termos de Atividades, foram delineadas as seguintes Atividades:

- cliente\_entrada
- cliente\_espera
- cliente\_lavagem
- cliente\_corte
- cliente\_coloração
- cliente\_secagem
- cliente\_paga
- cliente\_saida
- cabeleireira\_adjunta\_livre
- cabeleireira\_adjunta\_lava
- cabeleireira\_livre
- cabeleireira\_corta
- cabeleireira\_faz\_coloração
- cabeleireira\_seca
- receptionista\_livre
- receptionista\_recebe\_pagamento

### 4.3 Eventos

Os Eventos delineados inicialmente foram:

- Início da entrada do cliente
- Fim da entrada do cliente
- Início da lavagem



- Fim da lavagem
- Início do corte
- Fim do corte
- Início da coloração
- Fim da coloração
- Início da secagem
- Fim da secagem
- Início do pagamento
- Fim do pagamento
- Saída do cliente

No final, os Eventos que foram implementados foram:

- Entrada do cliente
- Fim da lavagem
- Fim do corte
- Fim da coloração
- Fim da secagem
- Fim do pagamento

## 4.4 Ciclo de Atividades

O seguinte fluxograma representa o ciclo de atividades do Cabeleireiro:

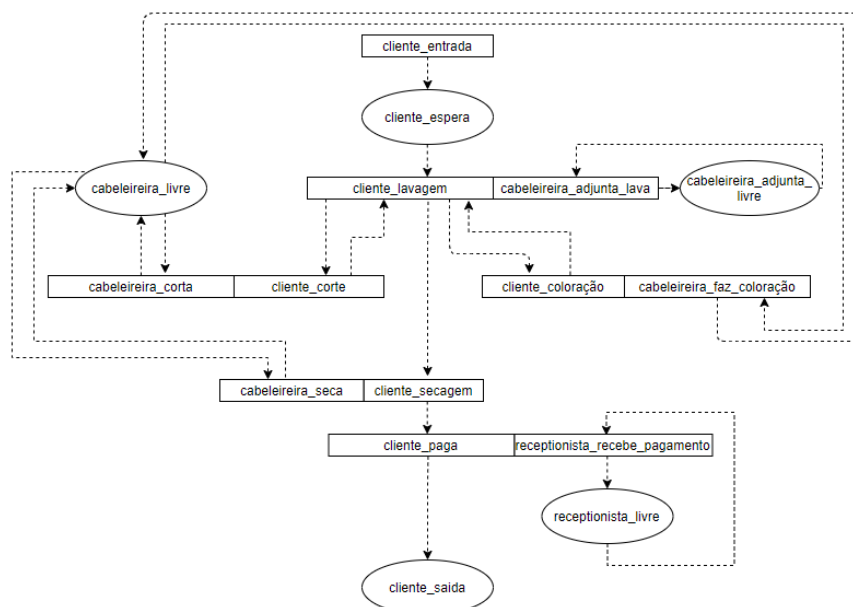


Figura 1 – Ciclo de Atividades

## 4.5 Grafo de Eventos

O seguinte grafo representa o grafo de eventos do Cabeleireiro:

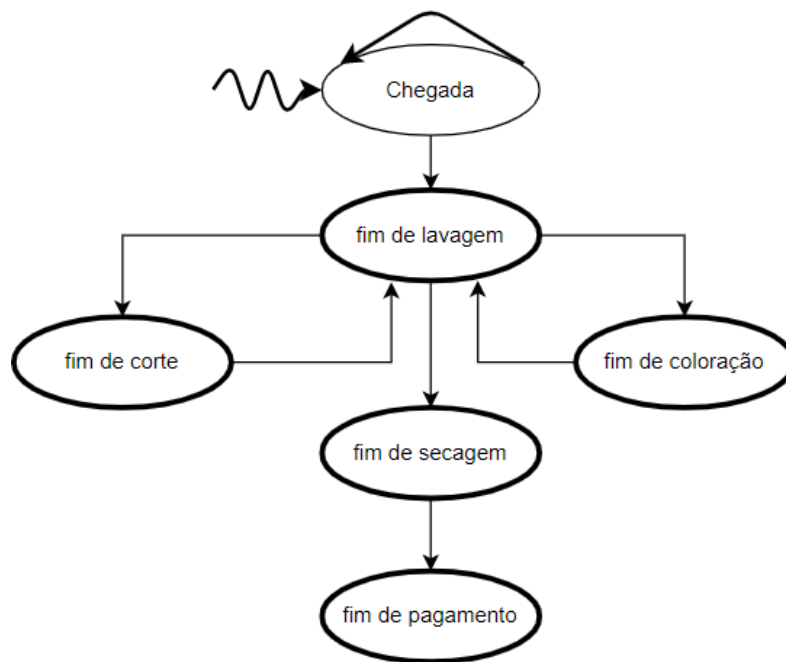


Figura 2 – Grafo de Eventos

## 4.6 Distribuição de probabilidade para cada fonte

A distribuição de probabilidade utilizada pelo sistema foi a distribuição uniforme discreta onde todos os números têm probabilidade igual de serem escolhidos.

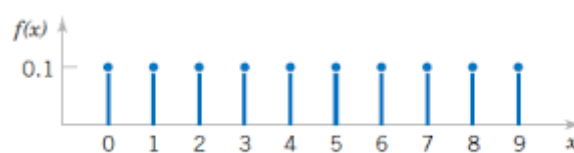


Figura 3 – Exemplo de distribuição uniforme discreta

## 5. Representação do modelo no software de simulação

Para a criação deste modelo de simulação, foi utilizada a linguagem de programação Python, aproveitando o modelo desenvolvido no caso de estudo analisado nas aulas.

Começando com a classe `events.py`, é nesta onde é realizada tudo o que tem haver com eventos desde a sua geração e armazenamento ordenado por tempo de ocorrência até à geração do tipo de evento que irá ocorrer (apenas secagem, corte ou coloração).

O `statistical_counters.py` contém todas as medidas necessárias para a geração do relatório de resultados como número de pessoas em cada posto (`num_in_queue...`), utilização dos postos (`area..._status`) e medidas de atraso por cada posto como número de clientes atrasados e o atraso total.

O `report_generator.py` pega nas medidas referidas anteriormente e gera o relatório de resultados com atraso médio de cada posto, número médio de pessoas em fila de espera e a utilização de cada posto ao longo do tempo da simulação. Por fim como resultado mais informativo também indica o tempo final da simulação.

O `simulation_status.py` encontram-se os dados referentes à simulação como relógio da simulação, fila de espera e a verificação se estão livres ou não de cada posto e cada posto com número de pessoas variáveis (cabeleireiras e cabeleireiras adjuntas). Também é aqui que se encontra a medida do tempo desde o último evento, necessária para o cálculo de algumas medidas como atrasos.

O `rotines.py` é onde se encontram todas as rotinas existentes no protótipo desta simulação.

As rotinas presentes são:

- Rotina de Inicialização – esta rotina realiza a inicialização dos parâmetros da simulação presentes no `simulation_status`, `statistical_counters` e `event`, gerando no fim a primeira chegada de um cliente
- Rotina de Temporização – nesta rotina é obtido o próximo evento a ser realizado pela simulação, atualizada a medida de tempo do último evento e o avanço do relógio da simulação
- Rotina de Atualização Estatística – aqui é atualizado todos as medidas presentes no `statistical_counters` excepto os atrasos

- Rotina do Evento de chegada de um cliente – esta rotina trata do evento de chegada de um cliente e onde é verificado se é possível lavar o cabelo desse cliente que chegou, caso seja possível é gerado esse evento senão é colocado na fila de espera
- Rotina do Evento de fim de lavagem do cabelo de um cliente – esta rotina trata do evento de lavagem do cabelo do cliente, onde a próximo evento de lavagem é gerado com base na fila de espera deste posto e como base se é a primeira lavagem ou a última, é gerado o próximo evento se o posto estiver disponível, senão é colocado na fila de espera desse próximo posto. No caso de ser a primeira lavagem, é aqui gerado a opção que o cliente ira tomar (Secção 3)
- Rotina do Evento de fim de corte do cabelo de um cliente – esta rotina trata do evento de corte do cabelo do cliente, onde a próximo evento é gerado com base na fila de espera deste posto. Posteriormente é verificado se o próximo posto, o de lavagem de cabelo, está disponível, se afirmativo é gerado esse evento senão é colocado em fila de espera.
- Rotina do Evento de fim de coloração do cabelo de um cliente – esta rotina trata do evento de coloração do cabelo do cliente, onde a próximo evento é gerado com base na fila de espera deste posto. Posteriormente é verificado se o próximo posto, o de lavagem de cabelo, está disponível, se afirmativo é gerado esse evento senão é colocado em fila de espera.
- Rotina do Evento de fim de secagem do cabelo de um cliente – esta rotina trata do evento de secagem do cabelo do cliente, onde a próximo evento é gerado com base na fila de espera deste posto. Posteriormente é verificado se o próximo posto, o de pagamento, está disponível, se afirmativo é gerado esse evento senão é colocado em fila de espera.
- Rotina do Evento de fim de pagamento do serviço por parte de um cliente – esta rotina trata do evento de pagamento do serviço por parte do cliente, onde a próximo evento é gerado com base na fila de espera deste posto.

O main.py encontra-se o método de execução da simulação, onde neste é realizado o seguinte:

- Inicialmente é chamada a Rotina de Inicialização
- Num ciclo considerando o número de clientes pretendido, é executada a Rotina de Temporização seguida da Rotina de Atualização Estatística. Posteriormente dentro do ciclo é analisado qual o próximo evento a executar e com base nele, é chamado a Rotina apropriada

- No fim é chamado o ReportGenerator do `report_generator.py` ao qual nos dá as medidas finais da simulação

## 6. Validação o modelo

Devido a não utilização de dados reais, não é possível de validar o modelo por métodos estatísticos, procedendo assim à especificação dos objetivos (Secção 2), medidas de desempenho, a potencial utilização do modelo e configurações alternativas de interesse no início do estudo de simulação (Sub-secção 7.1).

## 7. Experiências

### 7.1 Planeamento

Em termos de planeamento, foi pretendido a variação do número de elementos de cada Entidade da seguinte forma:

- Cabeleireira – entre 1-3
- Cabeleireira Adjunta – entre 1-2
- Receptionista – 1

Com esta variação pretendemos estudar como afeta as medidas de atraso dos clientes de forma a encontrar uma situação com o mínimo de atraso e sem um aumento elevado de custos associados

### 7.2 Execução

Na fase de execução da simulação, foram planeados 5 cenários diferentes a ser executados. Estes cenários são:

50 clientes -> 1 cabelereiras, 1 adjunta, 1 receptionista

50 clientes -> 2 cabelereiras, 1 adjunta, 1 receptionista

50 clientes -> 3 cabelereiras, 1 adjunta, 1 receptionista

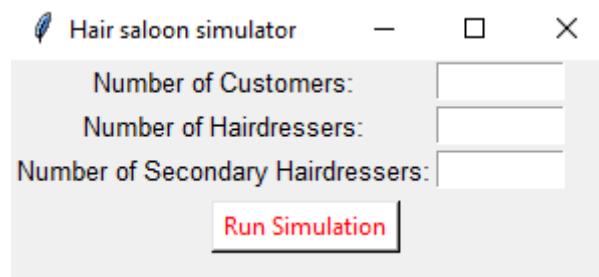
50 clientes -> 3 cabelereira, 2 adjunta, 1 receptionista

50 clientes -> 2 cabelereiras, 2 adjunta, 1 receptionista

Em todos os casos são introduzidos 50 clientes, visto que iria corresponder a uma aproximação de um salão comum. Todos os cenários apresentados anteriormente são executados 10 vezes, assegurando uma maior fiabilidade dos resultados obtidos.

São apenas considerados os casos em que o número de cabeleireiras adjuntas é igual ou inferior ao número de cabeleireiras principais do estabelecimento.

Para a execução da simulação foi elaborada uma interface gráfica simples de forma a facilitar o processo de execução e posterior leitura dos resultados da simulação.



Hair saloon simulator

Number of Customers:

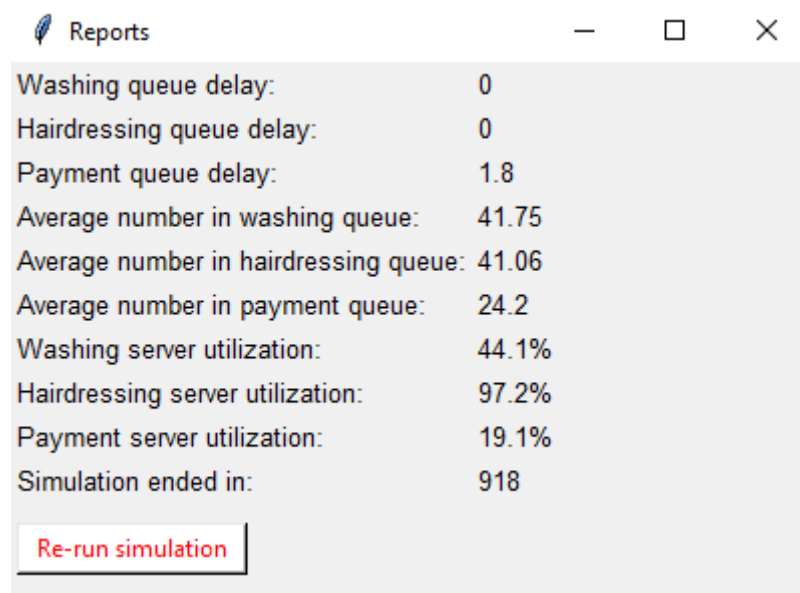
Number of Hairdressers:

Number of Secondary Hairdressers:

Run Simulation

*Figura 4 – Interface gráfica do simulador*

Após serem introduzidos os campos presentes na figura, ao clicar no botão “Run Simulation”, a simulação é iniciada e são apresentados os resultados, como consta da figura seguinte.



Reports

Washing queue delay:	0
Hairdressing queue delay:	0
Payment queue delay:	1.8
Average number in washing queue:	41.75
Average number in hairdressing queue:	41.06
Average number in payment queue:	24.2
Washing server utilization:	44.1%
Hairdressing server utilization:	97.2%
Payment server utilization:	19.1%
Simulation ended in:	918

Re-run simulation

*Figura 5 – Painel de resultados*

Por último, caso seja necessária uma nova execução da simulação, é pressionado o botão “Re-run simulation”. Desta forma, o primeiro ecrã irá aparecer novamente e será possível a nova introdução de parâmetros para a execução do simulador.



## 8. Apresentação dos Resultados

Neste capítulo estão demonstrados os resultados obtidos em cada um dos cenários estipulados no capítulo 7.2. Os cenários são os seguintes:

1ºCenário	50 clientes	1 cabeleireira	1 adjunta	1 receptionista
2ºCenário	50 clientes	2 cabeleireira	1 adjunta	1 receptionista
3ºCenário	50 clientes	3 cabeleireira	1 adjunta	1 receptionista
4ºCenário	50 clientes	3 cabeleireira	2 adjunta	1 receptionista
5ºCenário	50 clientes	2 cabeleireira	2 adjunta	1 receptionista

Por último, no fim das 10 iterações de cada cenário, encontra-se uma linha adicional a vermelho que representa a média calculada de cada coluna.

### 8.1 1º Cenário

Washing queue delay	Hairdressing queue delay	Payment queue delay	Average number in washing queue
1.50	0.00	4.60	40.32
0.00	0.00	3.83	40.27
8.00	0.00	3.84	38.51
0.00	0.00	5.35	41.44
0.00	0.00	5.76	43.16
3.00	0.00	4.31	39.89
4.00	0.00	3.17	43.10
4.00	0.00	4.14	37.21
1.67	0.00	3.28	43.80
4.00	0.00	3.46	38.45
2.62	0.00	4.17	40.61

Figura 6 – 1º Cenário parte 1

Average number in hairdressing queue ▾	Average number in payment queue ▾	Washing server utilization ▾	Hairdressing server utilization ▾
20.86	41.98	47.2%	72.0%
26.69	36.78	45.0%	67.6%
27.47	34.19	42.9%	69.0%
21.86	41.54	42.9%	72.0%
24.85	40.81	43.1%	75.5%
26.41	35.36	43.5%	69.6%
26.60	39.02	44.6%	70.7%
23.17	36.25	45.4%	65.0%
33.36	34.05	43.8%	66.7%
30.36	31.41	45.1%	66.8%
26.16	37.14	44.4%	69.5%

Figura 7 - 1º Cenário parte 2

Payment server utilization ▾	Simulation ended in ▾
20.8%	908
20.3%	922
19.6%	906
20.9%	885
19.1%	922
22.3%	873
19.7%	921
20.4%	881
19.7%	943
18.3%	926
20.1%	908.7

Figura 8 - 1º Cenário parte 3

## 8.2 2º Cenário

Washing queue delay	Hairdressing queue delay	Payment queue delay	Average number in washing queue
0.00	0.00	3.61	39.46
18.00	0.00	4.97	40.76
1.00	0.00	5.70	39.12
0.00	0.00	3.36	41.90
0.00	0.00	2.85	40.70
5.50	0.00	3.77	42.38
0.00	0.00	3.45	38.11
0.00	0.00	4.19	41.16
3.00	0.00	3.38	40.49
1.00	0.00	5.42	45.31
2.85	0.00	4.07	40.94

Figura 9 - 2º Cenário parte 1

Average number in hairdressing queue	Average number in payment queue	Washing server utilization	Hairdressing server utilization
23.32	39.15	45.0%	69.6%
15.84	46.82	37.9%	78.3%
27.04	34.72	43.1%	68.5%
27.72	36.27	44.4%	65.2%
33.90	30.21	47.4%	63.1%
31.04	33.82	42.8%	66.3%
27.32	33.35	46.9%	61.9%
27.86	35.87	44.1%	66.1%
27.67	35.45	47.6%	62.9%
30.84	37.49	43.8%	66.2%
27.26	36.31	44.3%	66.8%

Figura 10 - 2º Cenário parte 2

Payment server utilization	Simulation ended in
19.3%	951
18.6%	897
21.8%	904
19.8%	892
20.7%	921
18.9%	922
20.9%	908
20.0%	920
20.4%	897
17.8%	945
19.8%	915.7

Figura 11 - 2º Cenário parte 3

### 8.3 3º Cenário

Washing queue delay	Hairdressing queue delay	Payment queue delay	Average number in washing queue
2.00	0.00	3.76	40.80
0.00	0.00	4.17	43.43
3.00	0.00	2.73	39.56
5.00	0.00	4.00	38.75
0.00	0.00	5.34	38.33
2.00	0.00	3.35	43.81
0.00	0.00	5.35	42.12
0.00	0.00	4.04	39.47
0.00	0.00	3.67	37.99
0.00	0.00	3.48	42.65
1.20	0.00	3.99	40.69

Figura 12 - 3º Cenário parte 1

Average number in hairdressing queue ▾	Average number in payment queue ▾	Washing server utilization ▾	Hairdressing server utilization ▾
27.76	34.98	43.6%	97.2%
34.02	32.41	42.2%	97.1%
31.93	30.02	44.8%	97.1%
27.94	33.88	44.9%	97.0%
22.38	37.77	43.0%	97.1%
29.69	37.02	43.7%	97.5%
20.18	44.95	43.3%	97.3%
24.68	38.39	44.0%	97.3%
34.07	26.21	45.5%	97.0%
29.18	36.66	44.9%	97.5%
28.18	35.23	44.0%	97.2%

Figura 13 - 3º Cenário parte 2

Payment server utilization ▾	Simulation ended in ▾
22.5%	888
18.7%	920
22.7%	884
19.6%	906
19.2%	895
21.0%	945
19.4%	943
18.7%	949
22.5%	887
19.9%	929
20.4%	914.6

Figura 14 - 3º Cenário parte 3

## 8.4 4º Cenário

Washing queue delay	Hairdressing queue delay	Payment queue delay	Average number in washing queue
4.00	0.00	3.33	36.88
0.00	0.00	2.20	40.73
5.00	0.00	1.67	40.17
2.00	0.00	1.67	40.59
2.67	0.00	2.25	44.60
0.00	0.00	3.55	41.93
2.00	0.00	2.44	45.27
7.00	0.00	3.60	42.79
0.00	0.00	2.00	43.05
1.00	0.00	1.33	38.58
2.37	0.00	2.40	41.46

Figura 15 - 4º Cenário parte 1

Average number in hairdressing queue	Average number in payment queue	Washing server utilization	Hairdressing server utilization
34.94	26.54	43.9%	97.7%
40.05	23.46	43.8%	97.8%
38.27	24.95	41.2%	97.5%
38.86	24.17	46.1%	97.7%
40.35	27.92	41.1%	97.8%
38.54	25.87	41.9%	97.6%
36.95	32.43	48.3%	97.4%
41.61	25.59	41.8%	97.3%
41.14	24.85	43.7%	97.4%
37.94	24.31	43.5%	97.5%
38.87	26.01	43.5%	97.6%

Figura 16 - 4º Cenário parte 2

Payment server utilization	Simulation ended in
20.1%	955
19.3%	934
19.5%	933
21.5%	924
18.7%	943
21.1%	906
19.8%	948
19.4%	958
19.4%	932
20.3%	920
19.9%	935.3

Figura 17 - 4º Cenário parte 3

## 8.5 5º Cenário

Washing queue delay	Hairdressing queue delay	Payment queue delay	Average number in washing queue
0.00	0.00	2.00	39.68
0.00	0.00	2.67	42.03
0.00	0.00	2.22	40.61
4.00	0.00	2.40	41.75
2.00	0.00	3.00	44.07
0.00	0.00	1.60	40.23
0.00	0.00	2.00	40.17
0.00	0.00	2.00	37.49
0.00	0.00	1.86	43.06
1.00	0.00	1.56	43.03
0.70	0.00	2.13	41.21

Figura 18 - 5º Cenário parte 1

Average number in hairdressing queue ▾	Average number in payment queue ▾	Washing server utilization ▾	Hairdressing server utilization ▾
38.37	25.37	45.5%	97.1%
40.62	24.74	41.7%	97.2%
36.43	27.31	44.7%	97.4%
36.73	28.24	45.9%	97.1%
42.69	24.91	43.2%	97.2%
37.37	25.48	46.4%	97.1%
39.24	23.84	47.4%	97.1%
36.90	24.52	41.2%	97.7%
41.25	26.29	43.2%	97.3%
42.39	24.05	40.3%	97.5%
39.20	25.47	43.9%	97.3%

Figura 19 - 5º Cenário parte 2

Payment server utilization ▾	Simulation ended in ▾
20.3%	957
21.3%	921
20.0%	916
20.0%	935
20.9%	938
21.3%	905
21.1%	908
19.6%	947
19.5%	952
18.9%	947
20.3%	932.6

Figura 20 - 5º Cenário parte 3



## 9. Análise de Resultados

De forma a obter feedback a partir dos resultados obtidos, procedeu-se ao cálculo dos intervalos de confiança entre cenários. Para tal, agruparam-se os cenários da seguinte forma:

- Cenário 1 e 2
- Cenário 1 e 3
- Cenário 1 e 4
- Cenário 1 e 5
- Cenário 2 e 3
- Cenário 2 e 4
- Cenário 2 e 5
- Cenário 3 e 4
- Cenário 3 e 5
- Cenário 4 e 5

Tendo o trabalho como objetivo a diminuição do tempo de espera dos clientes, foi decidido utilizar os tempos de atraso nas estações de lavagem, visto que estes eram os mais relevantes para o fundamento da simulação.

Foram elaboradas as seguintes tabelas para demonstrar os resultados obtidos nos grupos de cenários:

Cenário 1 e 2	Cenário 1 e 3	Cenário 1 e 4	Cenário 1 e 5
1.5	-0.5	-2.5	1.5
-18	0	0	0
7	5	3	8
0	-5	-2	-4
0	0	-2.67	-2
-2.5	1	3	3
4	4	2	4
4	4	-3	4
-1.33	1.67	1.67	1.67
3	4	3	3
-0.233	1.417	0.25	1.917

Figura 21 – Comparação de atrasos entre o cenário 1 e os restantes

Cenário 2 e 3	Cenário 2 e 4	Cenário 2 e 5
-2	-4	0
18	18	18
-2	-4	1
-5	-2	-4
0	-2.67	-2
3.5	5.5	5.5
0	-2	0
0	-7	0
3	3	3
1	0	0
1.65	0.483	2.15

Figura 22 - Comparação de atrasos entre o cenário 2 e os restantes

Cenário 3 e 4	Cenário 3 e 5
-2	2
0	0
-2	3
3	1
-2.67	-2
2	2
-2	0
-7	0
0	0
-1	-1
-1.167	0.5

Figura 23 - Comparação de atrasos entre o cenário 3 e os restantes

Cenário 4 e 5
4
0
5
-2
0.67
0
2
7
0
0
1.667

Figura 24 - Comparação de atrasos entre o cenário 1 e o restante (cenário 5)

Após obtidos os valores acima referidos, foram calculados os intervalos de confiança, de acordo com as figuras seguintes.

	Cenário 1 e 2	Cenário 1 e 3	Cenário 1 e 4	Cenário 1 e 5
<b>Z(J)</b>	-0.233	1.417	0.25	1.917
	423.72601	81.96001	59.5428	102.29001
<b>Var</b>	4.708066778	0.910666778	0.661586667	1.136555667
<b>Intervalo (-)</b>	-4.210258073	-0.332211048	-1.240925137	-0.037149657
<b>Intervalo (+)</b>	3.744258073	3.166211048	1.740925137	3.871149657

Figura 25 – Intervalos de confiança parte 1

	Cenário 2 e 3	Cenário 2 e 4	Cenário 2 e 5	Cenário 3 e 4	Cenário 3 e 5	Cenário 4 e 5
<b>Z(J)</b>	1.65	0.483	2.15	-1.167	0.5	1.667
	352.025	457.04601	338.025	68.51001	20.5	70.66001
<b>Var</b>	3.911388889	5.078289	3.755833333	0.761222333	0.227777778	0.7851112
<b>Intervalo (-)</b>	-1.975166548	-3.647676379	-1.402348956	-2.766256873	-0.374818867	0.0428428
<b>Intervalo (+)</b>	5.275166548	4.613676379	5.702348956	0.432256873	1.374818867	3.2911572

Figura 26 – Intervalos de confiança parte 2

Primeiro é calculado o campo Z(J) que corresponde à média da subtração dos tempos de espera em cada conjunto de cenários. De seguida é calculada a variância (Var) através da seguinte fórmula:

$$Var[\bar{Z}(n)] = \frac{\sum_{j=1}^n [Z_j - \bar{Z}(n)]^2}{n(n-1)}$$

Figura 27 – Fórmula de estimação de variância

Neste caso, a variável “n” tem como valor 10, visto que corresponde ao número de iterações percorridas.

Por último, são calculados os intervalos utilizando a seguinte fórmula:

$$\bar{Z}(n) \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{Var[\bar{Z}(n)]}$$

Figura 28 – Fórmula para o cálculo de intervalos de confiança

Tendo esta fórmula, o valor atribuído a “a” seria 0,10, visto que os intervalos de confiança seriam calculados para 90%.

Segundo os resultados obtidos, é possível concluir alguns aspetos acerca do sistema:

- O cenário 2 aparenta ser menos eficiente que o 1 (cenário padrão), sendo, portanto, descartável
- O melhor cenário é o 5, tornando logo o cenário 4 desnecessário visto que o cenário 4 conta com mais pessoas que o cenário 5 e que pretendemos melhorar o serviço em um aumento considerável do custo
- Em situações em que não seja possível avançar com o cenário 5, deverá então optar-se pelo cenário 3

## 10. Conclusões

Através da realização deste trabalho foi possível desenvolver uma simulação de um cabeleireiro capaz de determinar os vários atrasos possíveis de um sistema deste carácter. Desta forma tornam-se evidentes as ocasiões onde poderá ser mais vantajoso existirem mais estações, ou onde não se justifique tal opção, maximizando assim o desempenho do sistema enquanto assegurando que os recursos existentes não são desperdiçados.