



Projeto

Mestrado em Gestão

## ***Gestão de Filas de Espera com Recurso à Simulação***

**Miguel Jorge**

Leiria, *março de 2017*



Projeto

Mestrado em Gestão

## ***Gestão de Filas de Espera com Recurso à Simulação***

**Miguel Jorge**

Projeto de Mestrado realizado sob a orientação do Doutor Pedro Carreira,  
Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria,

*Leiria, março de 2017*

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Dedicatória

---

**À Marta**  
**À minha Avó**

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Agradecimentos

---

À coordenadora do Mestrado em Gestão, a Professora Doutora Lígia Febra, agradeço a oportunidade e privilégio de frequentar este Mestrado que tanto contribuiu para o enriquecimento da minha formação, tanto académica, como profissional e pessoal.

Agradeço também de uma forma especial ao meu orientador, o Professor Pedro Carreira, por todo o tempo, disponibilidade, dedicação, partilha de ideias e paciência despendida neste projeto.

À Marta, por todo o incentivo, ajuda e paciência com que sempre me brindaste, por nunca duvidares das minhas capacidades e por estares sempre ao meu lado em todas as novas etapas a que me proponho.

E, em especial, à minha avó, por toda a confiança que sempre depositou em mim, por toda a ajuda que sempre me deu, especialmente nas alturas mais difíceis, por ter sido um dos principais apoios e incentivos durante todo o meu percurso académico e pessoal, e por ter estado sempre ao meu lado.

A todos vós, o meu maior obrigado.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Resumo

---

A inadequada gestão das filas de espera provoca em muitas empresas gastos excessivos, perdas na sua receita, além de poder passar para o exterior uma imagem de falta de organização ou de má gestão. Como tal, é de extrema importância uma correta gestão das mesmas, para que cada organização possa encontrar um ponto de equilíbrio entre o custo associado ao excesso de capacidade e o custo associado à fila de espera.

Cada vez mais a simulação tem vindo a ser reconhecida como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão na gestão. Neste projeto, será utilizada a simulação de Monte Carlo como uma ferramenta de apoio à gestão de filas de espera com o objetivo de encontrar um ponto de equilíbrio nos custos associados à gestão de filas de espera.

Este projeto teve como objetivo principal avaliar o desempenho do sistema de serviço de uma estação de lavagem automóvel semiautomática e propor formas de o melhorar, com recurso aos indicadores: percentagem de capacidade utilizada, tempo médio de espera, percentagem de clientes perdidos, receita perdida por semana e receita total por semana. Foram igualmente analisados os impactos de alterações no número de postos de lavagem, no comprimento máximo da fila de espera e no grau de paciência dos clientes da estação de lavagem.

Os resultados obtidos permitem concluir que o número atual de postos da estação de lavagem aparenta ser excessivo, ainda que tal proporcione alguma imunidade a alterações no comprimento máximo da fila de espera ou no grau de paciência dos clientes. Em concreto, o que parece adequar-se à empresa é uma redução do número de postos de lavagem de três para dois, prevendo-se que tal resulte numa redução de custos sem comprometer a receita.

*Palavras-chave: Filas de espera, Simulação, Simulação de Monte Carlo, Avaliação de desempenho.*

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Abstract

---

The inadequate management of waiting lines causes, in many companies, excessive spending, revenue losses and an image of lack of organization or mismanagement. As such, it is extremely important to manage waiting lines correctly, so that each organization can find the balance between capacity costs and the costs associated with the customer having to wait in queue.

Simulation has been recognized as a tool to support decision-making in management. In this project, Monte Carlo simulation will be used as a tool to support waiting line management in order to find a balance in the costs associated with the existence of queues.

The main goal of this project is to evaluate the performance of a semiautomatic automobile washing station's service system and to propose strategies to improve it, using the indicators: capacity utilization rate, average waiting time, percentage of lost customers, revenue lost per week and total revenue per week. The impact of adjustments in the number of washing stations, maximum length of the queue and customers' patience level was also analyzed.

The results obtained allowed to conclude that the current number of washing stations appears to be excessive, even though this may provide some immunity to changes in the maximum length of the queue or in the customers' level of patience. Therefore, what seems to fit the company is a reduction of the number of washing stations from three to two. It seems a profitable strategy for the company as it is expected to result in a reduction of costs without compromising revenue.

*Keywords: Waiting lines, Simulation, Monte Carlo Simulation, Performance Evaluation.*

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Lista de figuras

---

Figura 1 - Tipos de condições para as filas de espera por Ackoff & Van Voorhis (1956). .....	4
Figura 2 - O problema da gestão de filas de espera por Chase <i>et al.</i> (1995).....	8
Figura 3 - Distribuição para os tempos de chegada para os dias da semana.....	24
Figura 4 - Distribuição para a duração da lavagem nos dias da semana.....	24
Figura 5 - Distribuição para os tempos entre chegadas ao fim-de-semana.....	25
Figura 6 - Distribuição para a duração da lavagem ao fim-de-semana.....	25
Figura 7 - Percentagem da capacidade utilizada para a capacidade atual (dias úteis)	30
Figura 8 - Percentagem da capacidade utilizada para a capacidade atual (fim-de-semana) .....	30
Figura 9 - Tempo médio de espera, em minutos, para a capacidade atual (dias úteis) .....	31
Figura 10 - Tempo médio de espera, em minutos, para a capacidade atual (fim-de-semana) .....	31
Figura 11 - Percentagem de clientes perdidos para a capacidade atual (dias úteis)...	32
Figura 12 - Percentagem de clientes perdidos para a capacidade atual (fim-de-semana) .....	32
Figura 13 - Receita perdida, por semana, para a capacidade atual (dias úteis).....	33
Figura 14 - Receita perdida, por semana, para a capacidade atual (fim-de-semana).	33
Figura 15 - Receita semanal para a capacidade atual (dias úteis) .....	34
Figura 16 - Receita semanal para a capacidade atual (fim-de-semana).....	34
Figura 17 - Percentagem da capacidade utilizada para 1 posto de lavagem (dias úteis) .....	35
Figura 18 - Percentagem da capacidade utilizada para 1 posto de lavagem (fim-de-semana) .....	36
Figura 19 - Tempo médio de espera, em minutos, para 1 posto de lavagem (dias úteis) .....	37
Figura 20 - Tempo médio de espera, em minutos, para 1 posto de lavagem (fim-de-semana) .....	37
Figura 21 – Percentagem de clientes perdidos, para 1 posto de lavagem (dias úteis) .....	38

Figura 22- Percentagem de clientes perdidos, para 1 posto de lavagem (fim-de-semana)	38
.....	
Figura 23 - Receita perdida, por semana, para 1 posto de lavagem (dias úteis).....	39
Figura 24- Receita perdida, por semana, para 1 posto de lavagem (fim-de-semana)	39
Figura 25 - Receita total por semana, para 1 posto de lavagem (dias úteis).....	40
Figura 26 - Receita total por semana, para 1 posto de lavagem (fim-de-semana).....	40
Figura 27 - Percentagem da capacidade utilizada, para dois postos de lavagem (dias úteis).....	41
Figura 28 - Percentagem da capacidade utilizada para dois postos de lavagem (fim-de-semana) .....	42
Figura 29 - Tempo médio de espera para dois postos de lavagem (dias úteis).....	42
Figura 30 - Tempo médio de espera para dois postos de lavagem (fim-de-semana).	43
Figura 31 - Percentagem de clientes perdidos para dois postos de lavagem (dias úteis)	
.....	43
Figura 32 - Percentagem de clientes perdidos para dois postos de lavagem (fim-de-semana) .....	44
Figura 33 - Receita perdida para dois postos de lavagem (dias úteis) .....	44
Figura 34 - Receita perdida para dois postos de lavagem (fim-de-semana).....	45
Figura 35 - Receita total para dois postos de lavagem (dias úteis).....	45
Figura 36 - Receita total para dois postos de lavagem (fim-de-semana).....	46
Figura 43 - Percentagem da capacidade utilizada para três lugares disponíveis (dias úteis).....	48
Figura 44 - Percentagem da capacidade utilizada para três lugares disponíveis (fim-de-semana) .....	49
Figura 45 - Tempo médio de espera para três lugares disponíveis (dias úteis) .....	49
Figura 46 - Tempo médio de espera para três lugares disponíveis (fim-de-semana)	50
Figura 47 – Percentagem de clientes perdidos para três lugares disponíveis (dias úteis)	
.....	50
Figura 48 - Percentagem de clientes perdidos para três lugares disponíveis (fim-de-semana) .....	51
Figura 49- Receita perdida para três lugares disponíveis (dias úteis).....	51
Figura 50 - Receita perdida para três lugares disponíveis (fim-de-semana).....	52
Figura 51 - Receita total por semana com três lugares disponíveis (dias úteis) .....	52
Figura 52 - Receita total por semana com três lugares disponíveis (fim-de-semana)	53

Figura 53 - Percentagem da capacidade utilizada para dois lugares disponíveis (dias úteis).....	54
Figura 54- Percentagem da capacidade utilizada para dois lugares disponíveis (fim-de-semana) .....	54
Figura 55 - Tempo médio de espera para dois lugares disponíveis (dias úteis).....	55
Figura 56 - Tempo médio de espera para dois lugares disponíveis (fim-de-semana)	55
Figura 57 - Percentagem de clientes perdidos para dois lugares disponíveis (dias úteis) .....	56
Figura 58 - Percentagem de clientes perdidos para dois lugares disponíveis (fim-de-semana) .....	56
Figura 59 - Receita perdida para dois lugares disponíveis (dias úteis) .....	57
Figura 60 - Receita perdida para dois lugares disponíveis (fim-de-semana).....	57
Figura 61 - Receita total para dois lugares disponíveis (dias úteis).....	58
Figura 62 - Receita total para dois lugares disponíveis (fim-de-semana).....	58

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Lista de tabelas

---

Tabela 1 - Nomenclaturas utilizadas no modelo de Kendall. ....	9
Tabela 2 - Modelos de filas de espera definidos por Chase et al (2006) .....	9
Tabela 3 - Nomenclatura para modelos de gestão de filas de espera (Chase <i>et al.</i> , 2006) .....	10
Tabela 4 - Fórmulas para o modelo 1 (Chase <i>et al.</i> , 2006) .....	11
Tabela 5 - Fórmulas para o modelo 2 (Chase <i>et al.</i> , 2006) .....	12
Tabela 6 - Fórmulas para o modelo 3 (Chase <i>et al.</i> , 2006) .....	12
Tabela 7 - Fórmulas para o modelo 4 (Chase <i>et al.</i> , 2006) .....	13

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Índice

---

<b>DEDICATÓRIA</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>XVII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Gestão de filas de espera</b>	<b>3</b>
2.1.1. Definição e caracterização de filas de espera	3
2.1.2. O problema da gestão de filas de espera	7
2.1.3. Modelos de gestão de filas de espera	8
<b>2.2. Estudos de simulação</b>	<b>13</b>
2.2.1. Fases de um estudo de simulação	16
2.2.2. <i>Softwares</i> de simulação	17
2.2.2.1. @Risk	18
2.2.2.2. Método de Monte Carlo	19
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
<b>3.1. Processo de recolha de dados</b>	<b>21</b>
<b>3.2. Amostra</b>	<b>22</b>

3.3. O modelo de simulação	23
3.4. Indicadores de desempenho	27
3.4.1. Percentagem da capacidade utilizada	27
3.4.2. Tempo médio de espera	27
3.4.3. Percentagem de clientes perdidos	28
3.4.4. Receita perdida	28
3.4.5. Receita total	28
<b>4. RESULTADOS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO</b>	<b>29</b>
4.1. Desempenho do sistema atual	29
4.2. Análise de sensibilidade ao número de postos de lavagem	35
4.2.1. Um posto de lavagem	35
4.2.2. Dois postos de lavagem	41
4.3. Análise de sensibilidade ao comprimento máximo da fila / grau de paciência dos clientes	47
4.3.1. Três lugares disponíveis	48
4.3.2. Dois lugares disponíveis	53
<b>5. CONCLUSÃO</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>63</b>

# 1. Introdução

---

“A teoria das filas de espera é muitas vezes utilizada como orientação na determinação da capacidade necessária para satisfazer a procura instável. Uma fila de espera acontece sempre que a carga excede a oferta” (Pinto, 2006).

O presente relatório insere-se no âmbito da unidade curricular de Projeto do Mestrado em Gestão da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, para obtenção do grau de Mestre, tendo como objetivo geral analisar o desempenho do sistema de gestão da fila de espera de uma estação de lavagem automóvel semiautomática que preferiu manter o anonimato.

Como objetivos específicos, o presente projeto pretende:

1. Avaliar o desempenho do sistema atual através de indicadores relevantes para o efeito;
2. Fornecer informação relevante para apoio à decisão da administração quanto à capacidade de serviço mais adequada para o sistema.

Relativamente ao segundo objetivo, pretende-se analisar o efeito que determinadas variáveis de capacidade (em particular o número de servidores/postos de lavagem e o comprimento máximo da fila de espera/espço de espera) têm sobre o desempenho do sistema e de que forma a sua alteração pode beneficiar ou prejudicar o sistema.

O estudo das filas de espera foi inicialmente introduzido por *Erlang* em 1917 com o objetivo de conseguir analisar o congestionamento nas linhas de telefone. Desde então, o seu estudo tem sido utilizado em muitas outras aplicações, nomeadamente na economia, nos transportes e nas telecomunicações (Ruiz-Aguilar *et al.*, 2016). A teoria das filas de espera pode ser utilizada em quase todos os problemas em que existe um produto que necessita de um ou mais serviços ou bens (Ackoff & Van Voorhis, 1956). Segundo Concannon *et al.* (2007), a simulação oferece aos seus utilizadores a possibilidade de testar o efeito das suas decisões antes de as aplicarem realmente no seu problema.

Muitas empresas possuem recursos disponíveis que, quando corretamente utilizados, podem melhorar significativamente os resultados conseguidos. Frequentemente, o medo de

errar ou de não conseguir atingir os objetivos delineados impede a maioria das empresas de tentar melhorar o seu sistema e a forma como o mesmo é gerido. A simulação é uma ferramenta adequada nestes casos, pois permite diminuir esta incerteza e trazer algumas garantias para futuras melhorias (Bowden *et al.*, 2013).

Para estudar o sistema em causa, recorreu-se à simulação computacional, utilizando o método de Monte Carlo, de modo a ser possível testar o efeito de alterações na capacidade do sistema real sem ter realmente de as alterar, isto é, de modo a calcular que consequências teriam estas alterações nos indicadores de desempenho selecionados sem haver necessidade de alterar os recursos e instalações que atualmente existem no sistema.

Relativamente aos indicadores de desempenho utilizados, foram selecionados os mais habitualmente referidos na literatura da gestão de filas de espera e que caracterizam melhor o sistema em estudo. Em concreto, os indicadores de desempenho selecionados foram os seguintes: a percentagem da capacidade utilizada; o tempo médio de espera; a percentagem de clientes perdidos; a receita perdida associada aos clientes não servidos; e a receita efetivamente realizada pela estação de lavagem automóvel.

O presente relatório está dividido em cinco capítulos distintos. Após a introdução, no segundo capítulo será exposto o fundamento teórico dos temas essenciais ao projeto, nomeadamente através de uma pequena caracterização e explicação do que são filas de espera e como pode ser feita a sua gestão com o objetivo de melhorar os resultados obtidos, e do que é a simulação computacional, incluindo a explicação da forma como alguns autores defendem que deve ser construído um modelo de simulação e como este deve ser analisado e estudado. No terceiro capítulo, será apresentada a metodologia, a amostra recolhida e a forma como a recolha dos dados foi realizada, bem como os pressupostos inerentes ao modelo construído e às simulações executadas e os indicadores a serem estudados. No quarto capítulo, serão apresentados os resultados das diversas simulações efetuadas e a análise dos mesmos, sendo feita uma comparação dos diferentes resultados obtidos e da forma como as diferentes variáveis influenciam o sistema. Por fim, no quinto capítulo, serão resumidas as principais conclusões do projeto e enunciadas as suas principais limitações e sugestões para futuras melhorias.

## 2. Enquadramento Teórico

---

Nesta secção será feito um enquadramento teórico para que se compreendam melhor os temas a ser tratados no presente projeto e os resultados obtidos no mesmo. Em particular, serão explorados os temas da gestão de filas de espera e dos estudos de simulação enquanto ferramenta de apoio à gestão.

### 2.1. Gestão de filas de espera

---

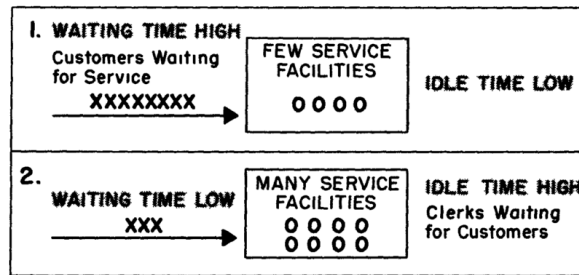
Um dos problemas mais importantes da gestão de operações e de serviços é compreender como devem ser encaradas e geridas as filas de espera, pois a sua correta gestão significa uma economia nos serviços adjacentes e uma melhoria do atendimento (*Chase et al.*, 2006). Nesta subsecção, será definido o conceito de fila de espera e discutidas as suas características e serão apresentados o problema económico que justifica a sua gestão e alguns dos modelos matemáticos mais comuns utilizados para o efeito.

#### 2.1.1. Definição e caracterização de filas de espera

---

O fenómeno das filas de espera existe em quase todos os aspetos do nosso quotidiano e tal pode ser observado quase sempre que é necessário utilizar um qualquer serviço (*Subba Rao et al.*, 1998). As filas de espera resultam de uma de duas condições possíveis: do número de unidades (pessoas, animais ou artigos) que precisam de um certo serviço e precisam de esperar devido à falta de capacidade das instalações que existem para fornecer esse mesmo serviço; ou devido a um serviço que é demorado e obriga essas unidades a esperar pelo seu fim. Na Figura 1 é possível observar as duas condições de fila possíveis (*Ackoff & Van Voorhis.*, 1956).

Figura 1 - Tipos de condições para as filas de espera por Ackoff & Van Voorhis (1956).



A teoria das filas de espera é normalmente considerada como uma parte do estudo da gestão de operações, utilizada com o objetivo de auxiliar na tomada de decisões relativamente à gestão de serviços (Sharma & Sharma, 2013).

As filas de espera geralmente ocorrem por mais eficaz que seja a gestão da capacidade de uma qualquer organização. Estas filas podem ser visíveis ou não, isto é, podem ser compostas por clientes que aguardam para usufruir de um determinado serviço ou sem que estes clientes tenham de estar fisicamente à espera do mesmo (Pinto, 2006).

Segundo os autores Ackoff e Van Voorhis (1956), a denominação de fila de espera é, na maioria das vezes, utilizada erradamente para descrever todo o sistema que contém excesso de utentes para usufruir de um determinado serviço. De acordo com estes autores, o número de clientes à espera de um serviço deve ser igual ao número de clientes na fila de espera mais o número de clientes efetivamente no serviço, números estes que variam durante o tempo, o que provoca que o problema da gestão de filas de espera seja um problema estocástico.

De acordo com Pinto (2006), para a definição de um sistema de filas de espera é necessário ter em conta os três seguintes componentes:

1. A forma como a população chega a um determinado sistema;
2. A forma como a população é servida;
3. A forma como a população sai de um sistema, ou seja, se após o serviço existem mais fases de atendimento ou se apenas se sai do sistema.

Segundo Pinto (2006), as filas de espera podem ser agrupadas em quatro diferentes grupos, são estes:

1. Filas de canal único, que são filas em que existe um e apenas um servidor para uma única fila de espera;

2. Filas de múltiplos canais, que são filas em que existem dois ou mais canais para apenas uma fila de espera;
3. Filas de espera em que um servidor é composto por várias fases de atendimento;
4. Filas híbridas, que são filas compostas pela combinação dos diferentes tipos apresentados.

Ainda de acordo com o mesmo autor, para uma correta caracterização de um determinado sistema de fila de espera, existe uma panóplia de parâmetros que são importantes e que têm de ser definidos, nomeadamente:

- O tamanho da população/fonte populacional a servir, ou seja, o número de possíveis clientes a servir, que pode ser finito ou infinito. A dimensão da população é considerada finita quando, com a saída de um utilizador da mesma, esta for reduzida em uma unidade, o que diminui a probabilidade da próxima ocorrência. Da mesma forma, quando um utilizador entra na população, esta aumenta uma unidade e a probabilidade de um utilizador querer um serviço também aumenta. Por exemplo, se existir um grupo de seis máquinas e apenas um mecânico, quando uma das máquinas avaria, a dimensão da amostra passa de seis para cinco, logo a probabilidade de uma máquina avariar também será diferente. Inversamente, quando a máquina é reparada e volta ao serviço, o tamanho da população aumenta e aumenta também a probabilidade de uma nova avaria. Já quando a dimensão da população é suficientemente grande e a adição ou subtração de utilizadores à população não influencia a probabilidade da próxima ocorrência, a população deve ser considerada como sendo infinita. Um exemplo poderá ser, o mesmo que acima, mas, em vez de seis máquinas, existirem cem. Assim, ao avariar uma, a probabilidade de uma nova avaria pouco iria alterar. Como tal, na prática, esta população poderia ser considerada como sendo uma população infinita;
- O comprimento da fila, que, segundo Chase *et al.*, (2006), pode ser finito ou infinito, sendo esta caracterização de extrema importância, uma vez que irá definir a forma como o problema será tratado. De acordo com os mesmos autores, o comprimento máximo da fila é considerado finito quando se refere a uma fila de espera com balizas de utilizadores que podem utilizar um

determinado serviço. Alguns exemplos são os postos de abastecimento ou os parques de estacionamento, que, por razões de espaço, têm um número máximo de utilizadores em espera. Já um comprimento de fila infinito acontece, acontece quando não existem estas balizas e a fila pode ser extremamente longa relativamente à capacidade do sistema. Exemplos de filas com comprimento potencialmente infinito podem ser as filas para uma portagem numa autoestrada ou para comprar bilhetes para um espetáculo;

- A taxa de chegada dos clientes ao serviço, habitualmente denotada por  $\lambda$ , que pode ser constante ou variável. Geralmente é aleatória e assume-se que ocorre de acordo com a distribuição de *Poisson* ou outra distribuição discreta. A taxa de chegada é obtida pelo inverso do tempo médio entre chegadas (em estudos de fiabilidade, referida como MTTF, *mean time to failure*, tempo médio de entre falhas);
- A taxa de serviço ( $\mu$ ), que representa a capacidade do sistema em servir ou satisfazer os pedidos dos clientes. A taxa de serviço é obtida pelo inverso do tempo de atendimento/serviço (em fiabilidade, referida como MTTR, *mean time to repair*, tempo médio de reparação);
- A disciplina da fila, que define a forma como os clientes saem da fila de espera para serem atendidos. Este atendimento pode ser feito de acordo com inúmeros critérios, sendo alguns exemplos: a importância do cliente; a data de entrega; o tempo de execução; a emergência do serviço; ou de acordo com a lógica FIFO (*first in first out*), que significa que o atendimento é efetuado por ordem de chegada;
- O comportamento do cliente na fila. Quando em espera, um cliente pode ter dois possíveis comportamentos: desistir de esperar e abandonar a fila de espera ou aguardar pacientemente pela sua vez (em ambas as situações pode existir uma reclamação por parte do cliente);
- O tempo de serviço (*lead time* de atendimento). É o tempo necessário para prestar o serviço ao cliente. Este não inclui o tempo de espera na fila e pode ser um tempo fixo (operações uniformizadas) ou um tempo variável (operações com contacto com cliente ou personalizações). O tempo de serviço é normalmente representado por MTTR e determina a taxa de serviço.

Para analisar as chegadas a uma fila de espera, podemos estudá-las através de duas opções. Pode considerar-se o tempo entre duas chegadas consecutivas e analisar-se se segue uma distribuição estatística, que na maioria dos casos converge para a distribuição exponencial, ou em alternativa, pode ser considerado o número de chegadas durante um período, que normalmente é bem aproximado por uma distribuição de *Poisson* (Chase *et al.*, 2006).

### **2.1.2. O problema da gestão de filas de espera**

---

É sabido que manter um cliente à espera para que este possa usufruir de um qualquer bem ou serviço pode ser mal interpretado, pois provoca uma insatisfação no cliente que aumenta com o tempo de espera e que é um sintoma de uma gestão errada da capacidade. Como tal, é importante fazer uma boa gestão das filas de espera (Pinto, 2006).

O principal objetivo da análise e estudo das filas de espera é minimizar o número de clientes (unidades) que permanecem à espera de um determinado serviço e, conseqüentemente, maximizar o número de utentes que usufruem desse mesmo serviço durante um determinado espaço temporal (Subba Rao *et al.*, 1998).

O objetivo da gestão de filas de espera consiste igualmente em alterar a forma de chegada das unidades ao serviço, a forma como o serviço é prestado, ou ambos, de forma a conseguir melhorar a fila de espera e, conseqüentemente, o tempo associado à mesma (Ackoff & Van Voorhis., 1956).

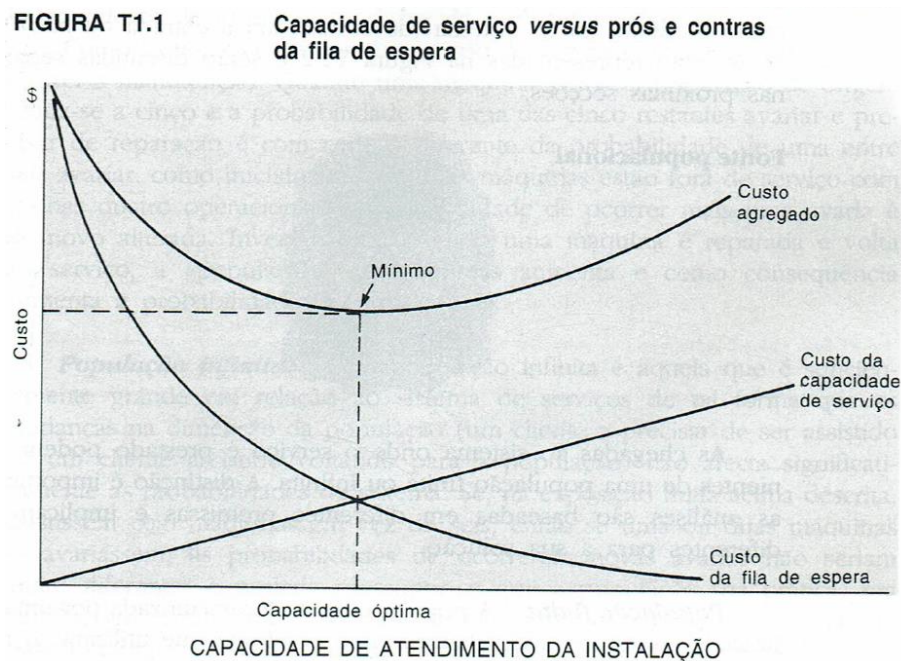
No entanto, ainda que o problema central da gestão de filas de espera seja a diminuição do tempo de espera, é importante ter em conta que, ao melhorar o serviço para que este fique mais rápido, estará sempre associado um custo adicional. Deste modo, o que deve ser feito é ponderar o custo de ter uma fila de espera e o custo associado à melhoria do serviço, de forma a encontrar o ponto de equilíbrio, isto é, o ponto onde o custo total, medido pela soma dos dois custos anteriores, atinge o seu mínimo (Chase *et al.*, 2006).

A procura do ponto de equilíbrio pode ser simples quando é possível converter ambas as partes num valor, sendo possível determinar quando um valor é igual ao outro e achar desta forma a solução ótima. Por exemplo, quando existe uma fila de espera de funcionários para utilizarem uma impressora, é relativamente simples saber o custo associado com a aquisição de uma nova impressora e o custo que a empresa está a ter por ter os funcionários

à espera. Mas quando uma das partes não se consegue converter facilmente num valor, a determinação do ponto de equilíbrio torna-se mais complicada, como por exemplo quando se trata de uma fila de espera para ter acesso a uma cama de hospital. É simples valorizar uma cama, mas não se consegue valorizar o doente que está à espera e que pode perder a vida por não ter acesso a uma (Chase *et al.*, 2006).

Na Figura 2 é possível visualizar o problema da gestão de filas de espera e qual o seu objetivo primordial.

Figura 2 - O problema da gestão de filas de espera por Chase *et al.*, (1995).



### 2.1.3. Modelos de gestão de filas de espera

Partindo do princípio que existe um número limitado de lugares numa sala de espera para um determinado serviço ou que existe um qualquer impedimento para que mais utentes se juntem a uma fila de espera, então esse determinado sistema tem uma capacidade finita. Normalmente, a notação utilizada para apresentar a capacidade do sistema é  $N$ . Como tal, a capacidade da fila de espera é  $N-C$ , em que  $C$  representa o número total de utentes no serviço (Subba Rao *et al.*, 1998).

No entanto, geralmente, as filas de espera não possuem um número máximo de lugares e, como tal, têm de ser consideradas com capacidade infinita, o que significa que não são afetadas pelo número de utentes já no sistema (Subba Rao *et al.*, 1998). Segundo os mesmos

autores, o modelo mais usualmente utilizado é o modelo de *Kendall GI/G/m*, em que *GI* exprime os tempos de chegada, *G* os tempos de serviço, como variáveis aleatórias independentes, e *m* representa o número total de servidores existentes para fornecer o serviço procurado pelos utentes. A este modelo podem ainda ser adicionados outros fatores tais como, por exemplo: a capacidade do serviço, o tamanho da população e a disciplina da fila.

Algumas nomenclaturas utilizadas para definir os modelos podem ser encontradas na Tabela 1.

*Tabela 1 - Nomenclaturas utilizadas no modelo de Kendall.*

<i>Notação</i>	<i>Definição</i>	<i>Símbolos</i>	<i>Explicação</i>
<b><i>GI</i></b>	Distribuição dos tempos de chegada	M	Lei de Poisson
		D	Determinística
		Ek	Distribuição Erlang com parâmetro de forma k.
		G	Geral
<b><i>G</i></b>	Distribuição dos tempos de serviço	M	Lei de Poisson
		D	Determinística
		Ek	Distribuição Erlang com parâmetro de forma k.
		G	Geral
<b><i>M</i></b>	Número de servidores	1,2,...,	

Chase *et al.*, (2006) exploraram alguns modelos específicos de filas de espera, sendo quatro deles apresentados na Tabela 2:

*Tabela 2 - Modelos de filas de espera definidos por Chase et al., (2006)*

<b>Modelo</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Fases do serviço</b>	<b>População</b>	<b>Padrão de chegada</b>	<b>Disciplina da fila</b>	<b>Padrão de serviço</b>	<b>Comprimento permitido da fila</b>
<b>1</b>	Um canal	Uma	Infinita	Poisson	FIFO	Exponencial	Infinito
<b>2</b>	Um canal	Uma	Infinita	Poisson	FIFO	Constante	Infinito
<b>3</b>	Canais múltiplos	Uma	Infinita	Poisson	FIFO	Exponencial	Infinito
<b>4</b>	Um canal	Uma	Finita	Poisson	FIFO	Exponencial	Infinito

Para a apresentação das equações dos modelos, utilizaram a notação apresentada na Tabela 3.

*Tabela 3 - Nomenclatura para modelos de gestão de filas de espera (Chase et al., 2006)*

Modelos 1, 2 e 3		Modelo 4	
$\lambda$	Taxa de chegada	<b>D</b>	Probabilidade de esperar na fila de espera
$\mu$	Índice de serviço	<b>F</b>	Fator de eficiência
$1/\mu$	Tempo médio de serviço	<b>H</b>	Numero médio de unidades a ser servidas
$1/\lambda$	Tempo médio entre chegadas	<b>J</b>	Fonte da população
$\rho$	Percentagem de capacidade utilizada	<b>L</b>	Numero médio de unidades em espera
<b>Lq</b>	Número médio de unidades na fila de espera	<b>S</b>	Número de canais
<b>Ls</b>	Número médio de unidades no sistema	<b>n</b>	Numero médio de unidades no sistema
<b>Wq</b>	Tempo médio de espera	<b>N</b>	Numero médio de unidades na fonte de população
<b>Ws</b>	Tempo médio no sistema	<b>Pn</b>	Probabilidade de haver n unidades no sistema
<b>n</b>	Número de unidade no sistema	<b>T</b>	Tempo médio para realizar o serviço
<b>S</b>	Número de canais	<b>U</b>	Tempo médio entre atendimentos
<b>Pn</b>	Probabilidade de estarem n unidades no sistema	<b>W</b>	Tempo médio em espera
<b>Pw</b>	Probabilidade de esperar na fila de espera	<b>X</b>	Fator de serviço

## Modelo 1

Chase *et al.* (2006) dão o exemplo de uma ponte com uma portagem em que apenas um carro pode passar de cada vez, isto é, um sistema com um único servidor em que as chegadas podem ser descritas através da distribuição de *Poisson*, o primeiro a chegar é o primeiro a ser servido, e a taxa de serviço pode ser aproximada por uma distribuição exponencial. Este modelo é definido pelas fórmulas apresentadas na Tabela 4, que permitem calcular os principais indicadores de desempenho deste tipo de filas de espera.

Tabela 4 - Fórmulas para o modelo 1 (Chase *et al.*, 2006)

Descrição	Fórmulas
Número médio de clientes na fila de espera	$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$
Número médio de clientes no sistema	$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$
Tempo médio de espera na fila	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$
Tempo médio no sistema	$W_s = \frac{L_s}{\lambda}$
Probabilidade de estarem n clientes no sistema	$P_n = (1 - \frac{\lambda}{\mu})(\frac{\lambda}{\mu})^n$
Percentagem da capacidade utilizada	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
Probabilidade do sistema estar desocupado	$P_0 = (1 - \frac{\lambda}{\mu})$

## Modelo 2

Neste modelo, Chase *et al.* (2006) dão o exemplo das viagens numa montanha russa num parque de diversões. Ou seja, um sistema com um único servidor em que as chegadas podem ser descritas através da distribuição de *Poisson*, onde primeiro a chegar é o primeiro a ser servido e a taxa de serviço pode ser considerada constante.

A Tabela 5 expõe as fórmulas do modelo.

Tabela 5 - Fórmulas para o modelo 2 (Chase et al., 2006)

Descrição	Fórmulas
Número médio de clientes na fila de espera	$L_q = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)}$
Número médio de clientes no sistema	$L_s = L_q \frac{\lambda}{\mu}$
Tempo médio de espera na fila	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$
Tempo médio no sistema	$W_s = \frac{L_s}{\lambda}$

### Modelo 3

No âmbito deste modelo, o exemplo apresentado por Chase *et al.* (2006) é um sistema com vários servidores em que as chegadas podem ser descritas através da distribuição de *Poisson*, a disciplina rege-se pela lógica FIFO, e a taxa de serviço pode ser aproximada por uma distribuição exponencial.

Neste caso, com múltiplos servidores, as fórmulas que permitem obter os vários indicadores de desempenho da fila de espera são as apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Fórmulas para o modelo 3 (Chase et al., 2006)

Descrição	Fórmulas
Número médio de clientes na fila de espera	$L_q = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)}$
Número médio de clientes no sistema	$L_s = L_q \frac{\lambda}{\mu}$
Tempo médio no sistema	$W_s = \frac{L_s}{\lambda}$
Probabilidade de esperar na fila	$P_w = L_q \left( \frac{S\mu}{\lambda} - 1 \right)$

### Modelo 4

O quarto modelo apresentado por Chase *et al.* (2006) é diferente dos três anteriores na medida em que o tamanho da população a servir é finito. Um exemplo para este modelo pode ser um conjunto de máquinas numa fábrica que podem avariar (sair da população) e ser

reparadas (regressando à população). Os indicadores de desempenho mais relevantes para este modelo de fila de espera têm as fórmulas que se apresentam na Tabela 7.

Tabela 7 - Fórmulas para o modelo 4 (Chase et al., 2006)

Descrição	Fórmulas
Fator de serviço ou proporção do tempo requerido para o serviço	$X = \frac{T}{T + U}$
Probabilidade de estarem n no sistema	$L_s = \frac{N!}{(N - n)!} X^n P_0$
Tempo médio de espera na fila	$W_q = \frac{L(T + U)}{N - L} = \frac{LT}{H}$
Numero médio de unidades que estão a ser servidas	$H = FNX$
Numero médio de unidades em fila de espera	$L = N(1 - F)$
Fonte de população menos as pessoas que estão no sistema (N - n)	$J = NF(1 - X)$
Fator de eficiência	$F = \frac{T + U}{T + U + W}$
Número médio de unidades no sistema	$n = L + H$

Estes modelos podem ser utilizados para avaliar e melhorar o desempenho de sistemas de filas de espera sempre que as características reais do sistema em estudo se enquadrem num deles. Já quando os sistemas reais apresentam especificidades que os modelos matemáticos de gestão de filas de espera não conseguem captar, os estudos de simulação aparecem como a ferramenta mais capaz de apoiar a gestão desses sistemas.

## 2.2. Estudos de simulação

Existem diferentes definições quanto ao que realmente significa o termo simulação. Segundo Robinson *et al.* (2012), a simulação é a imitação de uma qualquer operação ou processo durante um período de tempo quantificado num sistema real. Já de acordo com Carson & Maria (1997), a “simulação é uma ferramenta poderosa para a análise de novas variáveis num sistema ou em alterações propostas nas regras de funcionamento de um determinado sistema”. Segundo Pidd (2004), citado por Tako & Robinson (2009), a simulação trata-se de um processo de natureza iterativa que envolve um número finito de

repetições ou tentativas até chegar ao resultado final. Já Concannon *et al.* (2007) apresentam a simulação como uma ferramenta baseada num programa computacional utilizado com o objetivo de modelar um problema real e testar de que forma as possíveis decisões que se podem tomar afetam ou não o resultado. De acordo com Chase *et al.* (1995), o crescimento do poder dos computadores e o desenvolvimento das linguagens de simulação foram os maiores contribuintes para o rápido crescimento da utilização de técnicas de simulação na resolução de problemas.

A simulação oferece aos seus utilizadores a possibilidade de testar o efeito das suas decisões antes de as aplicarem realmente no seu problema. Tal é possível devido à representação de todas as fontes e fatores importantes num código computacional que permite testar o efeito que cada alteração, por mais pequena que seja, provoca num determinado sistema (Concannon *et al.*, 2007). Com a ferramenta da simulação, é possível fazer uma análise profunda a um sistema por forma a conseguir saber como se irá comportar no futuro e poder prever o efeito das diferentes variáveis, melhorando o desempenho do mesmo (Carson, 2004). A simulação pode ser utilizada para identificar a forma mais adequada de melhorar um sistema, testando as várias possibilidades existentes. O objetivo da aplicação da simulação é, em geral, maximizar o aproveitamento de um sistema e minimizar os recursos utilizados para essa maximização (Carson *et al.*, 1997).

A utilização da simulação, de acordo com Concannon *et al.* (2007), traz grandes benefícios para os seus utilizadores, permitindo, por exemplo: determinar a melhor alternativa de decisão, através da simulação das diversas hipóteses e analisando qual se assemelha mais ao resultado desejado, prevenindo ainda a tomada de decisões erradas; manipular o tempo de espera por uma resposta, pois é possível acelerar ou atrasar o tempo de avaliação; perceber melhor os sistemas que estão a ser estudados, o que é ainda mais vantajoso quando se pretende analisar sistemas onde não é possível analisar o seu todo; identificar problemas; visualizar planos, quando está a ser desenhado um sistema completamente novo. De acordo com os mesmos autores, o uso da simulação também pode no entanto trazer diversas dificuldades, tais como: os sistemas reais podem ter elevada complexidade e ser de difícil compreensão e imitação; por vezes os resultados são muito difíceis de interpretar; a criação e simulação de um modelo são processos que podem consumir muito tempo.

Quando um determinado sistema é estudado através da simulação, este toma o nome de modelo de simulação (Carson *et al.*, 1997). Um modelo de simulação é a representação

de um qualquer sistema e das alterações que neste ocorrem durante o tempo. De certa forma, a simulação pode ser utilizada para replicar um problema real, permitindo testar todas as variáveis desejadas num curto espaço de tempo. Tal é possível pois o tempo numa simulação move-se muito mais rapidamente do que o tempo real que se teria de esperar para obter os resultados no caso da aplicação das mesmas alterações no problema real (Concannon *et al.*, 2007). Na verdade, um dia no mundo real pode ser simulado em poucos segundos através da simulação computacional (Concannon *et al.*, 2007). Para além disso, um modelo de simulação pode incorporar problemas de lógica, problemas matemáticos e ainda problemas estruturais (Carson, 2004). A simulação torna-se ainda mais vantajosa quando as condições do sistema em análise sofrem de variabilidade, o que torna os problemas muito complexos e difíceis de resolver matematicamente. Com recurso à simulação, é possível testar e avaliar o seu desempenho com alguma facilidade (Robinson *et al.*, 2012).

Através do uso da simulação, podem ser acelerados muitos processos de tomada de decisão e simuladas situações exatamente como são na vida real (Concannon *et al.*, 2007). Ainda de acordo com os mesmos autores, os modelos de simulação são estocásticos, mas as suas variáveis podem ser aproximadas por distribuições estatísticas fixas, o que fará o problema comportar-se quase como um problema determinístico.

Em suma, e de acordo com Carson (2004), a simulação é extremamente útil nas seguintes situações:

- Quando não existe nenhum modelo analítico simples que permita analisar o problema com alguma certeza;
- Quando o modelo não é completamente aleatório, ou seja, quando é possível definir os componentes do sistema que o influenciam;
- Quando o problema em questão tem alguma complexidade, no qual é impossível prever algum resultado sem o uso de iterações;
- Quando está a ser considerado um grande investimento num sistema existente em que é necessário calcular os riscos e o seu efeito;
- Quando é necessária uma ferramenta na qual todas as pessoas envolvidas possam chegar a um acordo sobre um conjunto de pressupostos, e depois analisar (tanto estatisticamente como através de figuras) os resultados e efeitos dessas premissas. Isto é, a simulação pode ser utilizada para que todos os membros de uma equipa cheguem a uma conclusão em concordância.

- Em sistemas de grande escala física em que a simulação pode ser a única forma através da qual os intervenientes num determinado sistema podem visualizar como o seu trabalho contribui para o sucesso.

### 2.2.1. Fases de um estudo de simulação

---

Para se efetuar um estudo de simulação, é necessário realizar um determinado número de fases. De acordo com Chase *et al.* (1995), os passos a percorrer são os seguintes:

- 1. Definir o problema:** para a simulação, esta definição é um pouco diferente da que se costuma dar caso se pretenda resolver um problema por um outro método. Neste caso, implica identificar as variáveis relevantes, controláveis ou não, e especificar os objetivos do estudo;
- 2. Elaboração do modelo de simulação:** uma característica que torna diferentes estes modelos dos modelos elaborados para tratar um problema de outra forma (por exemplo programação linear) é que, nestes, o modelo tem de ser feito para cada problema, tendo em conta as características específicas de cada estudo. Para tal, são seguidos os seguintes passos:
  - 2.1. Especificar variáveis e parâmetros:** este será o primeiro passo na elaboração de um modelo, ou seja, devem ser especificadas que propriedades do sistema serão consideradas fixas e, neste caso, denominadas de parâmetros, e quais serão consideradas como variáveis;
  - 2.2. Especificar as regras de decisão:** estas são um conjunto de condições sobre as quais evoluirá o comportamento da simulação. Estas regras são geralmente o objetivo da maior parte dos estudos de simulação, pois normalmente são controláveis;
  - 2.3. Especificar as distribuições de probabilidade:** para as variáveis não controláveis, é necessário ajustar distribuições de probabilidade para gerar os dados a utilizar na simulação. Habitualmente, para decidir as distribuições a ajustar, é utilizada uma amostra de dados históricos recolhidos sobre essas variáveis;
  - 2.4. Especificar o procedimento do incremento de tempo:** num modelo de simulação o incremento de tempo pode ser feito através de uma forma fixa ou através de uma forma variável; no método fixo são utilizados períodos uniformes (minutos, horas,

dias, etc.); no caso de incrementos variáveis, os incrementos são feitos na quantidade necessária para iniciar o evento seguinte;

### **3. Especificação dos valores iniciais das variáveis e dos parâmetros;**

**3.1. Determinar as condições iniciais:** uma variável, como o próprio nome indica, vai alterando de valor ao longo do tempo e, neste caso, no decorrer da simulação, mas, para dar início à simulação, tem de ser definido o valor inicial para cada variável;

**3.2. Determinar a dimensão da simulação:** também pode ser entendido como o número de simulações ou o tempo da simulação, consiste em determinar o número de vezes que se irá simular um sistema. O mais comum é continuar a simular até atingir uma condição de equilíbrio do sistema;

### **4. Executar a simulação:** é a fase que se simula o sistema, mas o processo não acaba aqui;

### **5. Avaliação e validação de resultados;**

**5.1. Determinar os testes estatísticos:** os resultados que se tiram de uma simulação não dependem apenas do quanto um sistema se assemelha à realidade, mas também, da conceção da simulação em termos estatísticos. Os outputs devem ser avaliados quer através das suas estatísticas descritivas no conjunto das simulações realizadas, quer através de inferência, ajudando a seleccionar a melhor alternativa de decisão;

**5.2. Comparação com outra informação:** se possível, os dados obtidos de uma simulação devem ser comparados com outra informação disponível, como por exemplo dados de períodos passados do sistema real, para averiguar a coerência e consistência dos resultados;

### **6. Propor uma nova experiência:** partindo dos resultados obtidos, pode ser útil fazer uma nova experiência. É possível alterar dados, fatores, parâmetros, variáveis, condições iniciais, etc., e ver o impacto de cada um desses elementos no sistema.

A todos os pontos acima referidos, Banks (2001) acrescenta a **validação do modelo**, que serve para averiguar se os resultados que se vão obter da simulação são válidos para a análise do sistema.

## **2.2.2. Softwares de simulação**

---

Em 1950, surgiu o primeiro *software* de simulação e, desde então, estes *softwares* têm vindo a melhorar em paralelo com a evolução dos computadores. No geral, para a criação e simulação de um modelo, os especialistas têm ao seu dispor: folhas de cálculo, como por

exemplo o Excel, que disponibiliza ao utilizador uma vasta panóplia de funções para a criação e simulação de um modelo; a linguagem de programação, que surge em *softwares* como por exemplo o C++ e o Java, com a qual o utilizador terá grande flexibilidade na criação e simulação de um modelo; e os *softwares* especializados de simulação, que permitem ao utilizador realizar uma simulação de uma forma mais intuitiva, podendo ainda dispor de pacotes específicos para cada cenário o que ajudará na obtenção de resultados. Alguns exemplos destes *softwares* são o @Risk, o Arena, o GPSS, o Sigma ou o Simu8, embora existam muitos outros. Cada vez mais os *softwares* estão baseados no “visual interactive simulation”, fornecendo ao utilizador a capacidade de observar virtualmente os resultados obtidos (Robinson, 2004).

Sabendo que cada vez surgem mais *softwares* de simulação, é uma decisão complicada a de seleccionar o *software* indicado para um determinado problema. Desta forma, Robinson (2004) sugere os seguintes passos de ajuda na selecção de um *software*:

1. Estabilizar os requisitos do modelo;
2. Seleccionar uma lista de possíveis *softwares*;
3. Escolher os parâmetros de avaliação (estes parâmetros podem estar relacionados com o hardware do computador, com a dificuldade de criação do modelo, com os efeitos visuais disponíveis, com os inputs que são possíveis seleccionar ou até mesmo com a apresentação de resultados);
4. Avaliar o *software* em relação aos parâmetros escolhidos no ponto acima;
5. Seleccionar o *software* com melhor avaliação.

### **2.2.2.1. @Risk**

---

O @Risk foi o *software* de simulação escolhido para este projeto por ser uma ferramenta intuitiva que se adapta aos requisitos necessários para o desenvolvimento do mesmo e ser o software de simulação utilizado nas principais unidades curriculares da área de gestão de operações lecionadas pelos docentes do Departamento de Gestão e Economia da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

O @Risk é um *software* desenvolvido pela Palisade que efetua uma análise de risco, nomeadamente com recurso ao método de simulação de Monte Carlo, conseguindo desta forma obter a probabilidade estatística da ocorrência de um determinado evento num

sistema. Com recurso ao @Risk, é possível alterar variáveis num modelo de simulação e analisar o efeito destas alterações no sistema, constituindo uma ferramenta de apoio na tomada de decisões. Este *software* funciona como um *add-in* no *Microsoft Excel*, isto é, funciona como um complemento ao *Excel*, o que permite realizar simulações computacionais através deste. Para utilizar este *software*, é necessário percorrer todas as fases de um estudo de simulação descritas anteriormente, embora o mesmo apenas distinga três passos fundamentais: a criação de um modelo de simulação; a simulação computacional com recurso ao *Microsoft Excel*; e a análise dos resultados probabilísticos obtidos.

### 2.2.2.2. Método de Monte Carlo

---

O método de *Monte Carlo*, nomeado desta forma devido ao famoso casino europeu situado no Mónaco (Casino de Monte Carlo), é aplicado em problemas de simulação em que são geradas diversas ocorrências num sistema através de um método aleatório (Chase *et al.* 1995) e é baseado numa analogia entre a probabilidade e o volume (Glasserman, 2004). Este método associa um evento a uma série de resultados e fornece um resultado de forma estatística da probabilidade de um determinado evento acontecer num certo volume de ocorrências. Com o aumento do volume de ocorrências, é possível aproximar os valores estatísticos obtidos através da simulação com os valores que se iriam obter no sistema real (Glasserman, 2004).

O procedimento seguido para gerar valores através do método de simulação de *Monte Carlo* consiste em quatro passos, que são:

1. Ajustar uma distribuição de probabilidade para representar a variável;
2. Construir a função cumulativa de probabilidade;
3. Gerar um número aleatório entre 0 e 1 a partir da distribuição uniforme;
4. O valor a simular para a variável é a abcissa correspondente à ordenada de valor igual ao número aleatório gerado no passo anterior, avaliada na função cumulativa de probabilidade construída no passo 2.

Um exemplo do uso do método de *Monte Carlo* pode ser, por exemplo, o cálculo da probabilidade de ocorrência do número 7 ao lançar dois dados comuns de seis faces. Cada dado pode tomar um valor que varia entre 1 e 6, com igual probabilidade de ocorrência de cada um deles. Como tal, a soma dos dois dados pode ser igual a um valor entre 2 e 12.

Admita-se então que, se o valor obtido for igual a 7, tem-se um resultado positivo, e que caso contrário, o resultado é negativo. Repetindo o lançamento dos dados  $n$  vezes, com  $n$  suficientemente grande, ao dividir o número de vezes que tivemos o resultado positivo por  $n$  obtém-se a probabilidade desejada.

## 3. Metodologia

---

Neste capítulo, serão apresentados o processo de recolha de dados para suportar o estudo de simulação, a caracterização da amostra recolhida, o modelo de simulação e os indicadores a utilizar na avaliação de desempenho do sistema em estudo.

### 3.1. Processo de recolha de dados

---

Para se proceder à análise da fila de espera do centro semiautomático de lavagem automóvel em estudo, que, como referido anteriormente, preferiu manter o anonimato, com o objetivo de a tentar melhorar, foi realizada uma recolha de dados para suportar a atribuição de distribuições de probabilidade às variáveis estocásticas que interferem com o desempenho do sistema. O centro em estudo dispõe de três postos de lavagem e de um espaço de espera para que os utentes possam aguardar pela sua vez. Para efetuar a lavagem do automóvel, o utilizador tem de inserir o valor pretendido, em moedas (euros), na máquina do respetivo posto, embora o centro de lavagens não possua máquina de trocos.

Para que fosse possível tratar os dados, foram definidas quais as variáveis relevantes para a recolha de dados, tendo ficado determinado que iriam ser recolhidas as seguintes informações para cada viatura que chegasse ao centro de lavagem: hora de chegada; número de centros ocupados no momento da chegada; número de carros em fila de espera no momento da chegada; momento de início da lavagem; tempo de espera; hora de saída do centro de lavagem; tempo de lavagem e receita em euros.

Os dados foram recolhidos durante duas semanas não consecutivas, sendo a primeira de dia 27.09.2016 a 02.10.2017 e a segunda de 07.11.2016 a 13.11.2016. Dentro do período limitado de tempo em que a elaboração deste projeto decorreu (setembro de 2016 a março de 2017), foi a opção possível de forma a ter uma amostra que pudesse evidenciar da melhor forma como funciona o centro de lavagem nas diferentes alturas do ano. No entanto, dadas as reduzidas diferenças observadas entre as duas semanas em termos do comportamento do sistema, não se identificou o efeito sazonalidade nos dados recolhidos, pelo que o estudo de simulação efetuado não o teve em consideração.

Por sua vez, os horários em que foram recolhidos dados foram divididos de forma a captar os diferentes períodos do dia. Tendo em conta o ritmo de afluência de viaturas

verificado, nas simulações a executar cada dia foi assumido como tendo 12h efetivas de funcionamento do sistema, sendo estas das 08:00h às 20:00h. Nesse sentido, assumindo que o período da manhã é das 08:00 às 14:00h e que o período da tarde é das 14:00h às 20:00h, foram definidos os seguintes períodos temporais de recolha de dados em cada dia:

- Segunda-feira: 2h do período da manhã
- Terça-feira: 2h da parte da tarde;
- Quarta-feira: 2h da parte da tarde;
- Quinta-feira: 2h da parte da manhã;
- Sexta-feira: 2h da parte da tarde;
- Sábado e domingo: 2h da parte da manhã e 2h da parte da tarde.

Deste modo, a amostra obtida resultou num total de 20h de recolha de dados durante o período útil da semana, sendo 8h pertencentes ao período da manhã e as restantes pertencentes ao período da tarde, e 16h referentes aos fins-de-semana, sendo 8h do período da manhã e 8h do período da tarde.

Após uma breve análise dos dados recolhidos, foi observado que os valores recolhidos nos períodos da manhã e nos períodos da tarde eram muito semelhantes, quer em termos do padrão de chegadas, quer no que respeita às restantes variáveis. Como tal, no final, a amostra foi apenas dividida em dois subconjuntos significativamente heterogéneos, um com os dados relativos ao período da semana laboral (de segunda-feira a sexta-feira) e outro com os dados do fim-de-semana (sábado e domingo).

## **3.2. Amostra**

---

Durante as 36h de recolha de dados, passaram no centro de lavagem um total de 105 veículos. Destes, 80 usufruíram dos serviços do centro de lavagem durante o fim-de-semana e os restantes 25 durante o período útil semanal. No total, durante o período de observação, foi realizada uma receita de 207,50€, num total de 636,3 minutos de tempo de ocupação dos postos, ou seja, a amostra recolhida gerou uma receita média de 1,98€ por utente e um tempo médio de ocupação de um posto de 6 minutos e 4 segundos por utente.

Foram também colocadas duas questões aos utentes, às quais 25 utentes (cerca de 24% da amostra) responderam que utilizariam lava-jantes por mais 0,5€ e 17 utentes (cerca de

16% da amostra) responderam que utilizariam tira-mosquitos por um gasto adicional de 0,5€. Embora se tenha optado por não incluir a possibilidade de introdução de lava-jantes e/ou tira-mosquitos no estudo de simulação, estas estatísticas ficam como informação para a administração.

Durante o período da semana, nos dados recolhidos, apenas dois utentes (cerca de 8% da amostra) tiveram de esperar pela sua vez por estarem todos os centros de lavagem ocupados no momento da sua chegada. Em média, cada um destes utentes teve de esperar 4 minutos e meio. Da mesma forma, para o período do fim-de-semana, dos 80 utentes que utilizaram as estações de lavagem, apenas 14 (cerca de 18% da amostra) tiveram tempos efetivos de espera. Para estes, o tempo médio de espera foi de cerca de 5 minutos. Da amostra recolhida, foi também possível observar que existiu uma taxa de ocupação dos centros de lavagem durante a semana útil de 3,6% e aos fins-de-semana de 17,5%.

### **3.3. O modelo de simulação**

---

Para construir o modelo de simulação tendo por base os dados recolhidos, foram, em primeiro lugar, ajustadas distribuições de probabilidade para as duas principais variáveis aleatórias identificadas no sistema, o tempo entre chegadas e a duração da lavagem (medida pelo tempo de ocupação do posto, isto é, pelo tempo efetivo que a viatura esteve a ocupar o posto de lavagem), de modo a permitir a posterior utilização do método de Monte Carlo para simular valores para essas mesmas variáveis. As distribuições selecionadas (por revelarem um bom ajustamento aos dados nos testes estatísticos efetuados) foram: a distribuição exponencial com média de 14,4 minutos para o tempo entre chegadas nos dias úteis da semana; a distribuição triangular, com parâmetros 0 minutos para o valor mínimo (imposto), 4 minutos para o valor mais provável e 13,7 minutos para o valor máximo, para a duração da lavagem nos dias úteis da semana; a distribuição exponencial com média de 6,6 minutos para o tempo entre chegadas aos fins-de-semana; e a distribuição triangular para a duração da lavagem aos fins-de-semana. O ajustamento das distribuições de probabilidade selecionadas aos dados recolhidos de cada uma das variáveis está representado graficamente nas Figuras 3 a 6 (resultados dos testes de ajuste de distribuições aos dados, efetuados no @Risk).

Figura 3 - Distribuição para os tempos de chegada para os dias da semana

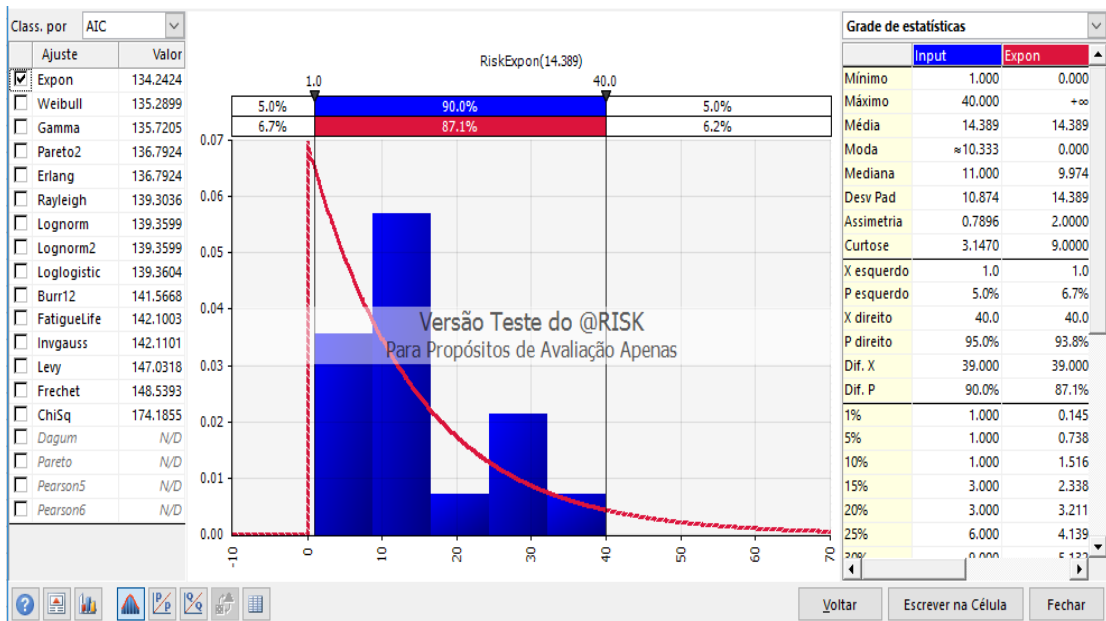


Figura 4 - Distribuição para a duração da lavagem nos dias da semana

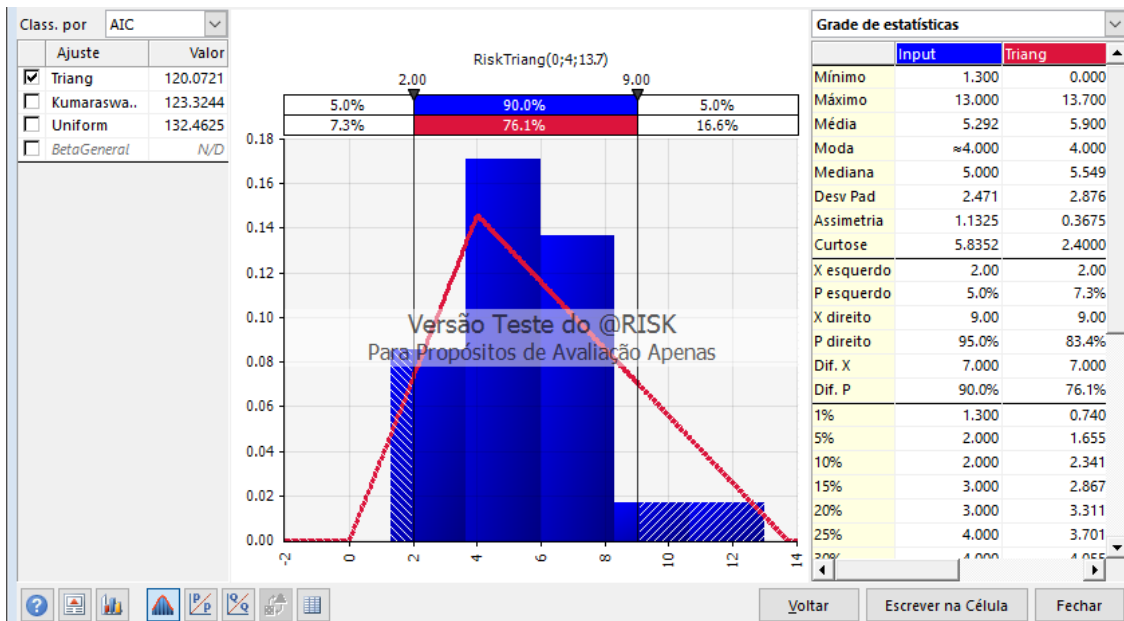


Figura 5 - Distribuição para os tempos entre chegadas ao fim-de-semana

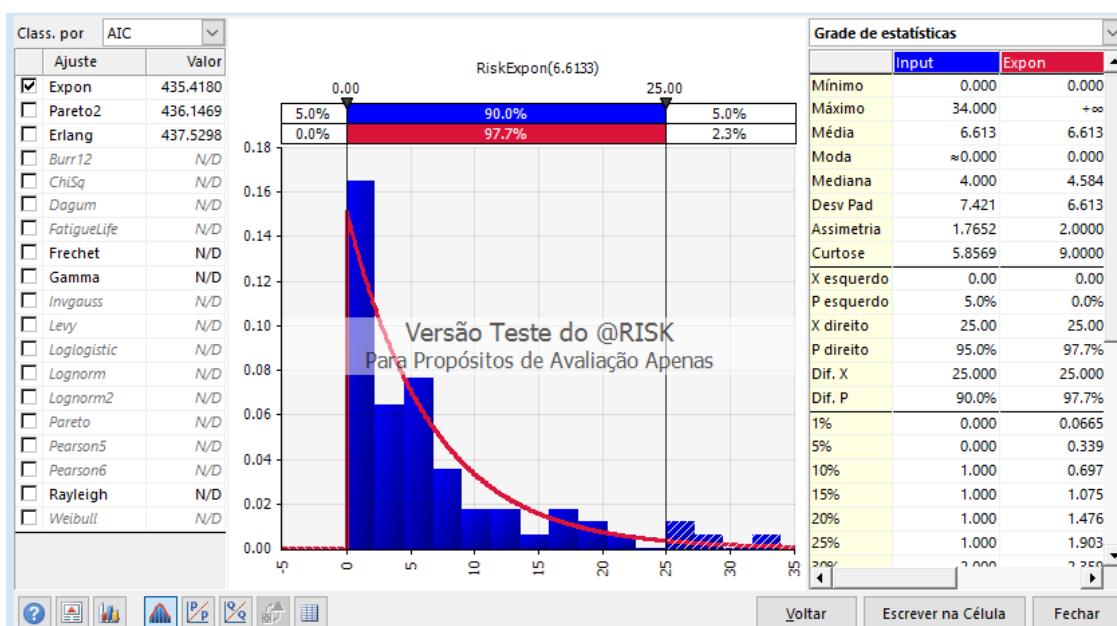
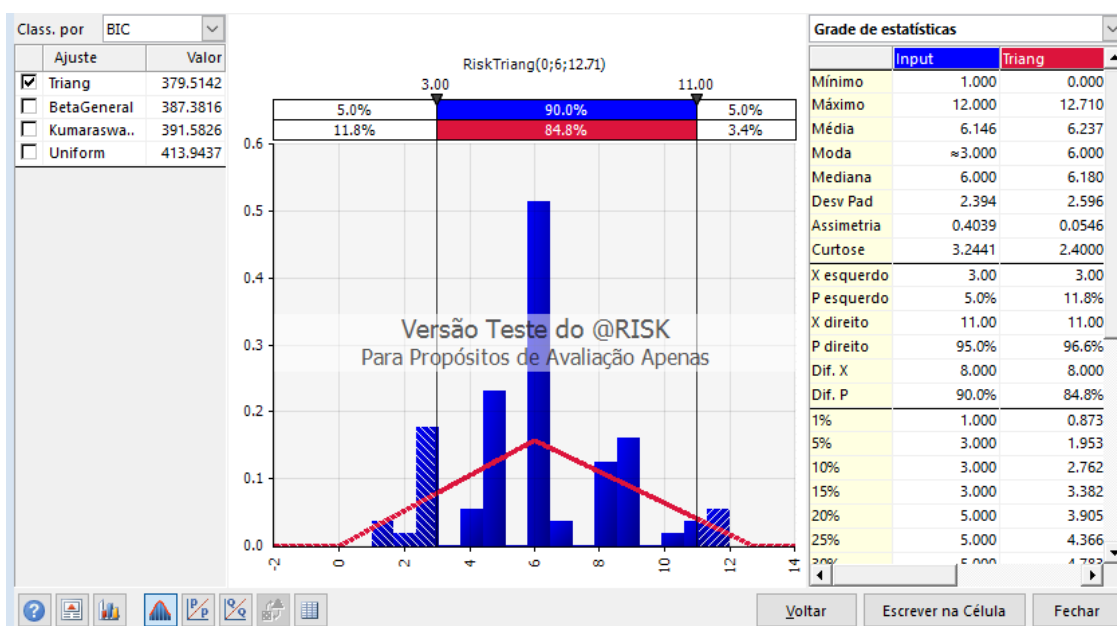


Figura 6 - Distribuição para a duração da lavagem ao fim-de-semana



Em relação à dimensão da simulação, foi construído um modelo para testar o sistema tendo como referência o período de uma semana, mas considerando como unidade incremental temporal a chegada de cada viatura ao sistema, o que levou à escolha do valor de 250 chegadas durante o período útil da semana. Isto porque, tendo em conta que o tempo médio entre chegadas para o período útil da semana é de 14,39 minutos e que em cada semana útil existem 3600 minutos úteis de funcionamento (5 dias vezes 12 horas vezes 60

minutos), cada semana representa uma média de 250 utilizadores. Homologamente, para o fim-de-semana, como o tempo médio entre chegadas é de 6,61 minutos e em cada fim-de-semana existem 1440 horas úteis de funcionamento do sistema (2 dias vezes 12 horas vezes 60 minutos), escolheu-se uma dimensão da simulação de 218 utilizadores. Uma alternativa aparentemente mais adequada para representar uma semana de funcionamento do sistema seria, ao invés de fixar o número de chegadas por semana, fixar o tempo, limitando a simulação a 3600 minutos no período útil da semana e a 1440 minutos ao fim de semana, e ficando variável o número de chegadas por semana. No entanto, a programação informática do modelo tornar-se-ia mais complexa, já que a unidade incremental de tempo mais simples e intuitiva para este caso é a variável, por viatura que chega ao sistema, o que favorece a definição do tamanho da simulação por número de chegadas. Para além disso, para um número elevado de iterações do modelo de simulação (no presente estudo, serão efetuadas 1000, o que equivale a 1000 semanas de funcionamento), as diferenças entre as duas opções tornam-se insignificantes em termos médios.

Para poder executar este estudo de simulação, foram ainda assumidos alguns pressupostos, nomeadamente:

- Os utilizadores têm paciência infinita, no sentido em que, desde que tenham um lugar na fila de espera, esperam pela sua vez independentemente do tempo de espera;
- Face ao espaço físico existente reservado para os veículos em espera, e também devido ao facto de, durante o período de recolha de dados, o comprimento máximo atingido pela fila de espera ter sido de 4 veículos, assume-se que o comprimento da fila é limitado a 4 veículos. Em consequência, assume-se que, no momento da chegada de um novo cliente ao sistema, este sai imediatamente do mesmo (isto é, torna-se um cliente perdido) caso estejam 4 veículos na fila de espera;
- Haver mais ou menos postos de lavagem não altera a distribuição da procura;
- A receita é calculada com base no tempo de ocupação do posto, isto é, sabendo que o tempo de ocupação foi de 636.3 minutos e que foi gerada uma receita de 207.5€, em média, cada minuto de ocupação gera 0.3261€. Para obter a receita gerada por cada viatura, é então multiplicado o tempo simulado de ocupação do posto por 0.3261€;

- Tal como já referido anteriormente, quer durante a semana, quer ao fim-de-semana, apenas é assumido que são lavados veículos das 08:00h às 20:00h, ignorando-se a receita realizada no período da noite.

Por fim, cada simulação foi repetida 1000 vezes de modo a que os resultados tenham a robustez de ser construídos a partir de um número alargado de cenários e que seja possível aproximar com elevada qualidade as verdadeiras distribuições dos indicadores de desempenho do sistema.

## **3.4. Indicadores de desempenho**

---

De forma a avaliar o desempenho do sistema de fila de espera da estação de lavagem, e tendo também em conta a revisão da literatura, nomeadamente quanto aos modelos de gestão de filas de espera e respetivos outputs de interesse, foram definidos os indicadores de desempenho que a seguir se apresentam.

### **3.4.1. Percentagem da capacidade utilizada**

---

Este indicador visa medir a taxa de utilização da capacidade do sistema e é calculado através da divisão da soma dos tempos de ocupação de todos os postos de lavagem pelo tempo total disponível para lavagem. Este último é resultado da multiplicação do tempo de lavagem disponível para cada posto durante uma semana pelo número de postos disponíveis.

### **3.4.2. Tempo médio de espera**

---

Este é um indicador que permitirá à gestão saber o quanto cada utente da estação espera em média para poder utilizar os serviços da mesma. É calculado através da divisão da soma de todos os tempos de espera pelo número utilizadores que frequentaram a estação de lavagem.

### **3.4.3. Percentagem de clientes perdidos**

---

A percentagem de clientes perdidos vai permitir à gestão estimar a faturação que poderá estar a perder por cliente devido ao risco de poderem estar todos os espaços da fila de espera ocupados pois, como referido, será assumido que um cliente é perdido sempre que, no momento em que chega ao sistema, não existir espaço na fila de espera. Este indicador é calculado através da divisão do número de clientes perdidos pelo número total que clientes que chegam à estação de lavagem.

### **3.4.4. Receita perdida**

---

Este indicador vem como complemento do indicador acima apresentado, expondo a receita que a empresa deixa de obter no total da simulação (ou seja, em aproximadamente uma semana) devido aos clientes que se vão embora sem usufruir dos serviços da empresa. Para calcular este indicador é realizada uma multiplicação do número de clientes perdidos pelo valor médio gasto por cada cliente.

### **3.4.5. Receita total**

---

Este indicador mede a receita total da simulação (ou seja, aproximadamente a receita semanal) e permitirá avaliar o impacto na faturação de eventuais alterações na capacidade de serviço do sistema.

## 4. Resultados do estudo de simulação

---

Neste capítulo, apresentam-se e discutem-se os resultados das 1000 iterações do modelo de simulação, quer para o período útil da semana, quer para o período do fim-de-semana, para cada uma das diferentes simulações realizadas.

Na primeira subsecção, avaliar-se-á o desempenho atual do sistema, enquanto nas subsecções seguintes far-se-ão análises de sensibilidade às principais variáveis de capacidade de serviço.

### 4.1. Desempenho do sistema atual

---

Nesta subsecção apresentam-se os resultados da simulação realizada para a capacidade atual da estação de lavagem, isto é, três postos de lavagem e comprimento máximo da fila de espera de 4 lugares (pressuposto). Estes resultados vão posteriormente servir como base de comparação nas análises de sensibilidade à capacidade do sistema.

#### **Percentagem da capacidade utilizada**

Durante o período útil da semana, para a capacidade atual da estação de lavagens, a taxa de utilização da capacidade, de acordo com a simulação realizada, varia entre os 11% e os 18%, sendo que em média toma o valor de 13.7%. Já ao fim-de-semana, o valor mínimo da percentagem de capacidade utilizada é de cerca de 24%, podendo atingir o valor máximo de 41%. Em média o valor obtido para este indicador é de cerca de 31%. Abaixo estão apresentados os dois histogramas obtidos na simulação realizada para estes dois indicadores (Figura 7 e Figura 8).

Figura 7 - Percentagem da capacidade utilizada para a capacidade atual (dias úteis)

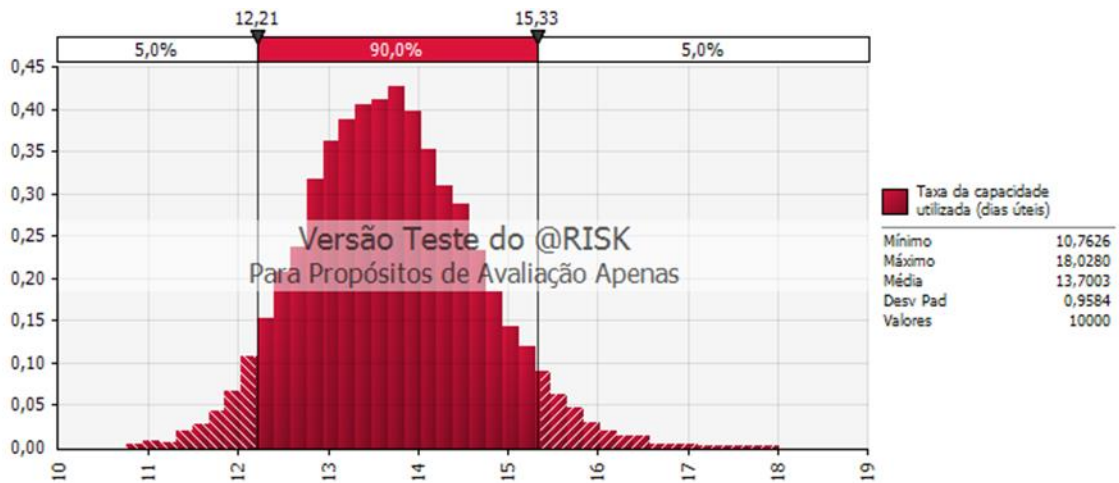
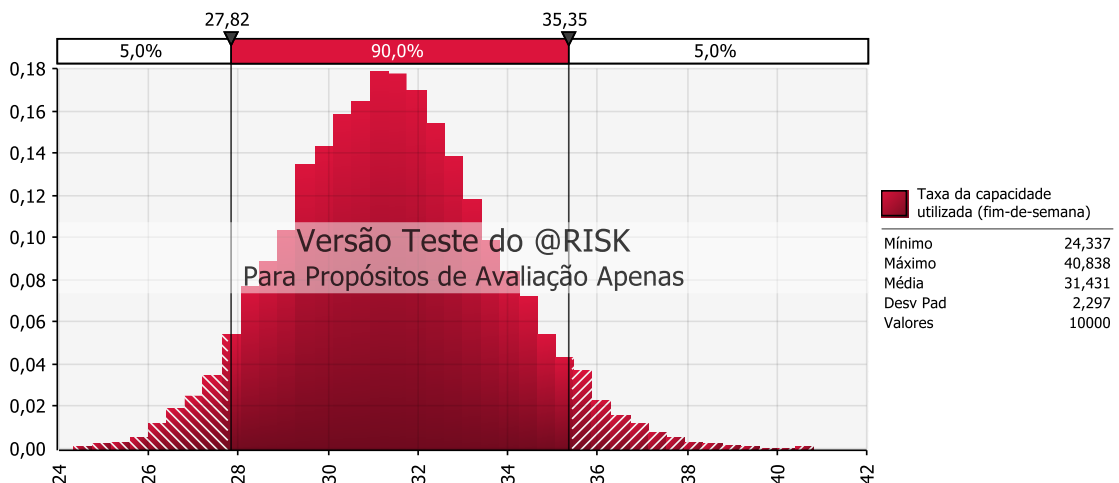


Figura 8 - Percentagem da capacidade utilizada para a capacidade atual (fim-de-semana)



### Tempo médio de espera

Em relação ao tempo médio que cada utilizador tem de esperar para poder utilizar os serviços da estação de lavagem, para a situação atual, durante a semana útil, este indicador apresenta um mínimo de 0 minutos e um máximo de 0,16 minutos (10 segundos), sendo que 90% dos usuários têm de esperar um tempo entre 0 minutos e 0,05 minutos (aproximadamente 3 segundos). Desta forma, pode concluir-se que, durante a semana útil, não existe tempo de espera para quem pretenda ir à estação de lavagem.

No período do fim-de-semana, o tempo médio de espera varia entre 0 minutos e 0,7 minutos (42 segundos), sendo que 90% dos utilizadores terá de esperar entre 0,05 minutos (3 segundos) e 0,3 minutos (18 segundos). Abaixo estão apresentados dois histogramas, um

relativo aos resultados obtidos da simulação para a semana útil (Figura 9) e outro para os resultados dos fins-de-semana (Figura 10).

Figura 9 - Tempo médio de espera, em minutos, para a capacidade atual (dias úteis)

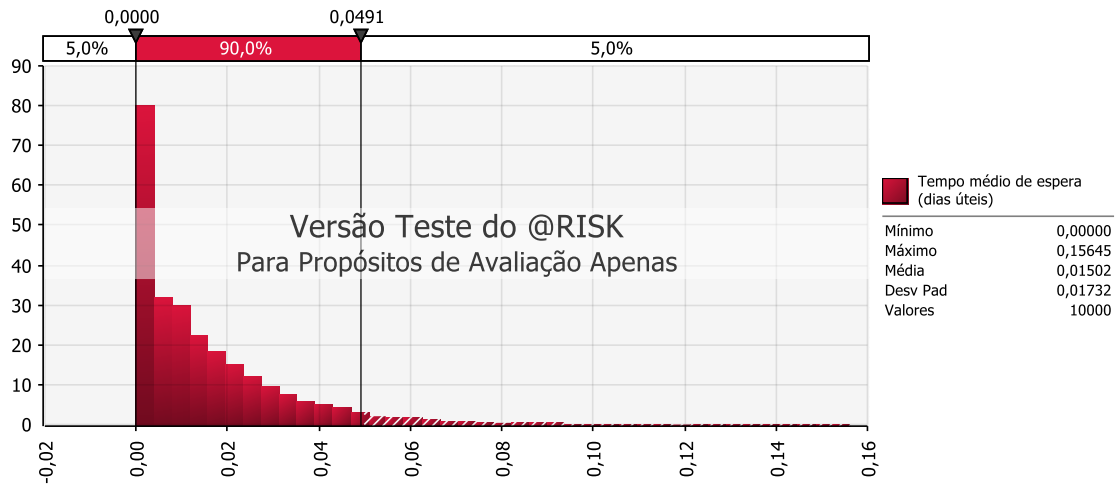
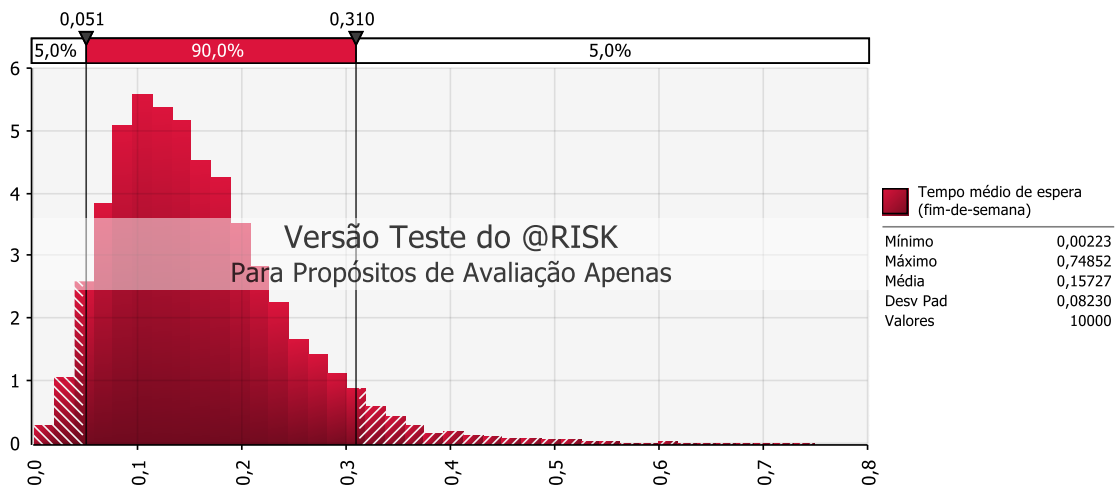


Figura 10 - Tempo médio de espera, em minutos, para a capacidade atual (fim-de-semana)



### Percentagem de clientes perdidos

Quanto à percentagem de clientes perdidos, ambos os períodos (dias úteis e fim-de-semana) apresentam resultados bastante semelhantes. Nas simulações realizadas, este indicador teve um máximo de 0% para o período da semana útil e de 1.6% para os fins-de-semana, o que pode ser convertido para nenhum cliente perdido durante a semana útil e 4 clientes perdidos durante o fim-de-semana. Ao fim-de-semana, com a capacidade atual da estação de lavagem, apenas em 2% das 1000 simulações existiram clientes perdidos. Os

histogramas para a percentagem de clientes perdidos para a semana útil e para o fim-de-semana estão representados nas Figuras 11 e 12, respetivamente.

Figura 11 - Percentagem de clientes perdidos para a capacidade atual (dias úteis)

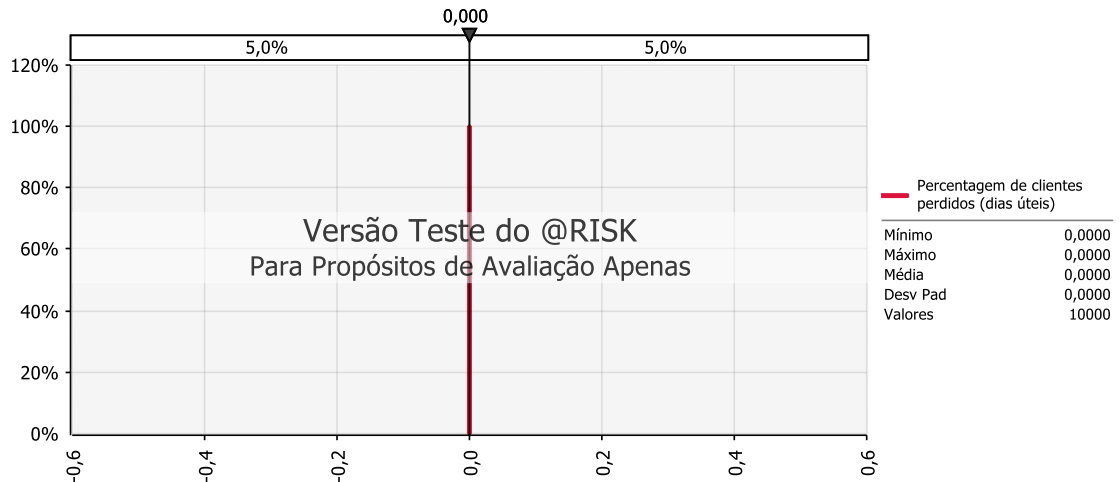
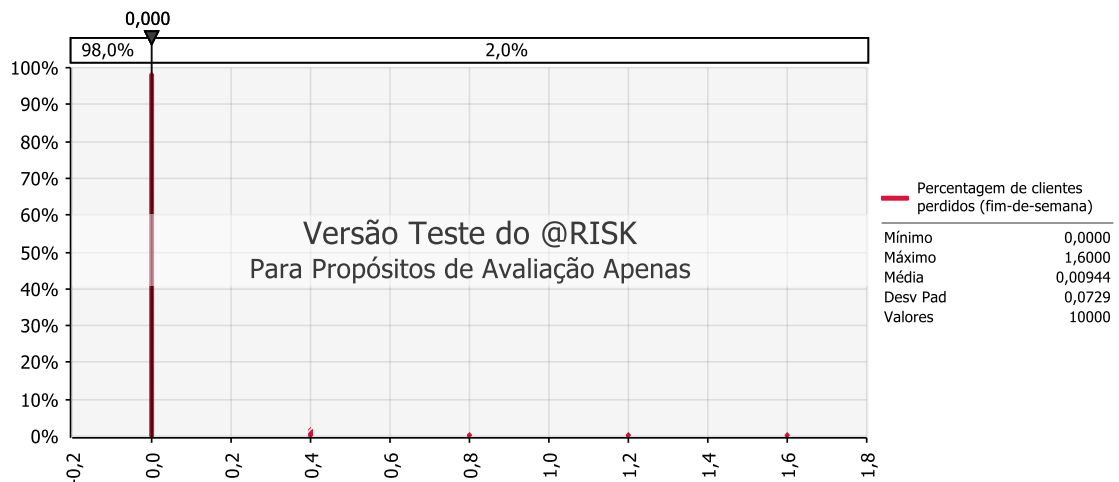


Figura 12 - Percentagem de clientes perdidos para a capacidade atual (fim-de-semana)



## Receita perdida

Naturalmente, dado que os resultados para o indicador acima são bastante próximos de 0, os valores obtidos para a receita perdida também serão. Para o período útil da semana, com a capacidade atual, não existe qualquer receita perdida. Já para o fim-de-semana, a receita máxima perdida por semana é de 8.52€ enquanto a receita média perdida é de 0.05€. Nas Figuras 13 e 14 estão representados os histogramas obtidos para a receita perdida nos períodos da semana útil e do fim-de-semana.

Figura 13 - Receita perdida, por semana, para a capacidade atual (dias úteis)

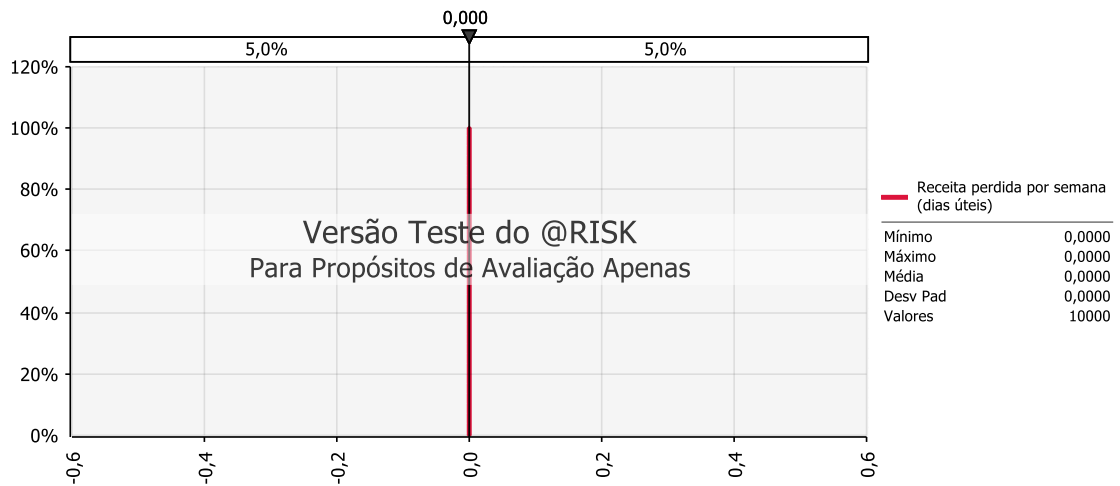


Figura 14 - Receita perdida, por semana, para a capacidade atual (fim-de-semana)



## Receita total

Para a receita total, embora durante a semana existam mais horas de lavagem disponíveis do que ao fim-de-semana, os valores obtidos são bastante próximos. Durante a semana útil, os valores da receita realizada variam entre os 435.7€ e os 543.3€, e, para o fim-de-semana, estes variam entre 406.3€ e 504.3€. Nas Figuras 15 e 16, é possível observar que, para os dois períodos analisados, os histogramas obtidos são bastante semelhantes, apresentando uma média que apenas difere em cerca de 40€.

Figura 15 - Receita semanal para a capacidade atual (dias úteis)

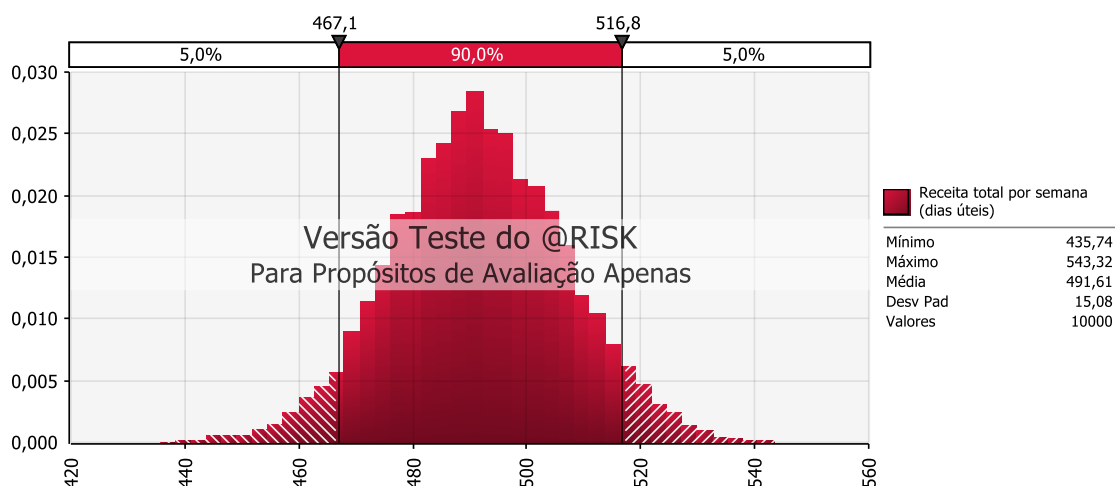
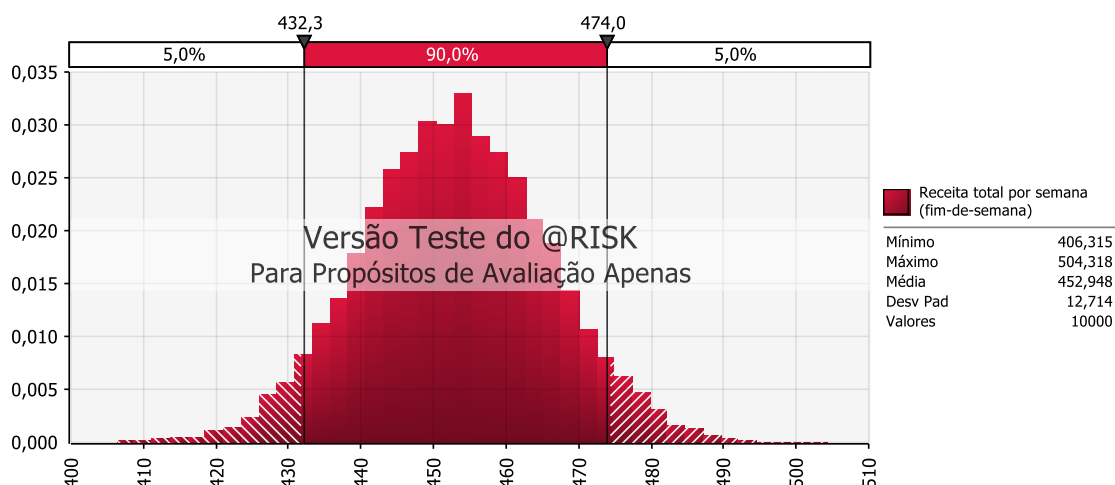


Figura 16 - Receita semanal para a capacidade atual (fim-de-semana)



Após análise dos resultados obtidos para a simulação efetuada para a capacidade atual do sistema, pode concluir-se que esta permite obter excelentes valores para os indicadores de desempenho relativos aos custos associados à espera, mas à custa de uma taxa de utilização de capacidade bastante baixa. Tal leva a crer que a capacidade de serviço atual esteja acima da capacidade ótima para a empresa, considerando o balanceamento entre os custos associado à espera dos clientes e os custos associados à capacidade de serviço oferecida.

## 4.2. Análise de sensibilidade ao número de postos de lavagem

Após se ter simulado o modelo com as características atuais do sistema, foi alterada a capacidade do serviço para analisar o seu efeito nos resultados obtidos e permitir à administração do centro de lavagem tomar uma eventual decisão mais fundamentada sobre a manutenção ou redução da capacidade de serviço do sistema. Nesta subsecção, analisa-se o efeito nos indicadores de desempenho do sistema resultante de alterações no número de postos lavagem disponíveis. Em particular, analisam-se os casos alternativos de um ou dois postos de lavagem, mantendo o pressuposto que o comprimento máximo da fila de espera é igual a quatro.

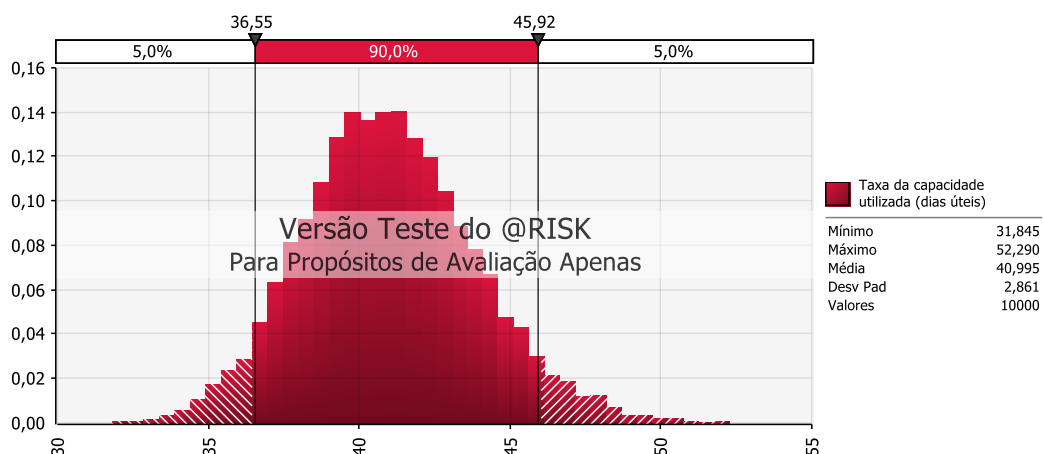
### 4.2.1. Um posto de lavagem

Nesta secção estão apresentados os resultados da simulação efetuada para a estação de lavagem caso existisse apenas um posto de lavagem.

#### Percentagem da capacidade utilizada

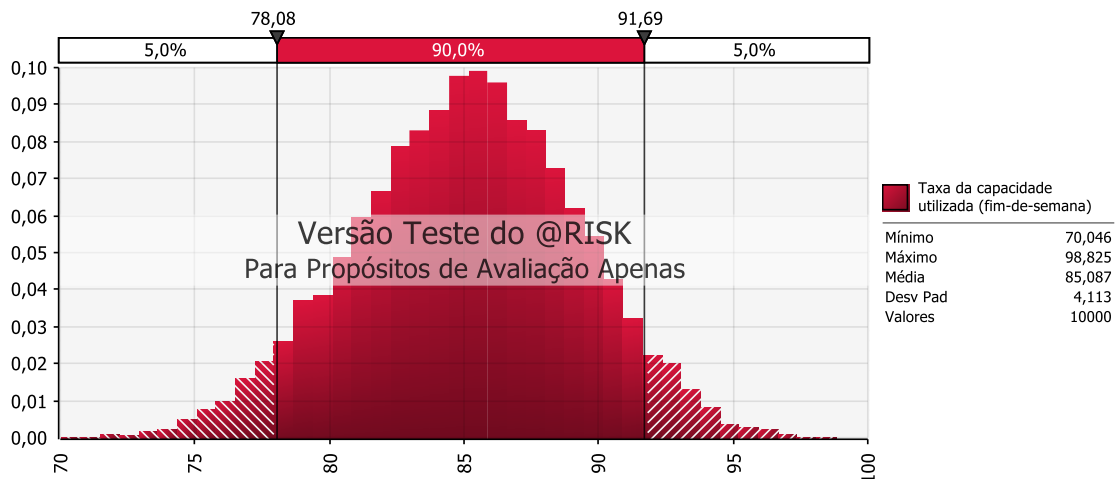
Existindo apenas um posto de lavagem, a percentagem da capacidade utilizada aumenta para valores bastante mais altos do que com a capacidade atual de três postos de lavagem. Durante os dias úteis da semana, o valor deste indicador varia entre 31.8% e 52.3%, apresentado um valor médio de 41%, de acordo com a Figura 17.

Figura 17 - Percentagem da capacidade utilizada para 1 posto de lavagem (dias úteis)



Ao fim-de-semana, como se pode observar na Figura 18, os valores deste indicador aumentam de tal forma que a percentagem da capacidade utilizada pode estar muito próxima dos 100%, variando entre os 70% e os 98.8% e apresentando uma média de utilização de 85%.

Figura 18 - Percentagem da capacidade utilizada para 1 posto de lavagem (fim-de-semana)



### Tempo médio de espera

O tempo médio de espera por utilizador naturalmente também aumenta quando passamos de três postos de lavagem para apenas um, podendo atingir valores de quase cinco minutos mesmo durante a semana útil. Em concreto, durante a semana útil (Figura 19), os valores para este indicador com um posto de lavagem variam entre 1 minuto e 5,1 minutos, tendo um valor médio de cerca de 2 minutos e meio. Ao fim-de-semana, de acordo com o histograma apresentado na Figura 20, o tempo médio de espera chega a ser superior a 17 minutos, apresentando um valor mínimo de perto de 5 minutos (4,8 minutos). A média também é elevada, cerca de 10 minutos e meio, valor muito superior ao obtido para as condições atuais.

Figura 19 - Tempo médio de espera, em minutos, para 1 posto de lavagem (dias úteis)

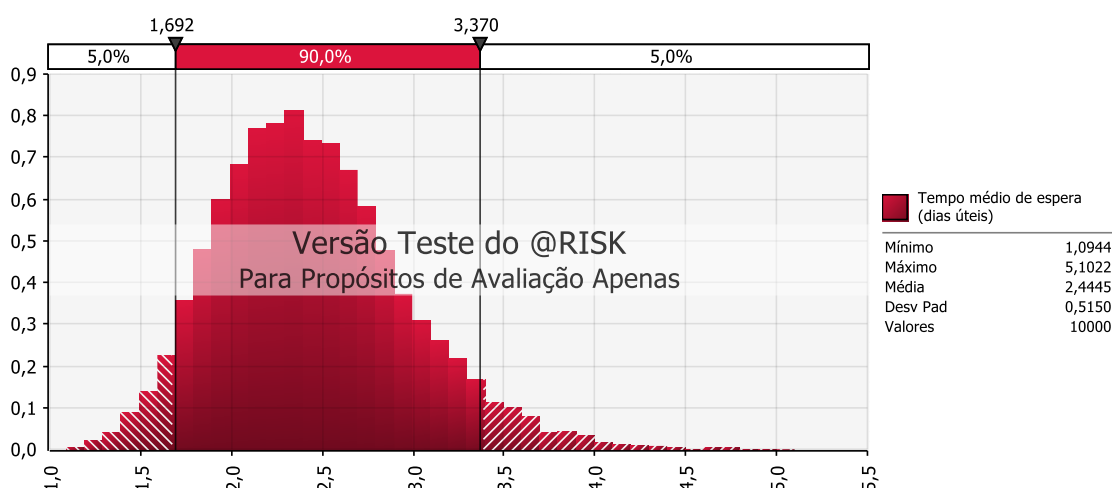
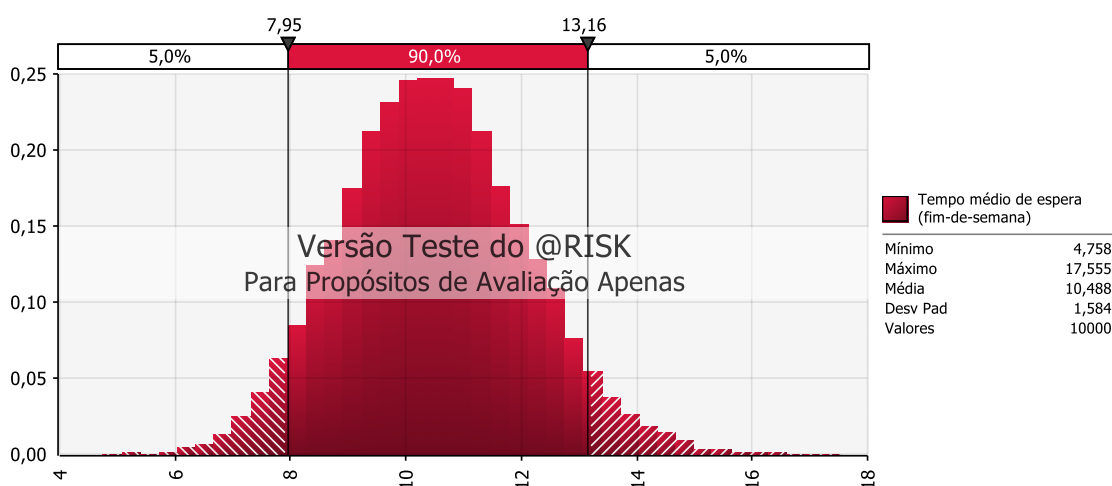


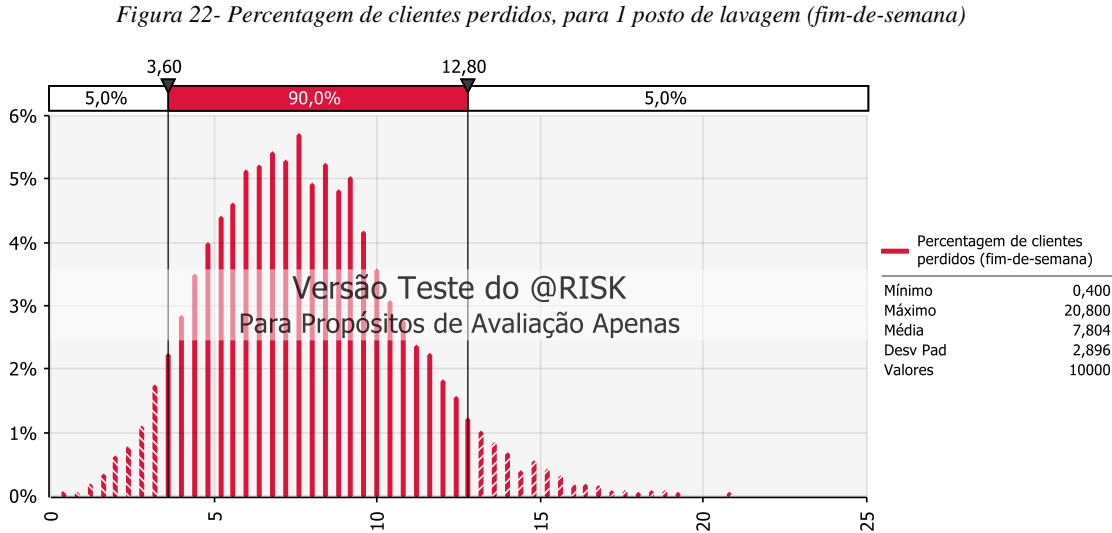
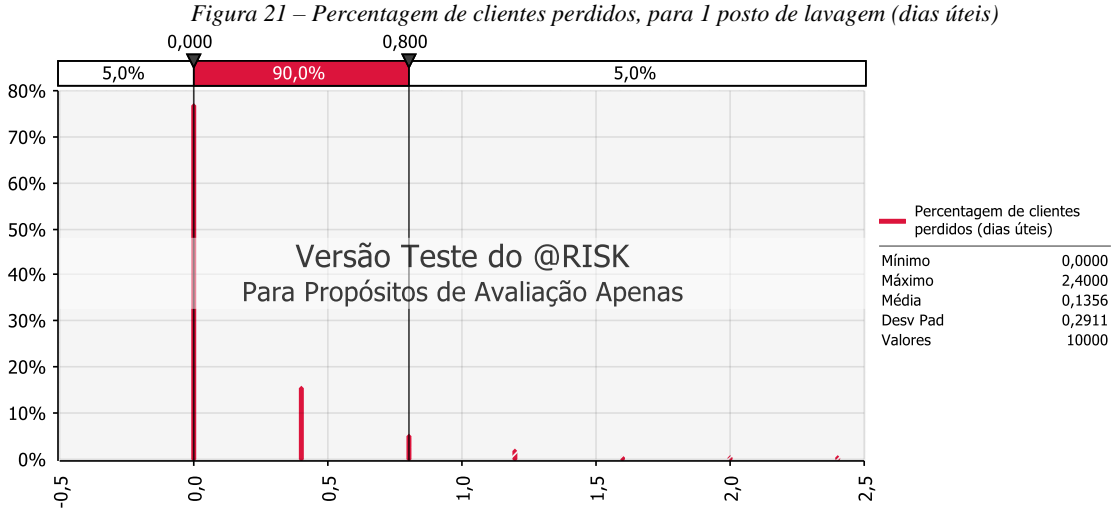
Figura 20 - Tempo médio de espera, em minutos, para 1 posto de lavagem (fim-de-semana)



## Percentagem de clientes perdidos

A percentagem de clientes perdidos também aumenta quando passamos de três postos de lavagem para apenas um durante a semana útil, embora mais ligeiramente do que no indicador anterior, ficando esta percentagem a variar entre os 0% e os 2.4% (6 clientes perdidos), com um valor médio de 0.1% o que significa que em média de quatro em quatro semanas existiria um cliente perdido (Figura 21). Durante os fins-de-semana, e de acordo com a Figura 22, estes valores são bastante mais elevados, chegando mesmo a atingir um máximo de 20.8%, o que significa que num fim-de-semana poderão existir 45 clientes perdidos caso apenas exista um posto de lavagem. Este indicador varia entre os 0.4% (1

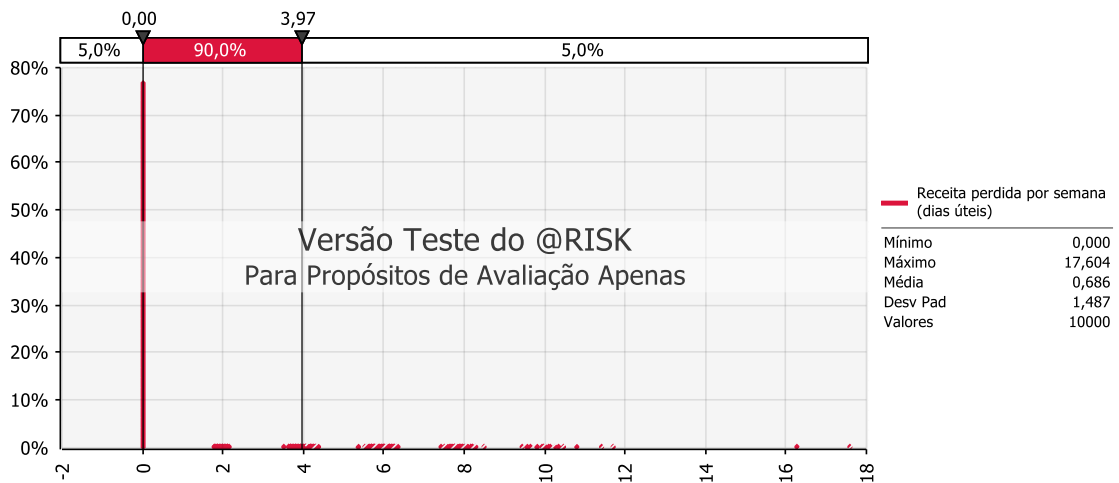
cliente perdido) e os 20.8%, apresentando um valor médio de cerca de 7.8%, o que significa que num fim-de-semana existiriam em média 17 clientes perdidos.



**Receita perdida**

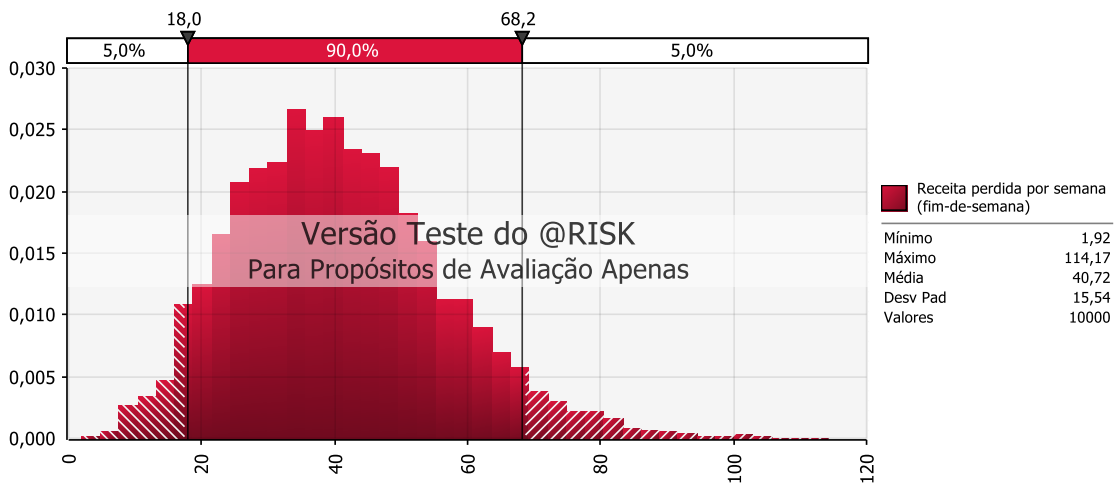
Durante a semana útil, a receita perdida caso apenas exista um posto de lavagem apresenta valores que podem ser assumidos como baixos, como se pode ver na Figura 23, variando estes entre os 0€ e os 17.6€, em que a média é apenas de 0.68€. São valores bastante semelhantes aos obtidos para as condições atuais.

Figura 23 - Receita perdida, por semana, para 1 posto de lavagem (dias úteis)



Durante o fim-de-semana, o panorama é no entanto bem diferente (Figura 24), podendo mesmo haver uma receita perdida de 114€, valor este que pode ser considerado elevado. O valor mínimo apresentado no histograma obtido na simulação é de 1.92€, tendo um valor médio de 40.7€. Como se pode observar na Figura 24, os valores obtidos para este número de postos de lavagem é bastante mais elevado do que para as condições atuais.

Figura 24- Receita perdida, por semana, para 1 posto de lavagem (fim-de-semana)



## Receita total

Com a alteração do número de postos de lavagem de três para um, de acordo com o que está apresentado nas Figuras 25 e 26 para os dias úteis e fim-de-semana, respetivamente, a receita total mantém-se quase inalterada no caso dos dias úteis, apresentando valores compreendidos entre os 435€ e os 547€ e um valor médio de 491€. No entanto, para o

período do fim-de-semana, os valores variam entre os 349€ e os 567€, com média de 412€ (quando é de aproximadamente 452 euros com a capacidade atual de 3 postos, o que significa que se deve esperar que a receita de um fim-de-semana diminua em média 40€.

Figura 25 - Receita total por semana, para 1 posto de lavagem (dias úteis)

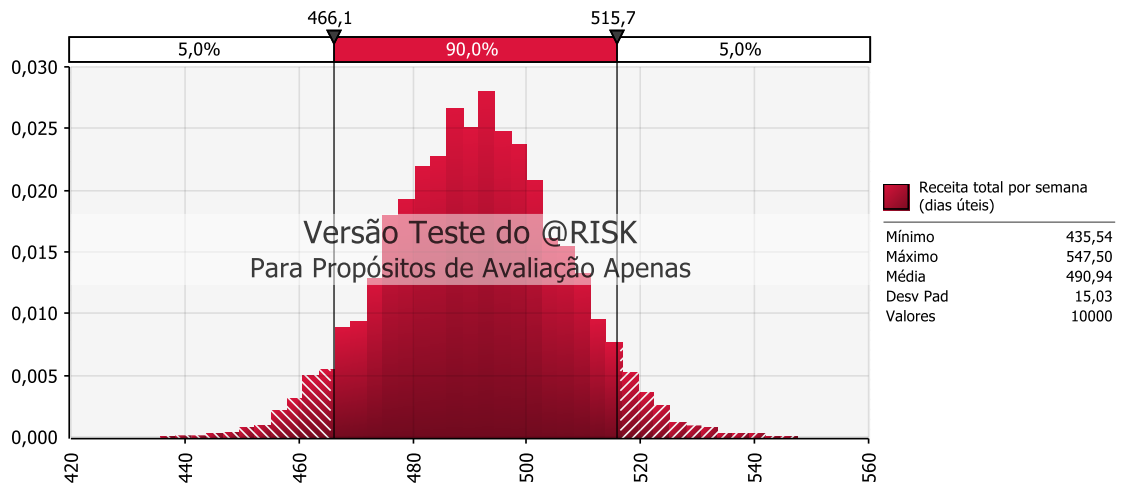
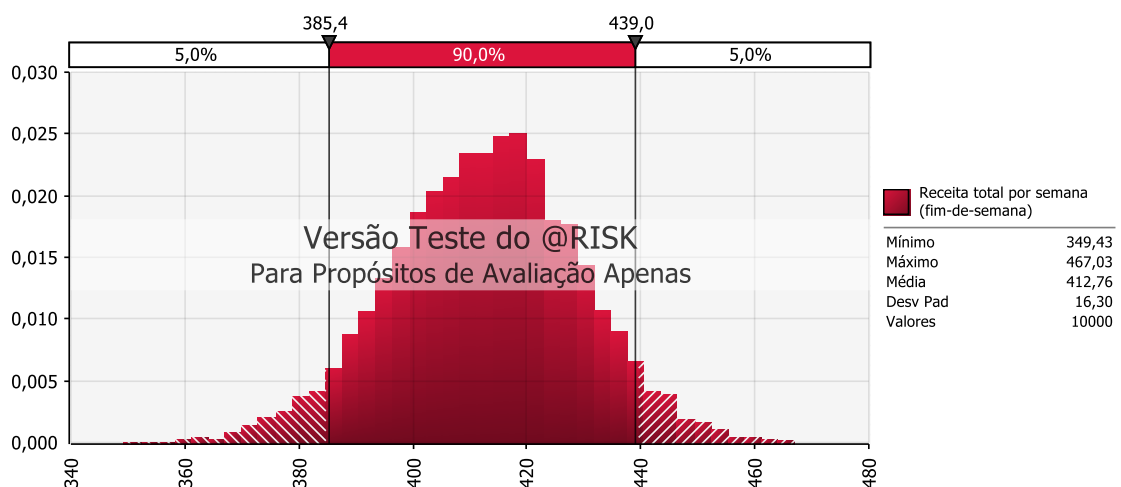


Figura 26 - Receita total por semana, para 1 posto de lavagem (fim-de-semana)



Tendo em conta os resultados obtidos para as simulações com apenas um posto de lavagem, sobretudo para o período do fim-de-semana, é razoável concluir que um único posto de lavagem constituiria uma capacidade de serviço demasiado reduzida para os padrões normais de procura, isto pois, embora a taxa da capacidade utilizada seja bastante mais elevada, esta alteração provoca também um elevado aumento na percentagem de clientes perdidos, aumentando consequentemente a receita perdida.

## 4.2.2. Dois postos de lavagem

No seguimento da subsecção anterior, apresentam-se agora os resultados das várias simulações no caso em que apenas existem dois postos de lavagem e o comprimento da fila de espera se mantém com o valor máximo assumido de quatro veículos.

### Percentagem da capacidade utilizada

A percentagem da capacidade utilizada para o período da semana útil varia, de acordo com a Figura 27, segundo a simulação realizada, entre 15% e 27%, apresentando uma média de cerca de 20%. Já aos fins-de-semana, este valor aumenta bastante, aumento este visível na Figura 28, de tal forma que o valor mínimo da percentagem da capacidade utilizada neste período é muito idêntico ao valor máximo obtido durante a semana útil. Em concreto, ao fim de semana, a taxa de capacidade utilizada varia entre os 34% e os 61%, exibindo um valor médio de 47%.

Figura 27 - Percentagem da capacidade utilizada, para dois postos de lavagem (dias úteis)

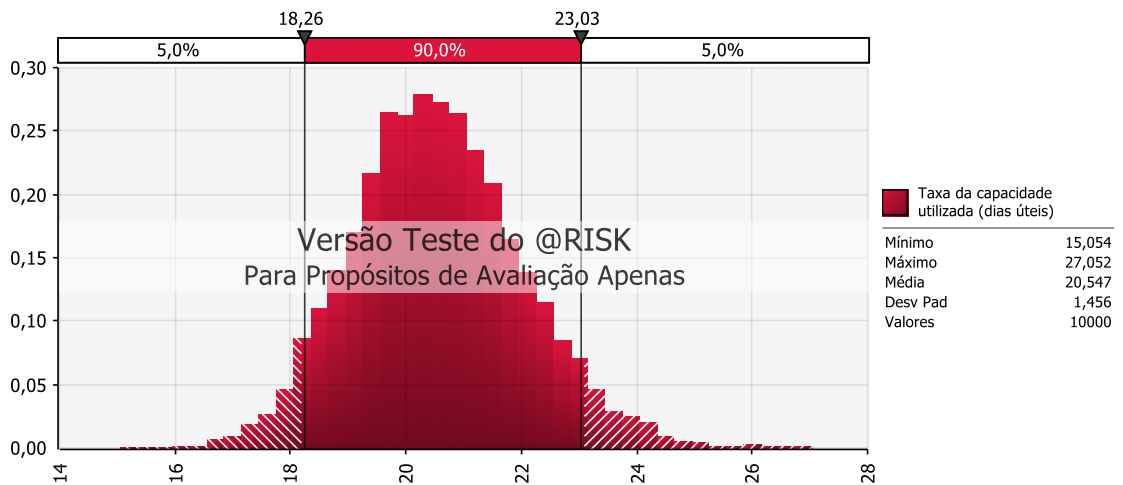
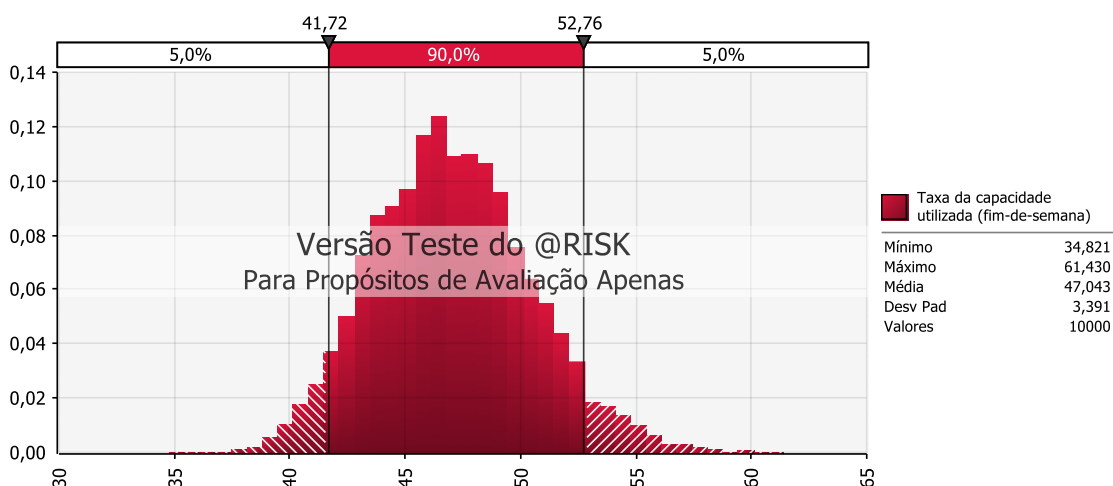


Figura 28 - Percentagem da capacidade utilizada para dois postos de lavagem (fim-de-semana)



### Tempo médio de espera

Com dois postos de lavagem, o tempo médio de espera, quer nos dias úteis quer ao fim-de-semana, continua a apresentar valores próximos de 0, como é possível observar nas Figuras 29 e 30, variando entre 0 minutos e 0,6 minutos (36 segundos), sendo que 90% dos utilizadores têm de esperar um tempo médio entre 0,07 minutos (4 segundos) e 0,3 minutos (18 segundos). Aos fins-de-semana, estes valores são elevados quando comparados com os apresentados para os dias úteis, embora ainda próximos de 0, variando entre 0,3 minutos (18 segundos) e 2 minutos e meio, tendo 90% dos utilizadores de esperar um tempo compreendido entre 0,6 minutos (36 segundos) e 1,6 minutos.

Figura 29 - Tempo médio de espera para dois postos de lavagem (dias úteis)

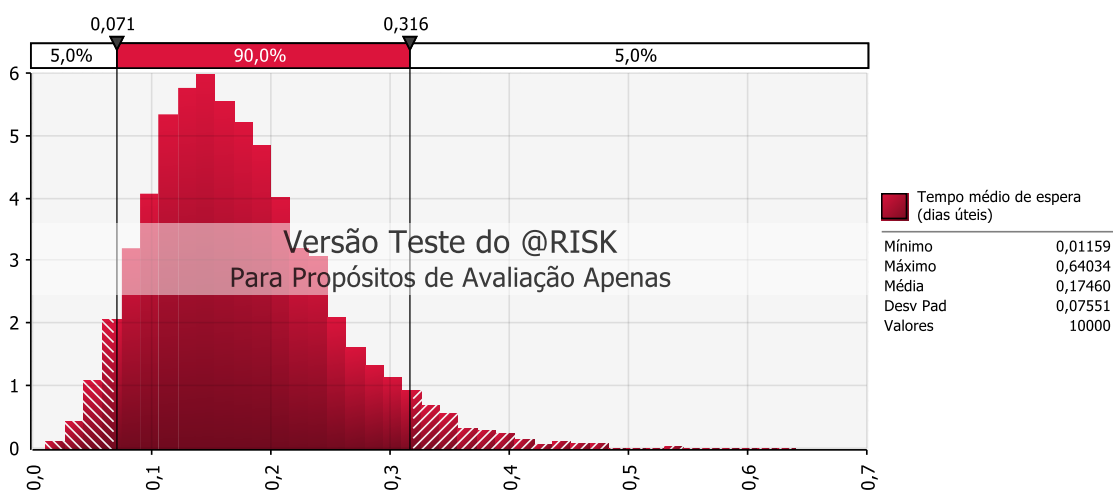
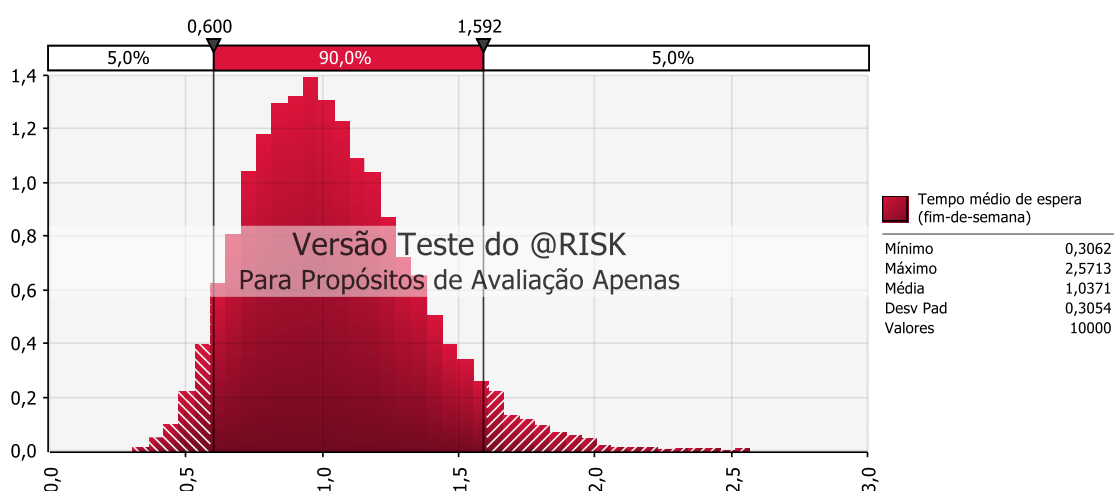


Figura 30 - Tempo médio de espera para dois postos de lavagem (fim-de-semana)



### Percentagem de clientes perdidos

Os valores obtidos para este indicador apenas com dois postos de lavagem são bastante semelhantes aos obtidos para a capacidade atual, assumindo, durante uma semana útil, uma percentagem compreendida entre 0% e 1.2% (Figura 31), o que significa que, no máximo, existiriam 3 clientes perdidos. Já para o fim-de-semana (Figura 32), o valor deste indicador varia entre os 0% e os 3.6%, apresentando um valor médio de aproximadamente 0.2%, ou seja, no máximo existiriam 8 clientes (dos 218 simulados) que, por não terem espaço na fila de espera, abandonam o sistema sem efetuar a lavagem.

Figura 31 - Percentagem de clientes perdidos para dois postos de lavagem (dias úteis)

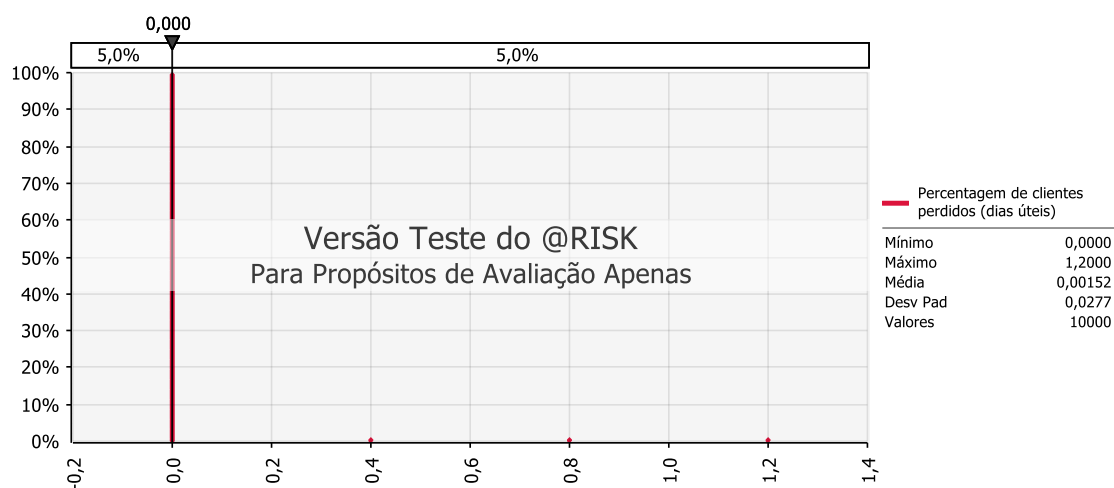
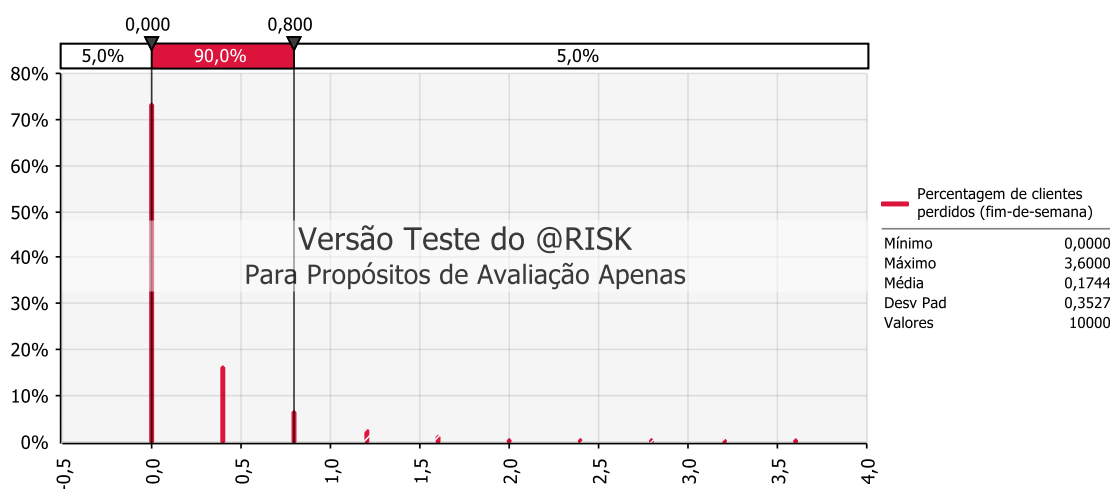


Figura 32 - Percentagem de clientes perdidos para dois postos de lavagem (fim-de-semana)



## Receita perdida

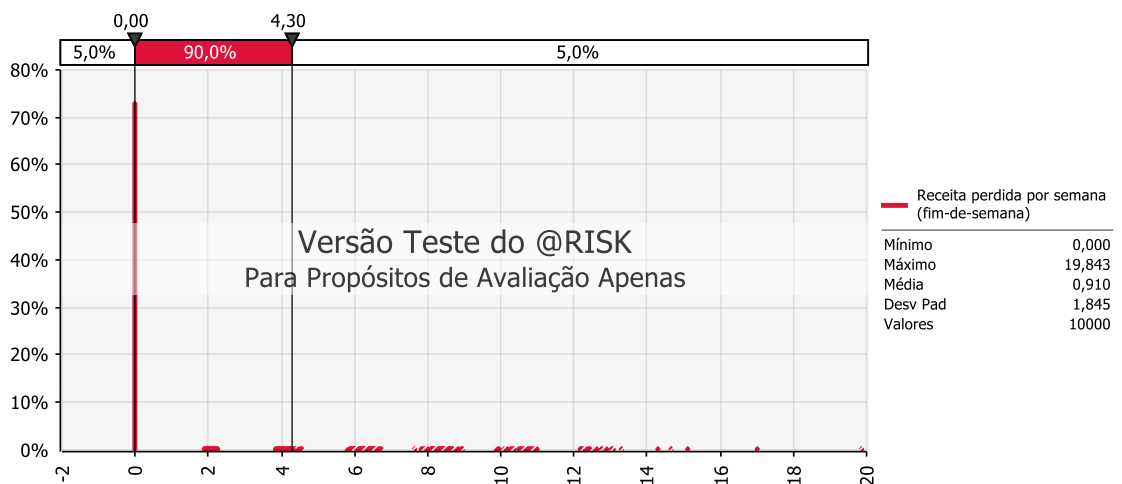
A receita perdida, indo ao encontro aos resultados dos indicadores acima apresentados, é bastante próxima de 0 para o período da semana útil, como apresentado na Figura 33, apresentando valores que variam entre os 0€ e os 5.8€, sendo que em média esta toma o valor de 0€.

Aos fins-de-semana, e de acordo com o histograma da Figura 34, este indicador apresenta valores ligeiramente mais elevados, tendo a estação uma receita perdida que varia entre os 0€ e os 20€, embora em média esta seja de apenas 1€.

Figura 33 - Receita perdida para dois postos de lavagem (dias úteis)



Figura 34 - Receita perdida para dois postos de lavagem (fim-de-semana)



## Receita total

Sendo os valores de todos indicadores obtidos para dois postos de lavagem tão semelhantes aos obtidos para a capacidade atual (três postos de lavagem), os valores para a receita total são também idênticos, apresentando para o período do fim-de-semana um valor médio cerca de 30/40€ acima do período da semana útil. Durante a semana útil, a receita total varia entre os 436€ e os 549€ (Figura 35) e, durante o fim-de-semana, esta varia entre os 406€ e os 507€ (Figura 36).

Figura 35 - Receita total para dois postos de lavagem (dias úteis)

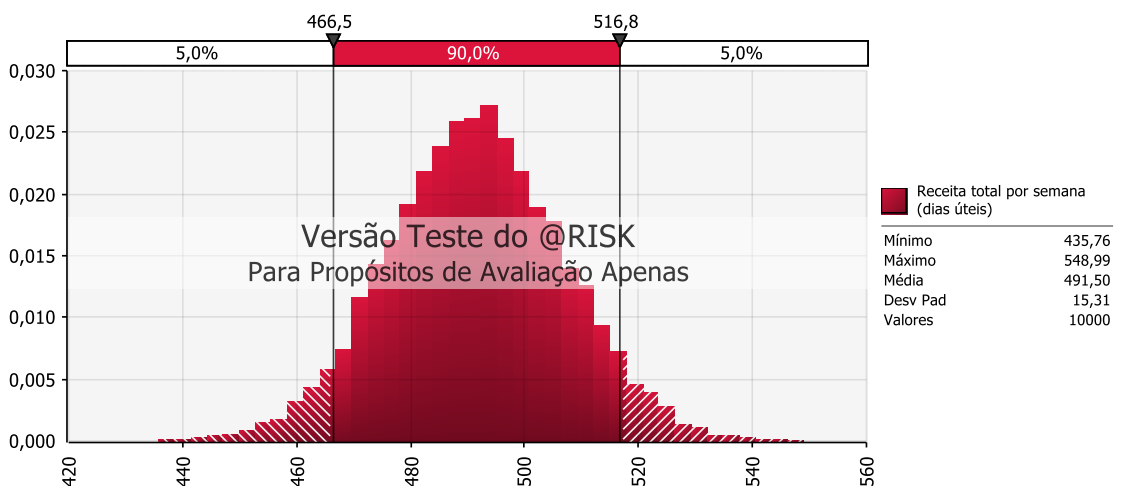
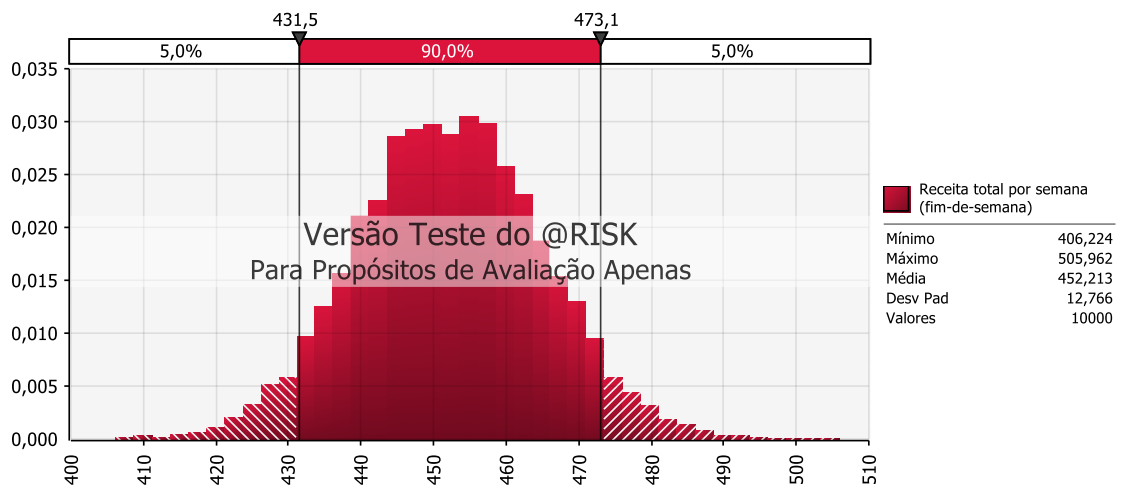


Figura 36 - Receita total para dois postos de lavagem (fim-de-semana)



Tendo em conta os resultados obtidos para as simulações com dois postos de lavagem, e em comparação com os obtidos para a capacidade atual, percebe-se que a capacidade passa a ter uma maior taxa de utilização sem comprometer de forma relevante os restantes indicadores, pelo que, aparentemente, a nível do número de servidores, será a capacidade adequada para a estação de lavagem dar resposta ao padrão atual da procura.

Em resumo, é possível concluir que a capacidade atual de três postos de lavagem parece ser algo excessiva para a atual procura da estação de lavagem, essencialmente porque os recursos têm uma reduzida taxa de utilização, o que pode implicar custos desnecessários.

Mais em detalhe, quando se comparam os resultados obtidos para a capacidade atual (três postos de lavagem), com os obtidos para um ou dois postos de lavagem, é possível concluir que:

- Para um posto de lavagem: a taxa de utilização da capacidade é bastante maior, o que seria vantajoso para a empresa, porque estaria a aproveitar melhor os seus recursos. No entanto, o número de clientes perdidos e a receita perdida também aumentam significativamente;
- Para dois postos de lavagem: os resultados obtidos são bastante próximos dos obtidos para a capacidade atual, em termos dos indicadores de receita, clientes perdidos, e até mesmo do tempo médio de espera dos clientes. No entanto, neste cenário consegue-se uma percentagem da capacidade utilizada superior à obtida para a capacidade atual, pelo que deve ser um cenário a equacionar pela administração da empresa no caso de representar uma poupança significativa de custos.

Face ao exposto, o cenário mais adequado para a empresa parece ser o cenário com dois postos de lavagem. De facto, tal como apresentado acima, com um único posto, os resultados dos indicadores pioram muito, não parecendo desta forma adequado à empresa; com três postos, parece existir um elevado desperdício de recursos (e consequentes custos); já com dois postos de lavagem, os resultados são bastante próximos dos atuais em termos de receita, clientes perdidos e tempo médio de espera dos clientes, mas permitindo uma poupança nos custos semanais imputáveis à existência do terceiro posto de lavagem.

### **4.3. Análise de sensibilidade ao comprimento máximo da fila/grau de paciência dos clientes**

---

Nesta secção, apresentam-se os resultados obtidos nas simulações realizadas para o efeito da alteração do comprimento máximo da fila de espera no desempenho do sistema, mantendo fixo o número de servidores em 3 postos de lavagem (a capacidade atual do sistema). Esta secção pode também ser vista como uma análise de sensibilidade ao grau de paciência dos clientes, uma vez que se está a trabalhar com o pressuposto de que os clientes não permanecem no sistema caso não tenham lugar na fila de espera. Neste sentido, por exemplo, reduzir o espaço de espera de 4 para 3 lugares pode ser também visto como uma redução no grau de paciência dos clientes, embora o primeiro seja controlável pela empresa e o último não. Deste modo, o sistema foi simulado com as seguintes alterações no comprimento máximo da fila de espera:

- Com a redução de um lugar disponível face ao pressuposto assumido para a capacidade atual, ou seja, para uma capacidade de três lugares disponíveis;
- Com a redução de dois lugares disponíveis face ao pressuposto assumido para a capacidade atual, ou seja, para uma capacidade de 2 lugares disponíveis.

Note-se que não foi considerada qualquer análise ao aumento do comprimento máximo da fila de espera, dado que esse aumento apenas produziria alterações muito marginais nos indicadores de desempenho, uma vez que a capacidade atual do sistema já é algo excessiva. Da mesma forma, não serão analisados os casos de um ou zero lugares disponíveis, por não fazerem sentido em termos físicos no local em questão.

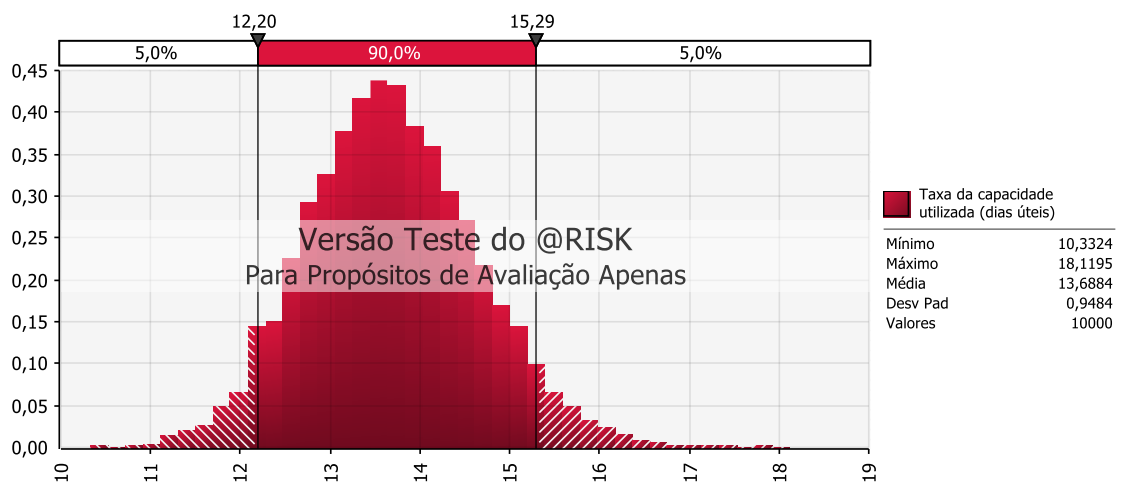
### 4.3.1. Três lugares disponíveis

Nesta secção, estão presentes os resultados obtidos da simulação realizada para a estação de lavagem com a redução de um lugar no comprimento máximo da fila de espera, de 4 para 3 lugares.

#### Percentagem da capacidade utilizada

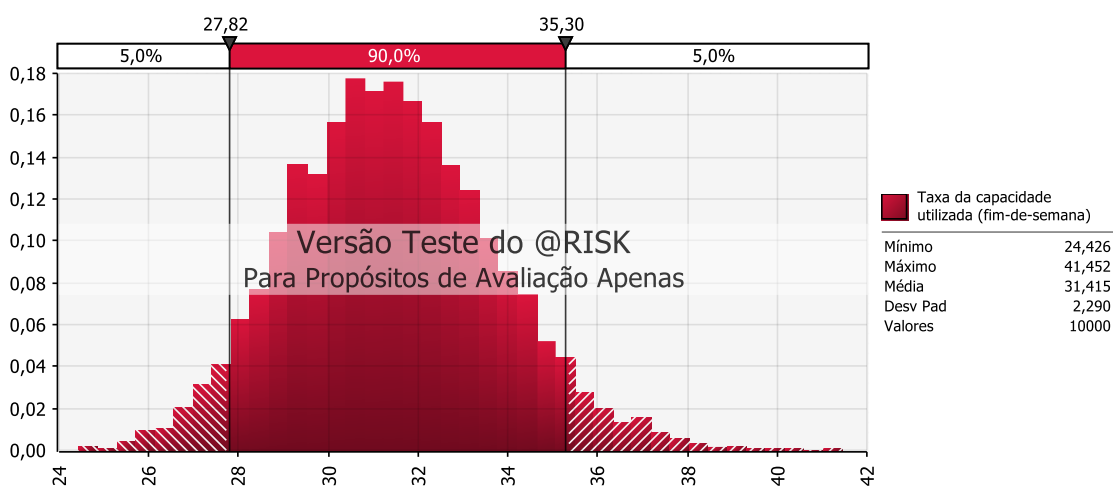
Com o comprimento máximo da fila de espera igual a três lugares, os resultados obtidos para a percentagem da capacidade da estação de lavagem utilizada são extremamente semelhantes aos obtidos para a condição atual. Durante a semana útil, e como se pode observar na Figura 43, os valores obtidos para este indicador variam entre os 10% e os 18%, apresentando uma média de cerca de 14%.

Figura 37 - Percentagem da capacidade utilizada para três lugares disponíveis (dias úteis)



Durante o fim-de-semana, os valores obtidos para este indicador variam entre os 24% e os 41%, apresentando o valor médio de 31%, de acordo com a Figura 44.

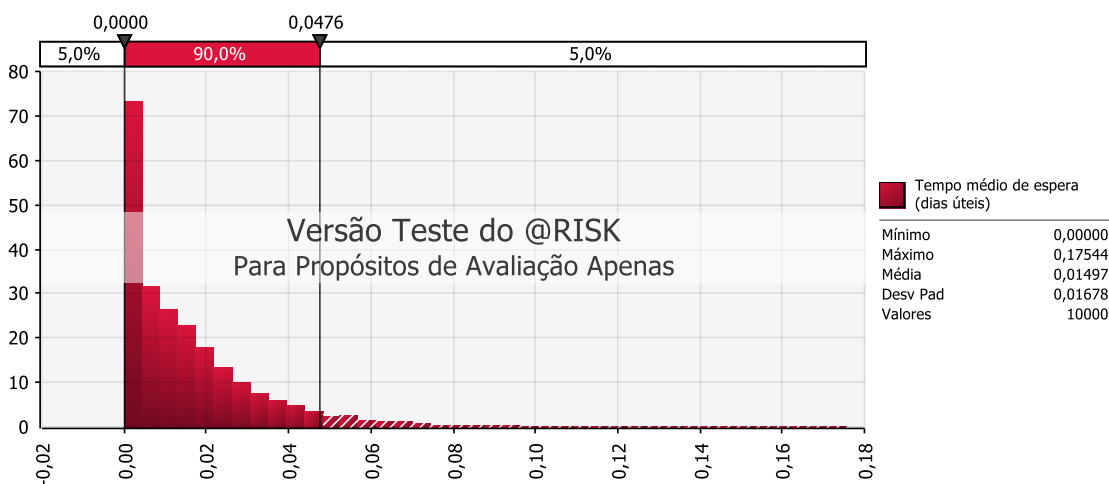
Figura 38 - Percentagem da capacidade utilizada para três lugares disponíveis (fim-de-semana)



### Tempo médio de espera

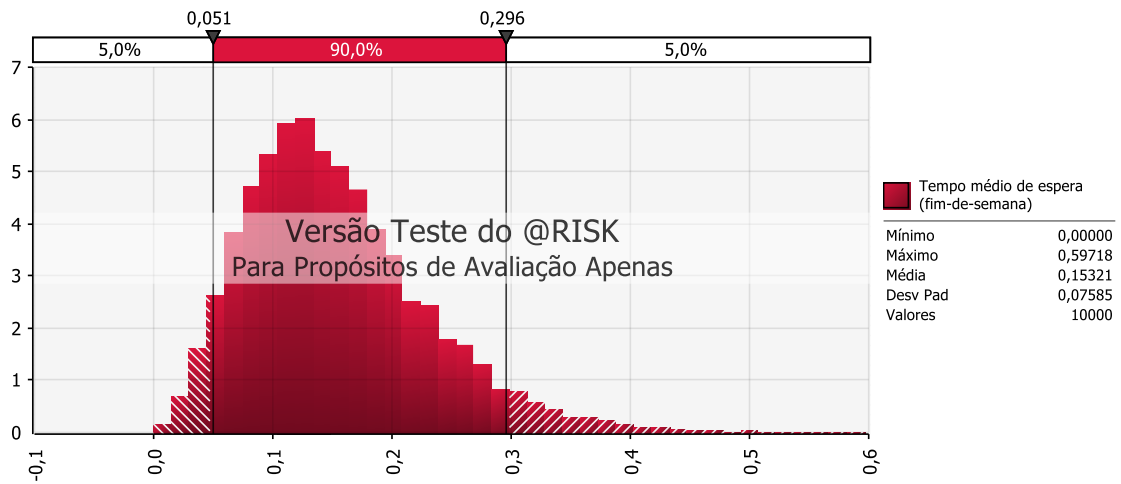
Quanto ao tempo médio de espera para usufruir dos serviços da estação de lavagem para os dias úteis e para o fim-de-semana, os resultados obtidos foram os que estão presentes nas Figuras 45 e 46, respetivamente. Durante a semana útil, este indicador varia entre os 0 minutos e 0,18 minutos (cerca de 11 segundos), tendo o valor médio de 0,01 minutos (0,6 segundos).

Figura 39 - Tempo médio de espera para três lugares disponíveis (dias úteis)



Já para os fins-de-semana, o tempo médio de espera atinge o valor máximo de 0,6 minutos (36 segundos), tendo um valor médio de 0,15 minutos (9 segundos).

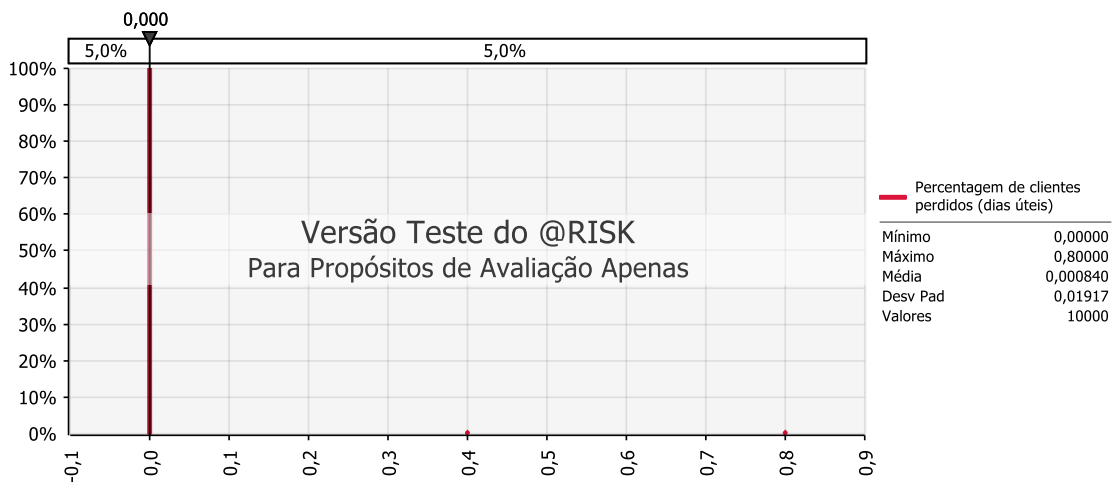
Figura 40 - Tempo médio de espera para três lugares disponíveis (fim-de-semana)



### Percentagem de clientes perdidos

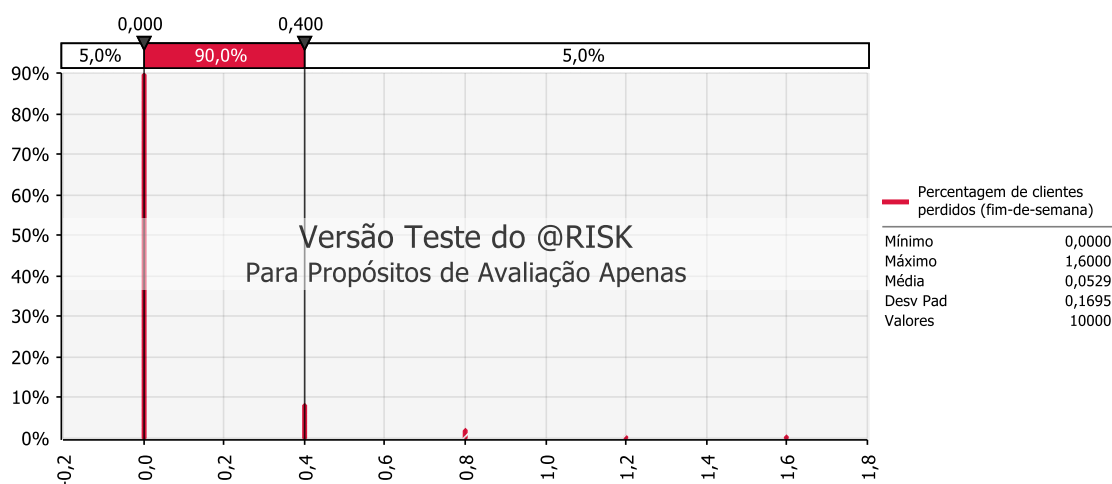
Os valores obtidos para este indicador são ligeiramente mais elevados do que os obtidos para as condições atuais (em que se assume quatro lugares disponíveis). Durante a semana útil, este indicador toma o valor máximo de 0.8%, tendo uma média de 0% (Figura 47).

Figura 41 – Percentagem de clientes perdidos para três lugares disponíveis (dias úteis)



Ao fim-de-semana, e como se pode observar na Figura 48, este valor sobe ligeiramente, tendo um máximo de 1.6%, o que significa que no máximo existiriam 3 clientes perdidos.

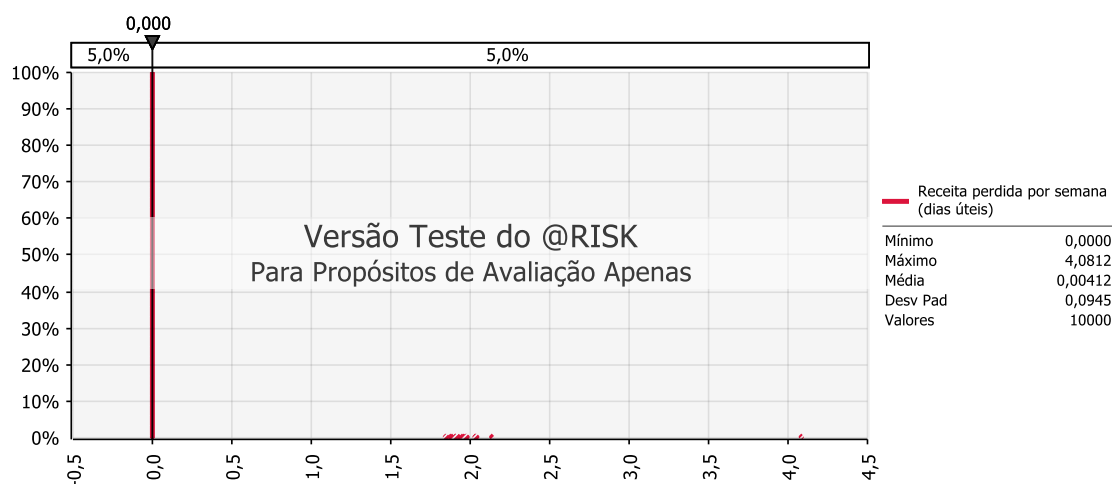
Figura 42 - Percentagem de clientes perdidos para três lugares disponíveis (fim-de-semana)



## Receita perdida

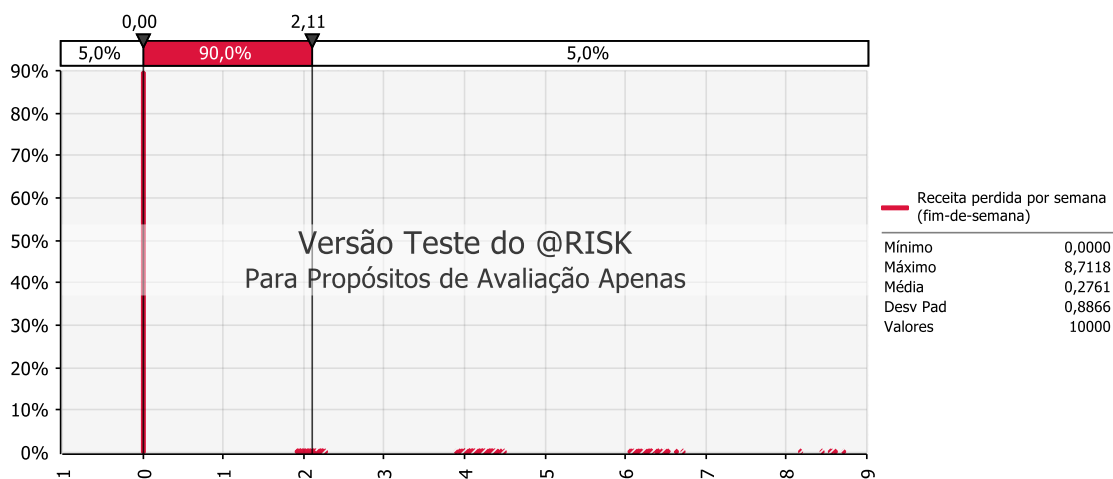
Durante a semana, os valores da receita perdida variam entre os 0 euros e os 4 euros, apresentando um valor médio de 0€, ou seja, mesmo com a redução de um lugar no comprimento máximo da fila de espera, este valor mantém-se bastante próximo de 0 e, desta forma, idêntico ao obtido para as condições atuais (Figura 49).

Figura 43- Receita perdida para três lugares disponíveis (dias úteis)



Ao fim-de-semana, este indicador apresenta o valor máximo de 8.7€, mas, de acordo com a Figura 50, na maioria dos fins-de-semana não existe qualquer receita perdida.

Figura 44 - Receita perdida para três lugares disponíveis (fim-de-semana)



## Receita total

Para a receita total, estes valores são bastante semelhantes aos obtidos inicialmente, variando este valor, para o período útil da semana, entre 433€ e 550€ (Figura 51) e, ao fim de semana, entre os 401€ e os 500€ (Figura 52). Os valores médios para este indicador são de 491€ para a semana útil e de 453€ para o fim-de-semana.

Figura 45 - Receita total por semana com três lugares disponíveis (dias úteis)

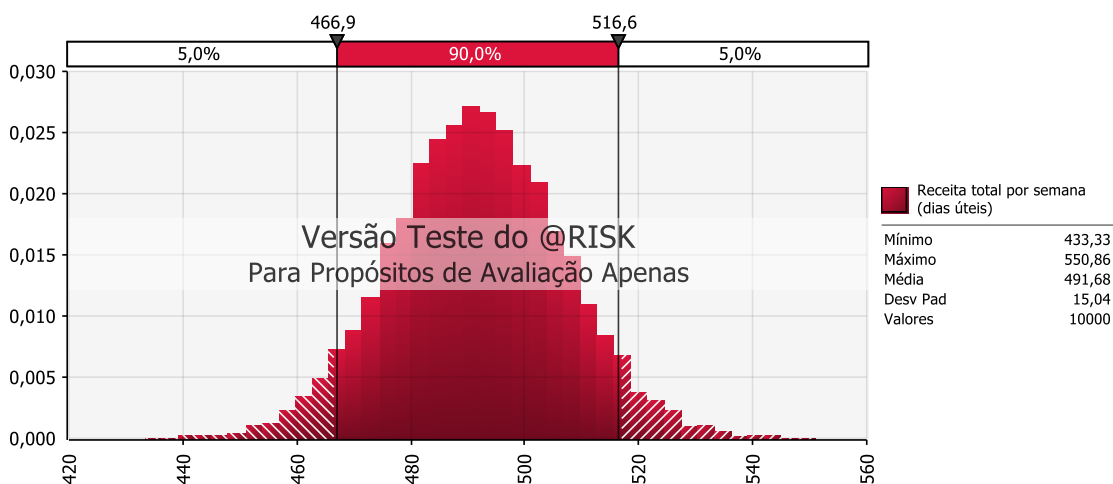
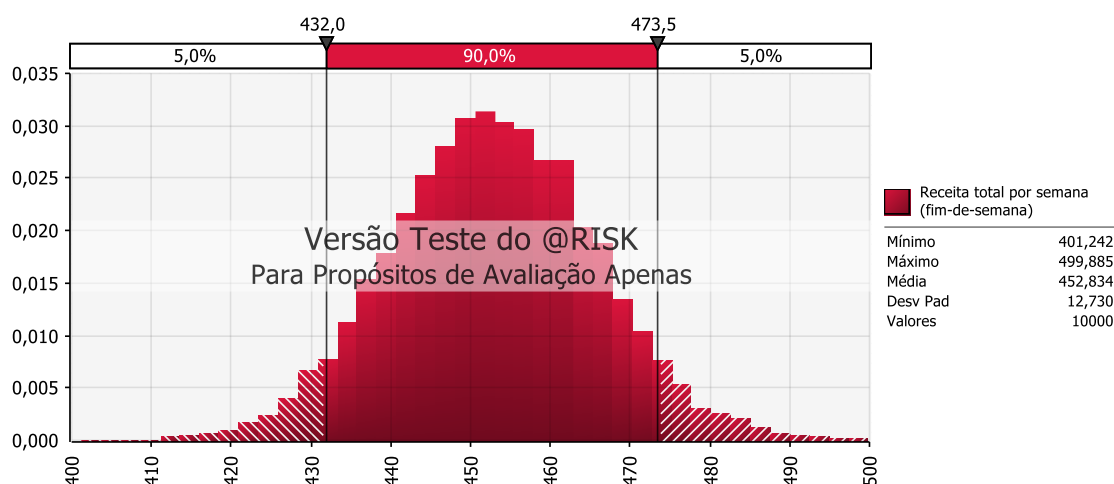


Figura 46 - Receita total por semana com três lugares disponíveis (fim-de-semana)



Analisando os resultados obtidos para a simulação realizada para uma redução do comprimento máximo da fila de espera, os indicadores não foram significativamente afetados, isto porque, face à capacidade atual da empresa a nível de número de servidores, esta encontra-se bem protegida em relação a uma possível redução do comprimento máximo da fila de espera/grau de paciência dos clientes.

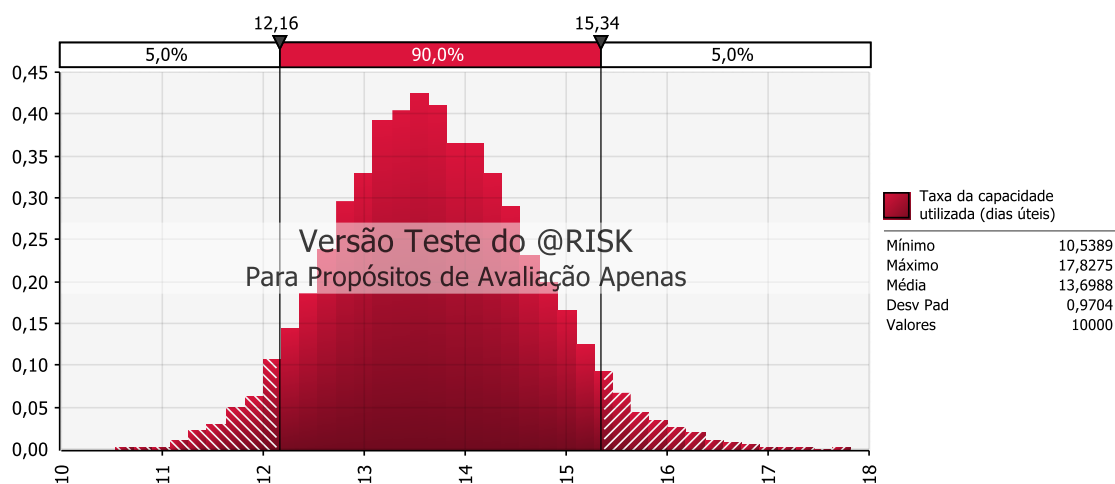
### 4.3.2. Dois lugares disponíveis

Nesta secção, são apresentados os resultados obtidos para a redução do comprimento máximo da fila de espera em dois lugares disponíveis, de 4 para 2.

#### Percentagem da capacidade utilizada

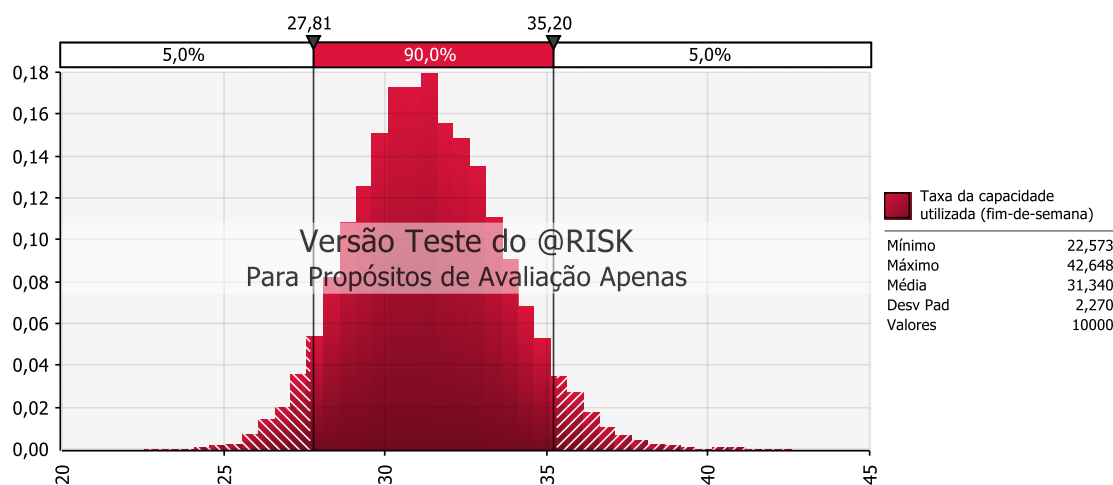
Mesmo com uma diminuição ainda maior do comprimento máximo da fila, os resultados para a taxa de utilização da capacidade mantêm-se bastante semelhantes aos obtidos para as condições atuais, variando durante a semana útil, de acordo com a Figura 53, entre os 10.5% e os 18%, apresentado um valor médio de aproximadamente 14% (valor igual ao obtido para as condições atuais).

Figura 47 - Percentagem da capacidade utilizada para dois lugares disponíveis (dias úteis)



Aos fins-de-semana (Figura 54), a taxa de utilização da capacidade varia entre os 22.5% e os 42.6%, apresentando uma média de 31%, valor este também igual ao obtido para as condições atuais.

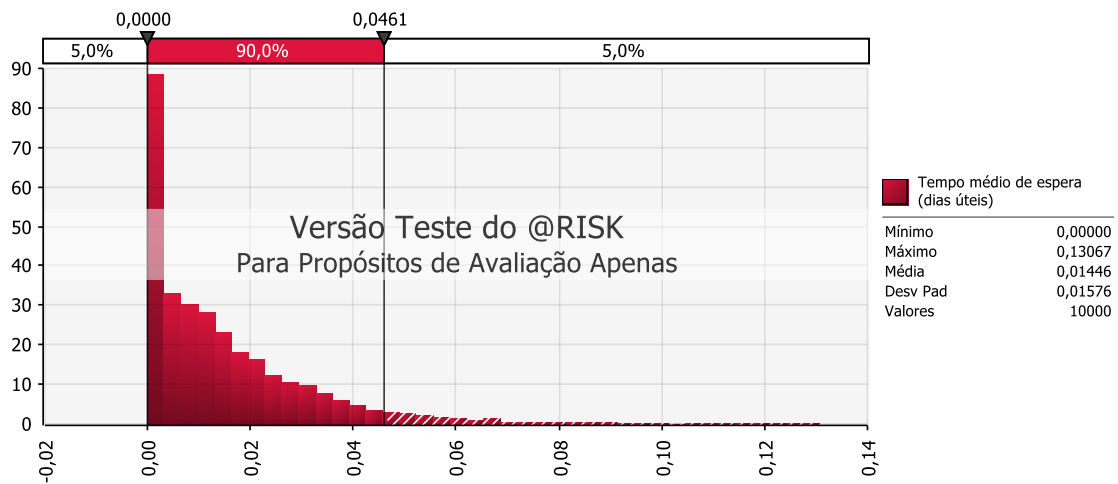
Figura 48- Percentagem da capacidade utilizada para dois lugares disponíveis (fim-de-semana)



### Tempo médio de espera

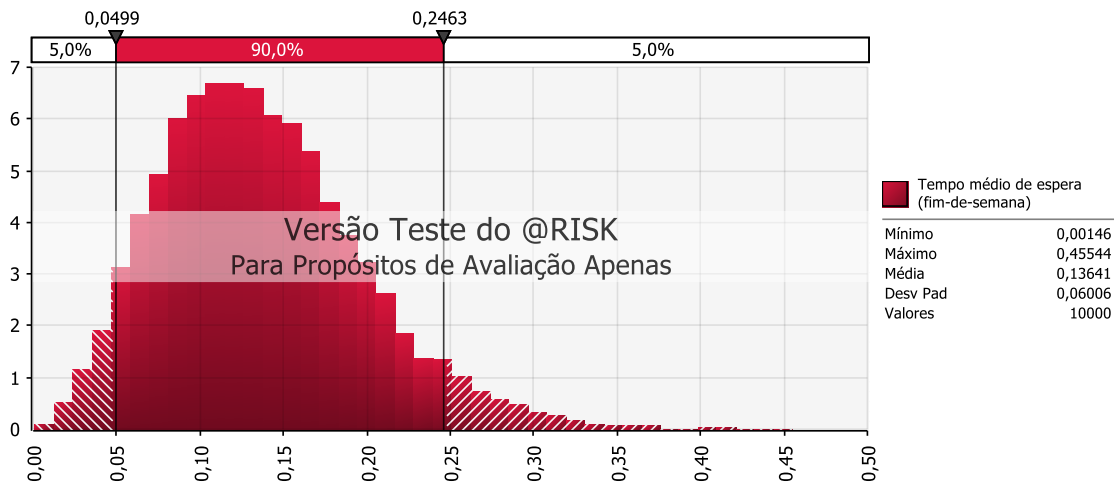
Os valores obtidos para o tempo médio de espera são também bastante equivalentes aos obtidos para o estado atual da capacidade do sistema. Para a semana útil, e de acordo com a Figura 55, o tempo médio de espera varia entre os 0 minutos e os 0,13 minutos (8 segundos), sendo que, em média, um cliente não espera para usufruir dos serviços da estação de lavagem.

Figura 49 - Tempo médio de espera para dois lugares disponíveis (dias úteis)



Ao fim-de-semana (Figura 56), o tempo médio de espera varia entre os 0 minutos e os 0,46 minutos (aproximadamente 30 segundos), tendo também um valor médio bastante próximo de 0 (0,13 minutos).

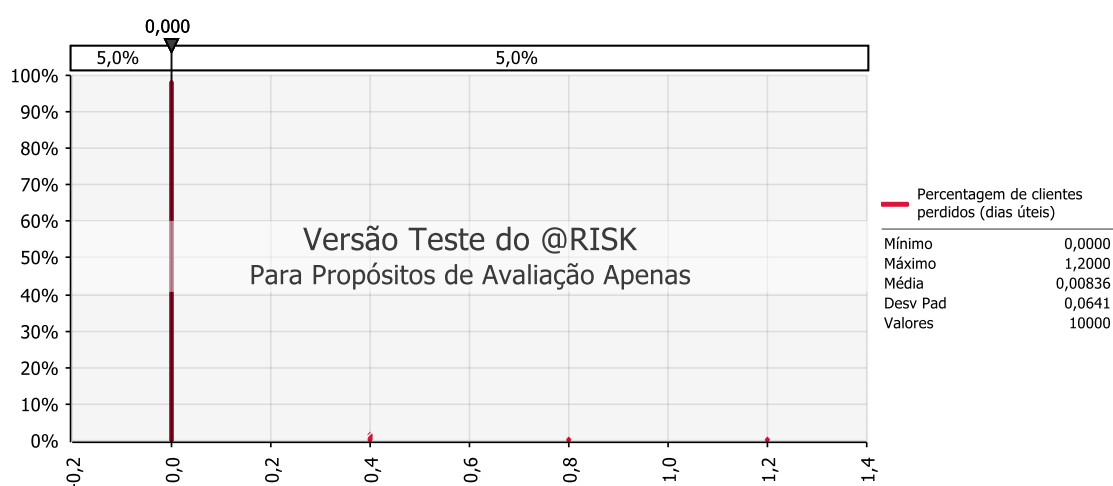
Figura 50 - Tempo médio de espera para dois lugares disponíveis (fim-de-semana)



### Percentagem de clientes perdidos

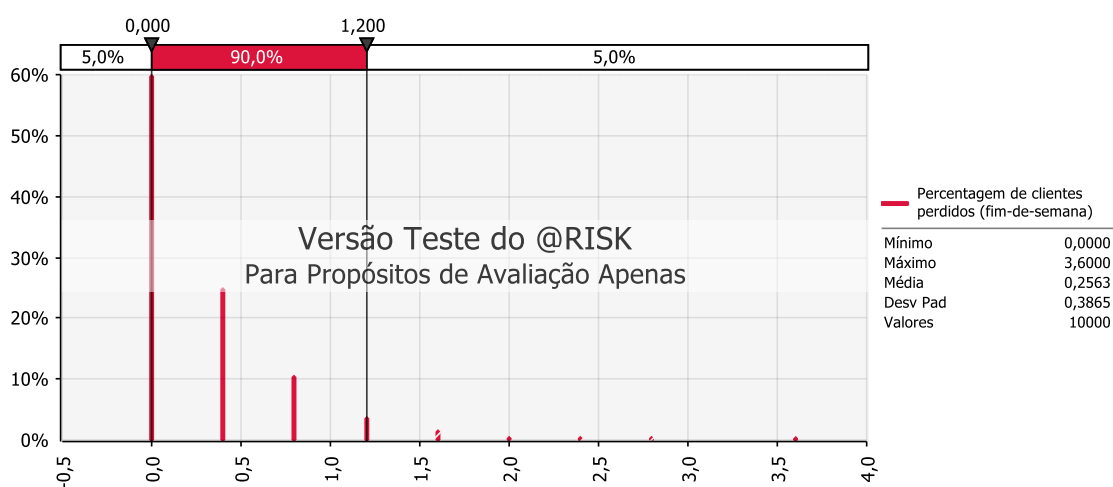
Mesmo com uma diminuição de dois lugares disponíveis no comprimento máximo da fila de espera, os valores para a percentagem de clientes perdidos mantêm-se muito próximos de 0. Durante a semana útil, de acordo com a Figura 57, a percentagem de clientes perdidos varia entre os 0% e os 1,2% (3 clientes), sendo que, para a capacidade atual, este indicador foi no máximo de 0%. De qualquer forma, em média, na grande maioria das semanas úteis, não existe qualquer cliente perdido.

Figura 51 - Percentagem de clientes perdidos para dois lugares disponíveis (dias úteis)



Ao fim-de-semana (Figura 58), este indicador aumenta quando comparado com os valores obtidos para a capacidade atual, tendo sido atingido um máximo de 3.6% (cerca de 8 clientes perdidos), enquanto na capacidade atual esse máximo foi de 1.6%. Ainda assim, a média deste indicador é de apenas 0.2%.

Figura 52 - Percentagem de clientes perdidos para dois lugares disponíveis (fim-de-semana)



## Receita perdida

Durante os dias úteis da semana, a receita perdida, de acordo com a Figura 59, varia entre os 0€ e os 5.8€, apresentando um valor médio de aproximadamente 0€. Aos fins-de-semana (Figura 60), os valores obtidos são ligeiramente mais elevados, variando este indicador entre os 0€ e os 18€, tendo uma média de 1.3€ de receita perdida por fim-de-semana.

Figura 53 - Receita perdida para dois lugares disponíveis (dias úteis)

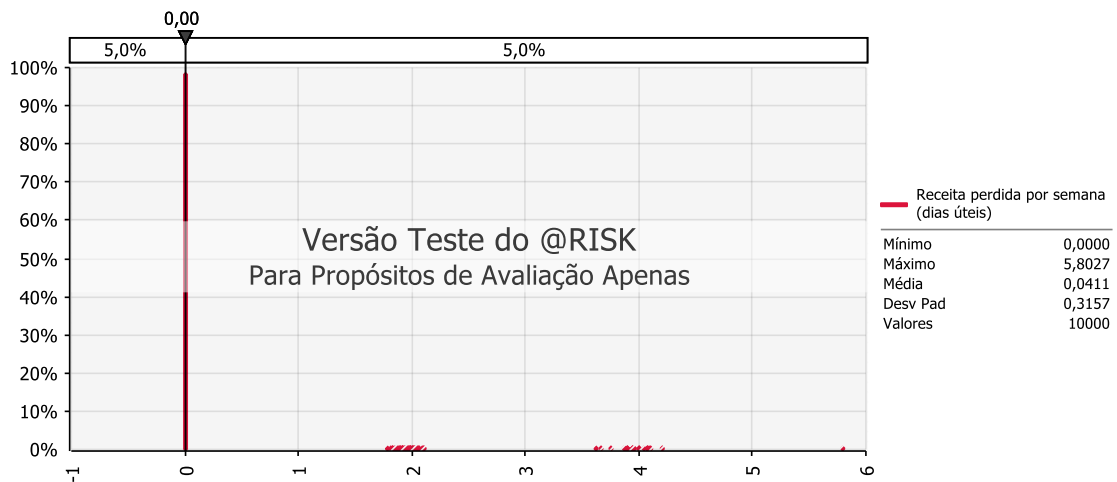
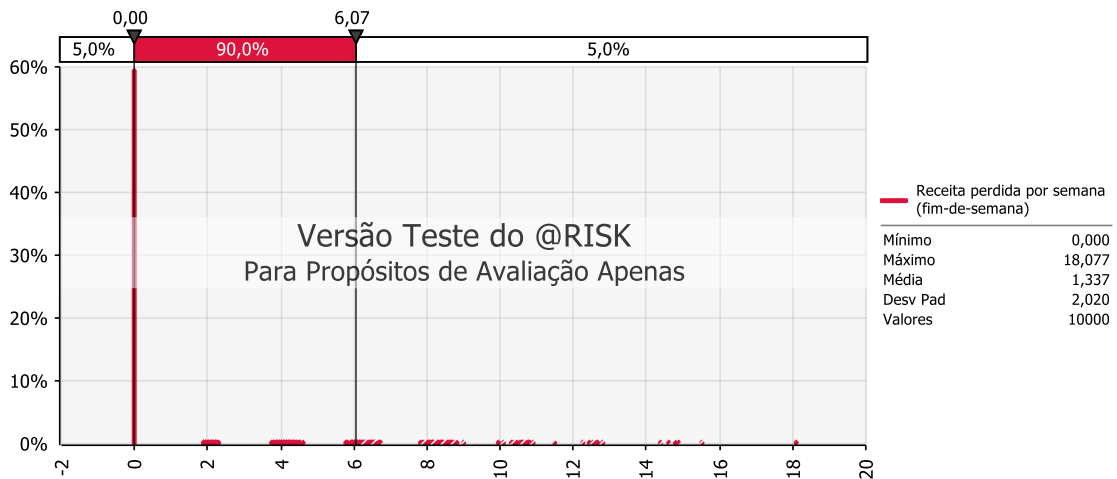


Figura 54 - Receita perdida para dois lugares disponíveis (fim-de-semana)



## Receita total

Os valores obtidos para a receita total obtida por semana são, em média, de 491€ para os dias úteis e de 452€ para o fim-de-semana. Durante a semana útil, de acordo com a Figura 61, a receita varia entre os 427€ e os 549€. Para o fim-de-semana, os valores da receita, de acordo com a Figura 62, variam entre os 406€ e os 501€.

Figura 55 - Receita total para dois lugares disponíveis (dias úteis)

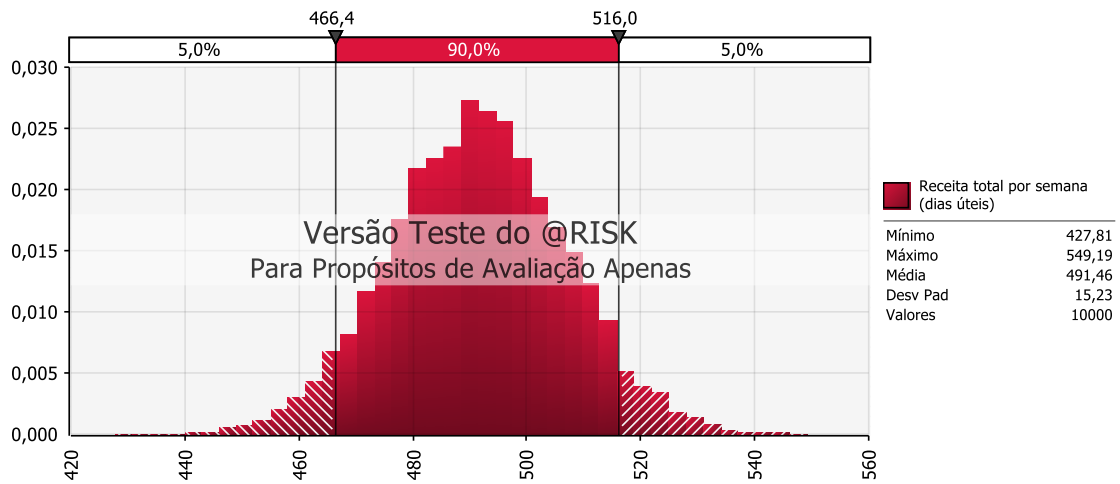
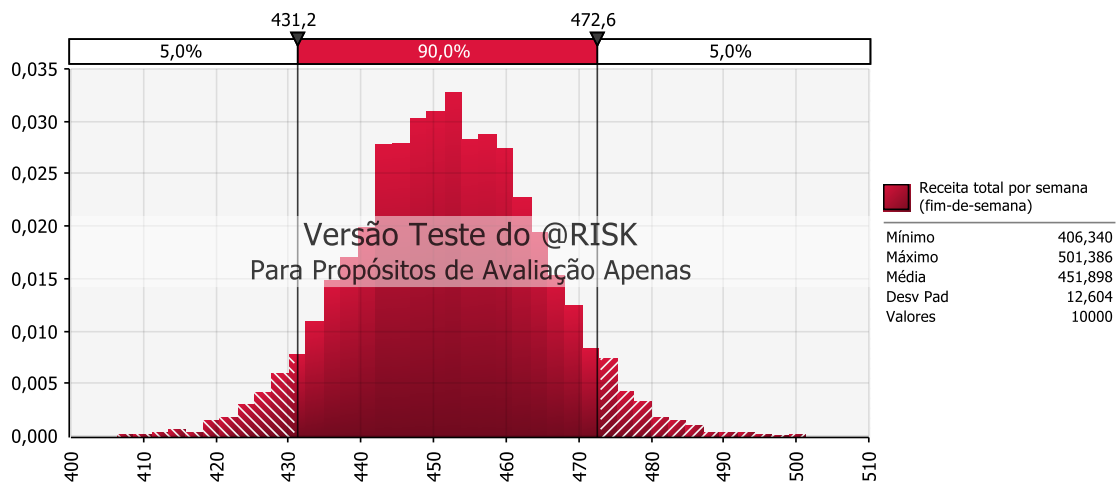


Figura 56 - Receita total para dois lugares disponíveis (fim-de-semana)



Tendo em conta os resultados obtidos para as simulações realizadas para uma redução do comprimento máximo da fila de espera de 4 para 2 lugares, os indicadores não foram significativamente afetados, isto porque, face à capacidade atual em termos de número de servidores disponíveis, que é elevada para o padrão normal da procura, a empresa encontra-se bem protegida em relação a uma redução do comprimento máximo da fila de espera/grau de paciência dos clientes.

Em resumo, é possível concluir que, mantendo os três postos de lavagem, as alterações no comprimento máximo da fila de espera, ou, na interpretação alternativa, no grau de paciência dos clientes, não influenciam de forma significativa os resultados obtidos. Isto significa que é possível afirmar que, caso se mantenham os três postos de lavagem, o atual comprimento máximo da fila de espera de quatro veículos parece algo excessivo para a

procura esperada. De facto, a diminuição do comprimento máximo da fila de espera em um ou dois lugares, para três ou dois lugares disponíveis, respetivamente, apenas causa um ligeiro aumento na percentagem de clientes perdidos, o que se traduz e, 5€ perdidos na semana útil e 18€ perdidos ao fim-de-semana no pior cenário, quando para as condições atuais os valores eram de 0€ durante os dias úteis e de 8€ aos fins-de-semana. Desta forma, a manter os três postos de lavagem, e no caso de existirem alternativas mais rentáveis ou que impliquem menos custos para o espaço atualmente destinado à fila de espera da estação de lavagem, seria recomendável a implementação de uma dessas alternativas.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## 5. Conclusão

---

Ao longo deste relatório foram explorados os temas da gestão de filas de espera e da simulação computacional, neste caso utilizando o *software @Risk*, com o objetivo de obter alguns resultados de apoio à gestão de uma estação de lavagem automóvel semiautomática, que preferiu manter o anonimato, mas também de comprovar o benefício do uso da simulação como ferramenta de apoio à decisão na gestão.

Ao realizar uma avaliação do desempenho do sistema de serviço da empresa em análise através da simulação para as condições atuais da estação de lavagem, isto é, com três postos de lavagem e com o comprimento máximo da fila de espera igual a quatro, foi possível concluir que a capacidade instalada é algo excessiva. Com a análise do impacto causado pela alteração do número de postos de lavagem (análise de sensibilidade ao número de postos), a quantidade de postos que parece ser mais adequada para a estação de lavagem é de dois postos, dado que, para essa capacidade, os resultados obtidos para a maioria dos indicadores são bastante semelhantes aos obtidos para as condições atuais, mas permitindo uma utilização mais racional dos recursos e a poupança dos custos inerentes ao funcionamento e manutenção do terceiro posto de lavagem.

Com a análise de sensibilidade ao comprimento máximo da fila, observou-se que, com a diminuição do comprimento máximo da fila de espera, mantendo fixos os três postos de lavagem atuais, os resultados obtidos mantêm-se bastante semelhantes em todos os indicadores, o que permite concluir que o sistema atual é bastante imune a alterações no grau de paciência dos clientes ou no espaço disponível para as viaturas em espera.

A partir do caso exposto neste relatório, além de ser fornecida à empresa alguma informação útil para a gestão da estação de lavagem automóvel semiautomática, foi ainda possível reforçar uma ideia já referenciada no enquadramento teórico: a simulação é uma ferramenta bastante poderosa para auxílio da gestão de filas de espera e para a tomada de decisões, pois permite num curto espaço de tempo obter resultados que, sem o recurso à simulação, demorariam bastante mais tempo a obter.

Este estudo, como qualquer outro, possui algumas limitações, pelo que se torna importante apresentá-las, ainda que estas não lhe retirem autenticidade nem desvalorizem a sua importância, podendo ser consideradas como oportunidades para futuras melhorias em eventuais novos estudos.

Em primeiro lugar, a principal limitação foi o curto espaço de tempo disponível para a recolha de dados, que pode ter provocado, por exemplo, que não tivesse sido possível distinguir diferentes períodos durante o ano em termos de intensidade da procura, nomeadamente o efeito sazonalidade verão/inverno.

Em segundo lugar, não foram considerados quaisquer dados financeiros, nomeadamente a nível de custos, na análise dos resultados, o que limita o potencial dos mesmos no apoio à definição da capacidade ótima de serviço da estação de lavagem. O exemplo mais evidente é a dependência da indicação dada no presente projeto para a redução da capacidade de serviço em um posto de lavagem, já que tal apenas faz sentido se permitir uma suficiente redução de custos.

Por fim, os pressupostos assumidos no modelo de simulação, em particular os relativos ao grau de paciência/impaciência dos clientes e aos factos do número de postos de lavagem não afetar a procura e do período noturno ter sido ignorado, poderão limitar a aderência à realidade do estudo efetuado e dos resultados obtidos.

No que diz respeito a sugestões para investigação futura, seria pertinente a aplicação deste projeto no mesmo sistema assumindo os resultados financeiros da organização, de forma a ser possível apresentar sugestões de melhoria mais fundamentadas e com valores mais concretos do possível ganho a obter com cada escolha realizada.

Não esquecendo as limitações referidas, o presente projeto fornece informação útil para a organização, que a poderá auxiliar na tomada de futuras decisões no que diz respeito à capacidade de serviço da estação de lavagem automóvel semiautomática.

# Bibliografia

---

- Ackoff, R., & Van Voorhis, W. (1956). *Waiting-Line Theory As a Management Tool. Operations Research*. Retrieved from <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=7678889&site=ehost-live>
- Banks, J. (2001). Panel Session: Education For Simulation Practice - Five Perspectives. In *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference* (pp. 1605–1612).
- Bowden, O., Gogg, T., & Harrel, C. (2013). *Simulação de Sistemas*. (E. E. Lda., Ed.) (5th ed.).
- Carson, J. (2004). Introduction to Modeling and Simulation. In R. Ingalls, M. Rossetti, J. Smith, & B. Peters (Eds.), *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference* (pp. 9–16). Marietta.
- Carson, Y., & Maria, A. (1997). Simulation Optimization: Methods and Applications. In S. Andradottir, K. Healy, D. Withers, & B. Nelson (Eds.), *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation (1997)* (pp. 118–126). Binghamton.
- Chase, R., & Aquilano, N. (1995). *Gestão da Produção e das Operações - Prespectiva do Ciclo de Vida*. (M.-P. e Edições, Ed.) (1st ed.). Lisboa.
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2006). *Operations Management for Competitive advantage with global cases* (11th ed.). McGraw-Hill Irwin.
- Concannon, K., Elder, M., Hindle, K., Tremble, J., & Tse, S. (2007). *Simulation Modeling with SIMUL8*. (National Library of Canada Cataloguing, Ed.), *Visual Thinking International* (4.1). Canada: Visual Thinking International.
- Glasserman, P. (2004). *Monte Carlo Methods in Financial Engineering*. (M. Editors, Ed.). California: Springer.
- Pinto, J. P. (2006). A Gestão de Serviços. In *Gestão de operações na indústria e nos serviços* (2nd ed., pp. 247–285). LIDEL.
- Robinson, S. (2004). *Simulation : The Practice of Model Development and Use*. (L. John Wiley & Sons, Ed.).
- Robinson, S., Radnor, Z. J., Burgess, N., & Worthington, C. (2012). *SimLean: Utilising*

- Simulation in the Implementation of Lean in Healthcare. *European Journal of Operational Research*, 219(1), 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.12.029>
- Ruiz-Aguilar, J. J., Turias, I. J., Cerbán, M., Jiménez-Come, M. J., González, M. J., & Pulido, A. (2016). Time Analysis of the Containerized Cargo Flow in the Logistic Chain Using Simulation Tools: The Case of the Port of Seville (Spain). *Transportation Research Procedia*, 18(June), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.003>
- Sharma, A. K., & Sharma, G. K. (2013). Queueing Theory Appr Oach With Queueing Model: A Stydu. *International Journal of Engineering Science Invention*, 2(2).
- Subba Rao, S., Gunasekaran, a., Goyal, S. K., & Martikainen, T. (1998). Waiting line model applications in manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 54(1), 1–28. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00129-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00129-1)
- Tako, A. A., & Robinson, S. (2009). Comparing model development in Discrete Event Simulation and System Dynamics. In *Winter Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2009* (pp. 979–991). <https://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429423>

### **Webgrafia**

[www.palisade.com](http://www.palisade.com)